

Aus der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie
des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

**UNTERSUCHUNG ZUR ÄTIOLOGIE UND PATHOGENESE
DER GEDECKTEN, DISTALEN GRIFFELBEINFRAKTUR
DES PFERDES**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
DOCTOR MEDICINAE VETERINARIAE
durch die Freie Universität Berlin

Vorgelegt von

Claudius Krieg
aus Göppingen

Berlin 2001

Journal-Nr. 2517

Gedruckt mit Genehmigung des
Fachbereiches Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. M.F.G. Schmidt
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. B. Hertsch
Zweiter Gutachter: PD Dr. H. Bragulla

Tag der Promotion: 31.8.2001

all meinen Lieben

A B K Ü R Z U N G E N

Abb.	= Abbildung
bzw.	= beziehungsweise
ca.	= circa
cm	= Zentimeter
CT	= Computertomographie
Diagr.	= Diagramm
Dist.	= Distanz
FT	= Fesselträger = M. interosseus medius
FT m. UV	= M. interosseus medius mit Umfangsvermehrung
FT o. UV	= M. interosseus medius ohne Umfangsvermehrung
FTA	= gesamter Fesseltrageapparat
HLL	= hinten links lateral
HLM	= hinten links medial
HRL	= hinten rechts lateral
HRM	= hinten rechts medial
J	= Jahr(e)
keulen	= keulenförmig
Kg	= Kilogramm
KG	= Körpergewicht
kN	= Kilonewton
kV	= Kilovolt
lat	= lateral
Lig.	= Ligamentum
m	= Meter
M.	= Musculus
mA	= Milliampere
mAs	= Milliamperesekunden
MC 2	= Os metacarpale secundum
MC 3	= Os metacarpale Tertium
MC 4	= Os metacarpale quartum
med	= medial

mm	= Millimeter
MP	= Meßpunkt
MW	= Mittelwert
m/min	= Meter pro Minute
µm	= Mikrometer
n	= Anzahl
N	= Newton
Nr.	= Nummer
ossif	= ossifiziert
o.B.	= ohne Befund
OBS	= oberflächliche Beugesehne
r.o.B.	= röntgenologisch ohne Befund
Stabw.	= Standardabweichung
Tab.	= Tabelle
TBS	= tiefe Beugesehne
VLL	= vorne links lateral
VLM	= vorne links medial
VRL	= vorne rechts lateral
VRM	= vorne rechts medial
z. B.	= zum Beispiel

I N H A L T

		SEITE
1.	EINLEITUNG	1
2.	SCHRIFTTUM	2
2.1.	Anatomie der Regio metacarpi und metatarsi	2
2.1.1	Knochenlehre und Entwicklung der Ossa metacarpalia und metatarsalia	2
2.1.2.	Bänderlehre und Gelenke der Regio metacarpi und metatarsi	4
2.1.3.	Muskellehre und Faszien der Regio metacarpi und metatarsi	5
2.1.4.	Funktionelle Anatomie in der Bewegung	12
2.2.	Erkrankungen der Griffelbeine und des Fesseltrageapparates	13
2.2.1.	Griffelbeinfraktur – durch äußeres Trauma entstanden	14
2.2.2.	Überbeine von Griffelbein und Röhrlbein	16
2.2.3.	Tendopathie des M. interosseus medius und Desmopathie der Gleichbeinbänder	17
2.2.4.	Gleichbeinentzündung und Gleichbeinfraktur	18
2.2.5.	Gedechte, distale Griffelbeinfraktur – ohne äußeres Trauma entstanden	20
2.2.5.1.	Vorkommen und Häufigkeit	20
2.2.5.2.	Ätiologie und Pathogenese	24
2.2.5.2.1.	Seitliche Deviationstheorie	25
2.2.5.2.2.	Fußwurzelgelenk-Mittelfußfaszientheorie	26
2.2.5.2.3.	Bogensehnenstheorie	27
2.2.5.2.4.	Distraktionstheorie	28
2.2.5.3.	Diagnose	33
2.2.5.3.1.	Klinische Befunde	33
2.2.5.3.2.	Röntgenologische Befunde	33
2.2.5.4.	Therapie	34
2.2.5.5.	Prognose	36
2.3.	Biodynamische Abläufe an der distalen Gliedmaße unter Belastung mit Auswirkung auf den Fesseltrageapparat und die Griffelbeine	36
3.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	41
3.1.	Material	41
3.1.1.	Gliedmaßen für anatomische Präparationen und in vitro Versuche	41
3.1.2.	Röntgenbilder und Patientenakten der Pferde mit Griffelbeinfrakturen	42

	SEITE
3.2. Methoden	42
3.2.1. Anatomische Präparation	42
3.2.2. Auswertung der Röntgenbilder und Patientenakten	43
3.2.3. Belastungsversuche zur Distractionstheorie unter direktvergrößerungsradiographischer Dokumentation	43
3.2.3.1. Technik der Direktvergrößerungsradiographie	44
3.2.3.2. Mechanische Belastungspresse	47
3.2.3.3. Künstliche Frakturherzeugung	48
3.2.3.4. Meßmethoden für Kraft und Distraction	48
3.2.3.5. Versuchsanordnung	49
3.2.3.6. Versuchsdurchführung	50
3.2.3.7. Auswertung	51
3.2.4. Belastungsversuche zur Deviationstheorie unter computertomographischer Dokumentation	51
3.2.4.1. Versuchsanordnung	52
3.2.4.2. Versuchsdurchführung	52
3.2.4.3. Auswertung	53
3.2.5. Überlastungsversuche bis zum Niederbrechen	54
3.2.6. Verfahren zur Ergebnisauswertung	54
4. ERGEBNISSE	56
4.1. Funktionelle Anatomie	56
4.2. Röntgenologische Befunde an Griffelbein und Fesseltrageapparat	68
4.3. in vitro Versuche zur Distractionstheorie	84
4.4. in vitro Versuche zur Deviationstheorie	95
4.5. in vitro Versuche bis zum Niederbrechen	98
5. DISKUSSION	101
5.1. Anmerkungen zu Material und Methoden	101
5.2. Anatomie der Regio metacarpi und metatarsi	104
5.3. Röntgenologische und klinische Befunde	111
5.4. Ergebnisse der in vitro Versuche	114
5.5. Schlußfolgerungen	120
6. ZUSAMMENFASSUNG	124
7. SUMMARY	125
8. LITERATUR	126

1 EINLEITUNG

Die gedeckte, distale Griffelbeinfraktur ist eine bei Pferden häufig anzutreffende Erkrankung des Bewegungsapparates. Sie betrifft vor allem intensiv genutzte Sportpferde, allen voran die Trabrennpferde. Überraschenderweise findet man zur Erklärung der Ursachen, die zu dieser Erkrankung führen, sowohl in den Lehrbüchern der Pferdekrankheiten als auch in der orthopädischen Fachliteratur vier verschiedene Theorien diverser Autoren, ohne daß man einer entscheidenden Aussage zu deren Stichhaltigkeit begegnet. Es werden diese Theorien stets lediglich nebeneinander gestellt und die allgemeine Beobachtung formuliert, daß die gedeckte, distale Griffelbeinfraktur in Begleitung einer Erkrankung des Fesselträgers vorkommt.

Gewißheit herrscht im Schrifttum hinsichtlich der Beobachtung, daß es sich um eine Ermüdungsfraktur des Griffelbeines im Zuge intensiver Belastung der distalen Gliedmaße handeln muß. Der Fesselträger scheint dabei in der Pathogenese eine entscheidende Position innezuhaben. Die Anatomie in der distalen Region des Griffelbeines ist jedoch teilweise sehr unterschiedlich dargestellt worden, wodurch seine Beziehung zu den Weichteilstrukturen im Bereich des Fesselgelenkes unklar bleibt und die Frage, welche genaue anatomische Struktur tatsächlich eine frakturauslösende Kraft auf das distale Griffelbein ausüben kann, offen ist.

Die Häufigkeit, mit der das Krankheitsbild bei den Pferden anzutreffen ist, und die in der Regel zu dessen Behandlung erforderliche operative Therapie machen eine Untersuchung zur Klärung der ätiologischen und pathogenetischen Zusammenhänge erforderlich. Des Weiteren wäre die Verfügbarkeit einer eventuellen Prophylaxe der Erkrankung von großem Vorteil.

Daher hat die vorliegende Arbeit zum Ziel, durch Präparationen von Gliedmaßen die Lücke im anatomischen Schrifttum zu schließen und sowohl durch in vitro Versuche an Gliedmaßenpräparaten als auch eine retrospektive Untersuchung von Röntgenbildern und Krankenakten betroffener Pferde zur Klärung der Entstehungsweise der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur beizutragen.

2 SCHRIFTTUM

2.1. Anatomie der Regio metacarpi und metatarsi

2.1.1. Knochenlehre und Entwicklung der Ossa metacarpalia und metatarsalia

NICKEL et al. (1992) beschreiben die Griffelbeine, Nebenmittelfußknochen, als paarige, griffelförmige Stäbe, die dem Röhrein, Hauptmittelfußknochen, an seiner Hinterfläche seitlich anliegen. An der Schultergliedmaße unterscheidet man das laterale Os metacarpale quartum und das mediale Os metacarpale secundum. An der Beckengliedmaße liegt lateral das Os metatarsale quartum und medial das Os metatarsale secundum. Übereinstimmend mit NICKEL et al. (1992) wählen BUDRAS und RÖCK (1994) die Unterteilung in die proximale Basis, Griffelbeinköpfchen, den sich distal zusehends verjüngenden, nach axial unterschiedlich stark konvex gebogenen dreikantigen Körper, Corpus, oder Griffelbeinschaft und das am distalen Ende sich anschließende Caput, Griffelbeinköpfchen. Für dieses Knöpfchen verwenden ZIETZSCHMANN und GRAU (1943) allerdings die Bezeichnung Capitulum.

An der Vorderextremität findet man am Köpfchen des medialen Griffelbeines je eine Gelenkfläche für das Os carpale secundum, das Os carpale tertium und das Röhrein. Das laterale Griffelbein artikuliert an seiner Basis mit dem Os carpale quartum sowie dem Röhrein. An der Hinterextremität besitzt das Köpfchen des medialen Griffelbeines je zwei Gelenkflächen für das Os tarsale primum et secundum und das Röhrein, als auch hin und wieder eine für das Os tarsale tertium, und das des lateralen Griffelbeines je eine, manchmal auch zwei für das Os tarsale quartum sowie zwei für das Röhrein. Somit tragen die Griffelbeine zur Unterstützung des Wurzelgelenkes in unterschiedlichem Maße bei (GETTY, 1975; NICKEL et al., 1992).

Die dem Röhrein zugewandte Fläche des dreiseitigen Griffelbeinschaftes ist abgeflacht und rauh als Folge der syndesmotischen und mit fortschreitendem Alter zunehmend synostotischen Verbindung der benachbarten Knochen. Das Köpfchen zeigt Rauigkeiten in seiner Kontur als Ausdruck der Insertion verschiedener Bänder, Muskeln oder Faszien. Das distal liegende Griffelbeinköpfchen hat keinerlei gelenkige Verbindung zu umliegenden Knochen und ist aufgrund seiner exponierten Lage bei unbeschädigten anatomischen Verhältnissen leicht zu palpieren (ZIETZSCHMANN u. GRAU, 1943; GETTY, 1975; NICKEL et al., 1992).

Die Längenverhältnisse der Griffelbeine im Bezug zum Röhrein und im Vergleich zueinander sind nicht stets dieselben. Sie reichen ungleich weit bis zum distalen Drittel des Röhreins,

wobei das mediale Griffelbein der Vordergliedmaße zumeist das längere repräsentiert (RUDERT, 1901; ZIETZSCHMANN u. GRAU, 1943; GETTY, 1975; NICKEL et al., 1992). Die hinteren Griffelbeine sind gemäß GETTY (1975) und NICKEL et al. (1992) länger als die vorderen. Von einer umfassenden Untersuchung berichtet RUDERT (1901), bei der er 402 Metacarpi sowie 366 Metatarsi palpatorisch untersucht. Vorne ist in 52,5 % das mediale Griffelbein länger, in 32 % das laterale und in 15,5 % sind beide gleich lang. Hinten ist in 44,5 % das laterale Griffelbein länger, in 39,5 % das mediale und in 16 % liegt keine Längendifferenz vor. Weiterhin ist in seinen Augen die absolute Längendifferenz beachtenswert: Sie beträgt zwischen 1 und 15 cm, wobei die Erhebung der höchsten Werte durchweg an Gliedmaßen auftritt, die aus einer Rossmetzgerei stammen und somit seziert werden können. Diese extremen Werte sind somit irrtumsfrei erhoben und nicht durch Mängel bei der Palpation der Griffelbeine am lebenden Pferd verfälscht.

Nach ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955) erfolgt die Entwicklung der Griffelbeine von zwei Ossifikationszentren aus. Das eine liegt im Bereich des Schaftes (Diaphysenkern), das andere in der das Griffelbeinknöpfchen darstellenden Zone (Epiphysenkern). GETTY (1975) vermutet, daß es drei Ossifikationskerne gibt, da er während einer kurzen Phase am Ende der Trächtigkeit Knorpelkappen an der Griffelbeinbasis beobachtet. Auch SAARNI (1919) beschreibt eine proximale Epiphyse, die am Ende der Trächtigkeit verknöchert und bei der Geburt bereits mit der Diaphyse vollständig verschmolzen ist. ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955) beschreiben, daß die Knöpfchen bei der Geburt rein knorpelig sind, sich um den dritten Lebensmonat der Epiphysenkern zeigt und dieser am Beginn des zweiten Lebensjahres mit der Diaphyse zu verschmelzen beginnt. Der distale Epiphysenkern kann kein Rudiment der an den zweiten und vierten Gliedmaßenstrahlen fehlenden Phalangen darstellen, da die Anlagen eines Phalangenblastems zu finden sind. Somit ist die Zone zwischen dem Schaft und dem Knöpfchen des Griffelbeines ohne Zweifel eine echte Epiphysenfuge.

Über das Vorhandensein einer Wachstumsfuge zwischen dem Schaft und dem Knöpfchen des Griffelbeines wird auch von HERTSCH et al. (1976) berichtet. Eine solche kann von MYERS und EMMERSON (1966) anhand der wiederholten röntgenologischen Untersuchung zweier Araberfohlen von der Geburt bis zum Alter von drei Jahren nicht gezeigt werden. Je einen proximalen und distalen Ossifikationspunkt des Griffelbeines erwähnt SCHMIDT (1960), macht jedoch keine Angaben über das Vorkommen einer distalen Epiphysenfuge.

2.1.2. Bänderlehre und Gelenke der Regio metacarpi und metatarsi

Die Verbindung der Griffelbeine mit dem Fußwurzelgelenk beschreiben NICKEL et al. (1992). Die Articulationes carpometacarpeae und tarsometatarsae sind durch zahlreiche Bänder als straffe Gelenke nahezu unbeweglich und umschließen auch die im Bereich der proximalen Röhre gelegenen Intermetacarpal- bzw. Intermetatarsalgelenke.

Die Verbindung der Metacarpal- bzw. Metatarsalknochen miteinander erfolgt einerseits durch die Intermetacarpal- bzw. Intermetatarsalgelenke sowie andererseits durch die Ligamenta metacarpea bzw. metatarsae, welche die zwischen den Schaften der Griffelbeine und den Körpern der Röhrebeine befindlichen Spatia interossea ausfüllen. Diese Bandmassen erlauben nur eine geringe Beweglichkeit der Griffelbeine im Bezug auf das Röhrebein. Sie verknöchern mit zunehmendem Alter der Pferde individuell unterschiedlich immer mehr, was zu einem Verwachsen der Griffelbeine mit dem Röhrebein führt. Dieser Prozess beginnt in der Mitte der Griffelbeine und setzt sich zusehends proximal fort. Die distalen Anteile der Griffelbeine bleiben hiervon unberührt und weiterhin beweglich (ZIETZSCHMANN u. GRAU, 1943; SISSON, 1975 a; NICKEL et al., 1992).

OELKERS (1907) bezeichnet die Verbindung zwischen dem Griffelbein und dem Röhrebein als Ligamentum interosseum, welches knapp distal des Fußwurzelgelenkes am stärksten erscheint und in eine schwächere oberflächliche und eine kräftigere tiefe Schicht unterteilt werden kann. Die oberflächlichen Fasern ziehen proximal vom Griffelbein kommend distal an die seitliche Hinterfläche des Röhrebeines. Die tiefen Fasern verlaufen im oberen Abschnitt des Mittelfußes proximal vom Röhrebein distal an das Griffelbein. Im mittleren Bereich der Röhre findet ein Wechsel der Verlaufsrichtung statt, wodurch es zu einem Überkreuzen der Fasern kommt, und im unteren Röhrebeinabschnitt ziehen die Fasern proximal vom Griffelbein distal ans Röhrebein. Auf Höhe des Knöpfchens strahlen seine Fasern rosettenartig aus und verlieren sich allmählich in der Umgebung.

2.1.3. Muskellehre und Faszien der Regio metacarpi und metatarsi

Es kommen beim Pferd drei Zwischenknochenmuskeln, Mm. interossei medius, medialis und lateralis, vor. Der M. interosseus medius ist sehr stark und hat eine fast rein sehnige Struktur. Man findet lediglich beim Fohlen vereinzelte Muskelfasern (SISSON, 1975 b; SEIFERLE u. FREWEIN, 1992). Sein Ursprung liegt hauptsächlich im Lig. carpi radiatum, zum geringeren Teil auch proximopalmar am Röhrbein. In der von den beiden Griffelbeinen gebildeten Rinne ist er bis zum distalen Drittel des Röhrbeines als einheitliche Sehnenplatte zu verfolgen, wo er sich in seine beiden Schenkel aufzweigt. Mit diesen tritt er im Folgenden an die beiden Gleichbeinspitzen heran. Von den Gleichbeinen aus zieht er in Form seiner Unterstützungsäste über die jeweilige Seite des Fesselgelenkes hinweg zur gemeinsamen Strecksehne, um sich sodann mit ihr zu vereinen. Auf diesem Wege sind die Unterstützungsäste noch von kleinen Schleimbeuteln unterlagert. (SISSON, 1975 b; SEIFERLE u. FREWEIN, 1992; BUDRAS u. RÖCK, 1994; WISSDORF et al., 1998). An der Beckengliedmaße liegen analoge Verhältnisse vor (SEIFERLE u. FREWEIN, 1992).

Anhand makroskopischer und histologischer Untersuchungen der Gliedmaßen von Trabern und Galoppnern machen WILSON et al. (1991) Angaben zum morphologischen Aufbau des M. interosseus medius. Sie beschreiben zwei längsorientierte Muskelbündel, die vom Ursprung bis zur Teilung in seine zwei Schenkel zu verfolgen sind. Proximal sind sie gut von den benachbarten Sehnenfasern abgrenzbar, was distal makroskopisch immer weniger gelingt. In wenigen Fällen ist eine Fortsetzung dieser Muskelfasern in die Verbindungsschenkel zur Strecksehne zu beobachten. An den Schultergliedmaßen finden sie im proximalen Abschnitt des M. interosseus medius einen Anteil der Muskulatur von 31 %, an den Beckengliedmaßen sogar von 41 %. Auf den gesamten M. interosseus medius bezogen beschreiben sie einen beim Traber um etwa 40 % höheren Anteil an Muskelgewebe als beim Galopper. Als weiterer Unterschied zwischen diesen beiden Rassen fällt ihnen auf, daß beim Traber mehr Muskulatur im M. interosseus medius der Hintergliedmaße als in dem der Vordergliedmaße vorhanden ist, und daß sich dies beim Galopper umgekehrt verhält. Traberstuten besitzen mehr Muskelfasern als Traberhengste, Galopper im Training deutlich weniger als solche ohne eine ähnliche Belastung. Einen grundsätzlichen Unterschied zu den Angaben anderer Autoren sehen sie darin, daß in ihrer Untersuchung keine Abnahme des Muskulaturgehaltes des M. interosseus medius mit ansteigendem Alter beobachtet werden kann. Allerdings weisen die Autoren darauf

hin, daß die klinische Bedeutung der genannten Ergebnisse und ihre Ursachen noch unklar sind.

WISSDORF et al. (1998) merken an, daß der M. interosseus medius bei Fohlen zu einem überwiegenden Teil aus Muskelfasern besteht, die bei erwachsenen Vollblütern und Warmblütern jedoch nur noch vereinzelt, bei Kaltblütern allerdings regelmäßig anzutreffen sind.

Die beiden anderen Zwischenknochenmuskeln sind rudimentärer Natur und werden Mm. interosseus medialis und lateralis genannt. Über ihren Ursprung und ihren Verlauf bis auf Höhe der Griffelbeinknöpfechen besteht im Schrifttum Übereinstimmung. Sie entspringen palmar bzw. plantar und axial der Griffelbeinköpfechen als rundliche, dünne und blasse Muskeln und liegen jederseits am Rand des M. interosseus medius. Mit einer dünnen, dem Griffelbeinschaft eng anliegenden Sehne ziehen sie in Richtung Griffelbeinköpfechen (SCHMALTZ, 1919; ZIETZSCHMANN u. GRAU, 1943; GRAHAME, 1946; BARONE, 1968; SISSON, 1975 b; SEIFERLE u. FREWEIN, 1992; KOCH u. BERG, 1992). Von einer zwirndünnen Sehne sprechen DIETZ et al. (1963). Auch OELKERS (1907) beschreibt diese rudimentären Muskeln und ihre dünnen, feinen Sehnen.

Der weitere Verlauf der von den verschiedenen Autoren einstimmig als feine Sehnen bezeichneten Endsehnen der Mm. interossei laterales bzw. mediales wird allerdings sehr unterschiedlich beschrieben. SCHMALTZ (1919) beobachtet ihren Übergang in die obere dorsale Fesselbinde, welche seinen Angaben zufolge mit ihren Fasern zwischen den Sesambeinen, den Unterstützungsschenkeln des M. interosseus medius zur gemeinsamen Strecksehne und dem Seitenrand der gemeinsamen Strecksehne der Zehe ausgespannt ist. In den Abbildungen von SCHMALTZ (1939) ist die Beziehung der Endsehnen der Mm. interossei laterales bzw. mediales zu der oberen dorsalen Fesselbinde sowohl für die Vorder- als auch Hintergliedmaße gezeigt und das Verhalten dieser, ihrer Genese nach unterschiedlichen anatomischen Strukturen zum Griffelbeinköpfechen, dargestellt. Die Endsehnen der rudimentären Zwischenknochenmuskeln ziehen demnach vom Griffelbeinköpfechen kommend über die seitliche Fläche der hinteren Fesselgelenksaussackung hinweg zur oberen dorsalen Fesselbinde, um dort fächerförmig auszulaufen. Gemäß ZIETZSCHMANN und GRAU (1943) findet man ein Ausstrahlen dieser Endsehnen in die Sporn- und Griffelbeinsehnen auf Höhe der Griffelbeinköpfechen. Diese Sporn-Griffelbeinsehnen sind sehr deutlich in den Abbildungen der Autoren dargestellt. Dieser Ansicht schließen sich auch KOCH und BERG (1992) an, jedoch ohne eine graphische

Darstellung anzubieten. Ebenso ohne die Darlegung der anatomischen Situation mittels einer detaillierten Zeichnung beschreiben SEIFERLE und FREWEIN (1992) das Auslaufen dieser Endsehnen in das Sporn-Griffelbeinband. Nach SISSON (1975 b) verlieren sich die Endsehnen in der Faszie des Fesselgelenkes, und als Bezug wird auf die Abbildungen von SCHMALTZ (1919) hingewiesen. WISSDORF et al. (1998) sprechen von einem Enden in der Faszie der Fessel. Ein auf unterschiedliche Weise vonstatten gehendes Auslaufen dieser Endsehnen in der Nachbarschaft des Fesselgelenkes schildert GRAHAME (1946). In seiner Abbildung fällt allerdings ein dünner Sehnenstrang mit eindeutiger Insertion am Griffelbeinknöpfchen auf, welcher jedoch keine Beschriftung trägt. BARONE (1968) zeichnet die Endsehnen der rudimentären Zwischenknochenmuskeln an der hinteren Kontur des Griffelbeinknöpfchens, unter diesem hervortretend, sodann über die hintere Aussackung des Fesselgelenkes hinwegziehend und schließlich im Bindegewebe seitlich dieses Gelenkes auslaufend. Im begleitenden Textabschnitt spricht er vom Enden dieser Sehnenfasern nahe des Verbindungsschenkels des M. interosseus medius zur Strecksehne bzw. im Bereiche der Strecksehnen selbst. Diese Darstellung ist auch in BARONE (1987) ohne neuere Ergänzungen wiedergegeben.

In sehr ausführlicher Weise stellt KADLETZ (1931 u. 1932) die Beziehungen der einzelnen Strukturen der Pferdezehe bildlich dar. Mittels zahlreicher Ansichten der Zehe in den verschiedenen Stufen der anatomischen Präparation wird der Verlauf der Mm. interossei laterales bzw. mediales in der Nachbarschaft des M. interosseus medius, des Griffelbeines und des Fesselgelenkes dargelegt. In diesen anatomischen Zeichnungen sowie in einer zusätzlichen schematischen, funktionell-anatomischen Abbildung ist eindeutig ersichtlich, daß die Endsehne der rudimentären Mm. interossei in die obere dorsale Fesselbinde einstrahlt.

DE MOOR et al. (1984) beschreiben in ihrer experimentellen und klinischen Studie zum Entstehungsmechanismus der distalen Griffelbeinfraktur die Existenz eines „distalen Griffelbeinbandes / distal splint bone ligament“, welches unter dieser Bezeichnung in der anatomischen Literatur nicht vorkommt. Dieses Band inseriert am distalen Ende des Griffelbeines und verläuft von dort aus distal. Es ist stets anzutreffen und besonders deutlich bei Hyperextension des Fesselgelenkes sichtbar. Daneben beschäftigt sich diese Untersuchung vor allem mit dem Verlauf und dem biomechanischen Einfluss der rudimentären, dünnen Mm. interossei laterales bzw. mediales. Die Autoren beobachteten gelegentlich die bindegewebige Anhaftung ihrer

Endsehne am Griffelbeinknöpfchen. Ihr distales Auslaufen beobachten sie innerhalb der Faszie auf Höhe des Fesselgelenkes. Eine solche Verlötnungsstelle zwischen der Endsehne und dem Griffelbein auf Höhe des Knöpfchens stellt auch SCHMALTZ (1939) in einer seiner Abbildungen dar.

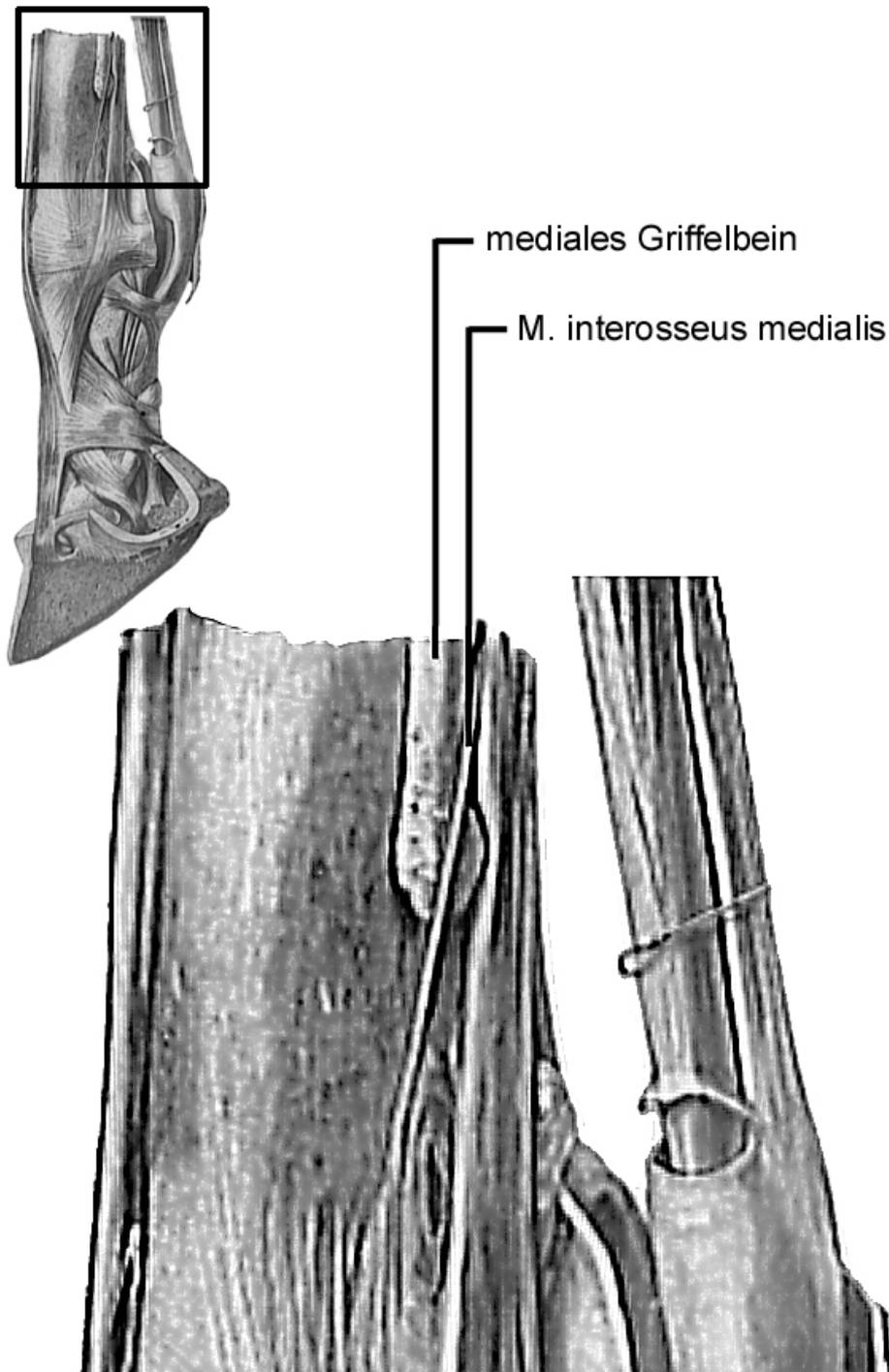


Abb. 1: Darstellung der distalen Mittelfußregion und der Zehe modifiziert nach SCHMALTZ (1919) (Ansicht von medial)

SKODA (1912) berichtet über einen Fall von beidseitiger Dydaktylie der Vordergliedmaßen eines Pferdes. Das laterale Griffelbein und das Röhrbein sind dabei wie gewöhnlich ausgeprägt. Das mediale Metakarpalskelett ist zwar kleiner als das Röhrbein, jedoch in der Form voll entwickelt. Es trägt wie der Hauptmittelfuß drei Zehenglieder mit den dazugehörigen Sesambeinen und einen klauenähnlichen Hornschuh. Der M. interosseus medius und der M. interosseus lateralis sind ebenfalls wie bei anderen Pferden ausgebildet. Der M. interosseus medialis ist allerdings fast bleistiftstark und zeigt angedeutet eine Aufspaltung in zwei Schenkel, bevor er an den beiden Nebensesambeinen und deren Zwischenband ansetzt.

Zu den kurzen Zehenmuskeln gehören neben den Mm. interossei auch die Mm. lumbricales. Sie sind ebenfalls nur rudimentär entwickelt und liegen im unteren Röhrbeinabschnitt als sehr kleine, blassrote Muskeln neben den Beugesehnen. Ihre Endsehnen verlieren sich auf Höhe des Fesselringbandes im Bindegewebe und der Faszie (SCHMALTZ, 1919; ZIETZSCHMANN u. GRAU, 1943; SEIFERLE u. FREWEIN, 1992).

Neben der Tatsache, daß der distale Abschnitt der rudimentären Mm. interossei im Schrifttum sehr unterschiedlich dargestellt ist, verdienen auch die Faszien im Bereich des Mittelfußes und der Zehe eine genaue Betrachtung. Gemäß SEIFERLE und FREWEIN (1992) entsteht aus der Fascia antebrachii distal die Fascia dorsalis manus und die Fascia palmaris, welche die Gliedmaße strumpffartig umhüllen. Die Faszie wird in ein oberflächliches und ein tiefes Blatt unterteilt. Zwischen diesen liegen die Hautgefäße und -nerven. Am Karpus lassen sich diese beiden Blätter noch eindeutig unterscheiden, was im Röhrbeinbereich nur schwer gelingt. Die Fascia palmaris ist sehr fest mit dem Erbsbein verbunden, von welchem aus sie als mehrere Millimeter dickes Halteband die Karpalbeuge medial überspannt, um dort an den Karpalknochen, dem Processus styloideus medialis radii, und am medialen Griffelbeinköpfchen anzusetzen. Als Retinaculum flexorum begrenzt die Faszie den Karpaltunnel bevor sie distal zur Mittelfußfaszie wird. SISSON (1975 b) betont, daß die Faszie an der Dorsalseite der Röhre und der Zehe kaum vom Periost zu trennen ist. FREWEIN (1967) erläutert präzise den Verlauf der Mittelfußfaszie. Die Fascia metacarpi palmaris reicht vom medialen zum lateralen Griffelbein und distal von diesen vom medialen zum lateralen Rand des Röhrbeins. Zwischen dem M. interosseus medius und der tiefen Beugesehne geht ein schwaches Fazienseptum von einer Seite auf die andere und trennt so zwei Faszienlogen voneinander. Im proximalen Drittel des Metakarpus vereinigt sich diese Faszienabspaltung mit den Seitenrändern des Lig.

accessorium. In der hinteren Loge befinden sich die oberflächliche und tiefe Beugesehne, die Mm. lumbricales und die Gebilde der Medianusstraße, in der vorderen Loge sind neben dem M. interosseus medius auch die Mm. interossei lateralis und medialis eingeschlossen. Knapp oberhalb vom Fesselgelenk trennen sich das tiefe und das oberflächliche Blatt der Fascia metacarpi palmaris. Sie bilden palmar am Fesselgelenk den starken tiefen und schwachen oberflächlichen Teil des Lig. metacarpeum transversum superficiale. Zwischen diesen beiden Blättern ist ein Kanal ausgespart, durch den die Blutgefäße und Nerven der Zehe ziehen. Aufgrund seiner Wandstärke bleibt dieser Kanal auch bei Bewegungen des Fesselkopfes offen.

Die Mittelfußfaszie wird im Bereich des Fesselgelenkes zur Zehenfaszie, Fascia digiti. Auch sie hat eine schwache oberflächliche und eine stärkere tiefe Schicht. Letztere ist an mehreren Stellen der palmaren Zehe zu sehr festen Ringbandkonstruktionen für die Beugesehnen umgestaltet. Hierbei sind das Fesselringband, die vierzipflige Fesselplatte und die Sohlenbinde zu erwähnen. Auf der Dorsalfläche der Zehe verschmilzt die Zehenfaszie mit den Strecksehnen, Bändern und Gelenkkapseln (SEIFERLE u. FREWEIN, 1992).

ZIETZSCHMANN und GRAU (1943) zeigen in ihren Abbildungen die von der tiefen Faszie gebildete Zehenbinde als auch deren Verstärkung im Bereich des Fesselgelenkes. SCHMALTZ (1919 u. 1939) bietet eine detaillierte Beschreibung und Illustration der oberen dorsalen Fesselbinde und ihrer Beziehung zu den Mm. interossei laterales bzw. mediales sowie dem distalen Ende des Griffelbeines, woraus eine funktionelle Abhängigkeit dieser Strukturen deutlich hervorgeht. Ohne die Bezeichnung „obere dorsale Fesselbinde“ zu verwenden, befasst sich KÖHLER (1903) sehr genau mit dem Verlauf dieser Struktur, die er als platten Sehnenzug bezeichnet, welcher am Bandhöcker des distalen Röhrbeines und dem Seitenband der Gleichbeine entspringt, der Gelenkkapsel und dem Seitenband des Fesselgelenkes aufliegt, dorsal und hufwärts verläuft und proximal am Fesselbein sowie dem Rand der gemeinsamen Strecksehne endet. Eine Unterscheidung zur tiefer liegenden Gelenkkapsel und dem Seitenband des Fesselgelenkes ist eindeutig möglich. Die Funktion sieht er in der Fixierung der Strecksehne auf der Fessel. Die detaillierte bildliche Darstellung dieser oberen dorsalen Fesselbinde in verschiedenen Stufen der anatomischen Präparation liefert KADLETZ (1931 u. 1932). Ihre Anhaftung an den Gleichbeinen, der gemeinsamen Strecksehne sowie dem Verbindungsschenkel des M. interosseus medius ist klar erkennbar, ebenso ihre Abgrenzbarkeit zum Fesselgelenk. Das Ausstrahlen der vom Griffelbein kommenden rudimentären Mm.

interossei laterales bzw. mediales in diese Faszienv Verstärkung ist aus mehreren Blickrichtungen hervorgehoben.

An der Beckengliedmaße entstehen die Fascia dorsalis pedis und die Fascia plantaris aus der Fascia cruris. Die Fascia plantaris verläuft von ihren Anhaftungen am Tarsus distal zu den Griffelbeinen. Die weiteren Verhältnisse im Bereich des Mittelfußes und der Zehe werden als analog zu denen an der Schultergliedmaße beschrieben (SEIFERLE u. FREWEIN, 1992).

Eine bis dahin in der anatomischen Literatur noch nicht erwähnte Bindegewebsstruktur beschreibt OELKERS (1907) in seiner Untersuchung zu den Überbeinen des Röhrbeines. Er spricht von einem kräftigen Sehnenzug, welcher am Knöpfchen des Griffelbeines inseriert und dort als runder Strang etwa 2 – 3 mm stark ist. Dieser Sehnenzug breitet sich distal entlang des Seitenschenkels des M. interosseus medius flächig aus. Von jenem durch einige Fasern verstärkt, liegt dieser nun eher als breite Bindegewebsplatte erscheinende Sehnenzug dem Seitenband des Fesselgelenkes auf, wo er sich mit Fasern, die von der Strecksehne kommen, vereinigt. In der Fixation der seitlich und vorne über das Fesselgelenk hinwegziehenden Anteile des M. interosseus medius und der Strecksehne sieht der Autor die Funktion dieses Sehnenzuges. Die wesentlich schwächer ausgeprägten Mm. interossei lateralis bzw. medialis verbinden sich kurz unterhalb des Griffelbeinknöpfchens mit dieser von ihm als Sehne bezeichneten Struktur.

Gemäß WISSDORF et al. (1998) werden auf Grund ihrer passiven Haltefunktion für die distale Gliedmaße folgende Strukturen als Fesseltrageapparat oder Fesselträger bezeichnet:

- Proximal: der M. interosseus medius, mit seinen beiden Endschenkeln an die Gleichbeine
- Axial: die Gleichbeine und das sie verbindende Lig. palmare
- Distal: die Unterstützungssäste des M. interosseus medius zur Strecksehne sowie das gerade und die schiefen Gleichbeinbänder

KÖNIG und LIEBICH (1999) bemerken, daß mit dem Ausdruck Fesselträger auch nur der M. interosseus medius alleine gemeint sein kann. Dies trifft vor allem für die klinische Literatur zu. Nach SEIFERLE und FREWEIN (1992) kann der M. interosseus medius auch als oberes oder proximales Gleichbeinband bezeichnet werden.

2.1.4. Funktionelle Anatomie in der Bewegung

Die Last, welche die Gliedmaße zu tragen hat, wird im Bereich des Mittelfußes hauptsächlich vom Röhrein übernommen. Durch ihre gelenkige Verbindung zum Karpus und Tarsus sind jedoch auch die Griffelbeine in die Lastaufnahme mit einbezogen (GETTY, 1975; NICKEL et al., 1992). Sie unterliegen daher einer distal gerichteten Kraft. Diese wird von der untersten Reihe der Karpal- bzw. Tarsalknochen vermittelt. STASHAK (1989) zeigt an Hand von Querschnitten durch den Mittelfuß die unterschiedliche Dicke der Röhreinkompakta. Da diese auf der Hinterseite wesentlich geringer ist als auf der Vorderseite, unterstützen die Griffelbeine das Röhrein beträchtlich in seiner Funktion.

Die von NICKEL et al. (1992) als Lig. metacarpeum bezeichneten Bandmassen zwischen Röhrein und Griffelbein bedingen eine nur geringe Beweglichkeit dieser Knochen zueinander. OELKERS (1907) zerlegt die Einwirkungen auf diese von ihm Lig. interosseum genannten Faserzüge in Druckkräfte, die durch den Kontakt zu den Karpalknochen verursacht werden, und Zugkräfte, die durch Teile des M. interosseus medius, die am Griffelbeinköpfchen ansetzen, entstehen. SCHAUDER (1952) verwendet den Begriff Membrana interossea und weist ihr eine stoßbrechende Funktion zu. Sie fängt die Last auf, welche vom Karpalgelenk auf die beiden Griffelbeine, und hier vermehrt auf das mediale, fortgeleitet wird.

Der zwischen den Griffelbeinen liegende M. interosseus medius wird von SEIFERLE und FREWEIN (1992) als oberes Gleichbeinband bezeichnet. Gemeinsam mit den Gleichbeinen, ihren distalen Bändern und seinen Unterstützungsschenkeln zur Strecksehne dient er als Fesseltrageapparat zur Begrenzung der Hyperextension des Fesselgelenkes bei Belastung. SCHMALTZ (1919) nennt ihn einen Sehnengurt mit eingelagerten Sesambeinen, welcher hinter dem Fesselgelenk ausgespannt ist um dessen Bewegung zu stabilisieren. Durch seine enge Lagebeziehung zu den Griffelbeinen übt der M. interosseus medius gemäß DIETZ et al. (1963) und WISSDORF et al. (1998) eine abaxial gerichtete Kraft auf deren distales Ende aus, wobei erstgenannte Autoren diese Griffelbeinbewegung für die Hangbein- und Letztere für die Stützbeinphase beschreiben.

Den als rudimentär beschriebenen Mm. interossei lateralis und medialis, wie auch ihren zwirndünnen, feinen Endsehnen wird zumeist keine funktionelle Bedeutung bei Belastung der

Gliedmaße beigemessen (OELKERS, 1907; SISSON, 1975 b; KOCH u. BERG, 1992). Allerdings gehen WISSDORF et al. (1998) davon aus, daß durch den Zug ihrer Sehnen die regelmäßig zu beobachtende Distraction der Frakturrenden nach einem distalen Griffelbeinbruch verursacht wird. Auch VERSCHOOTEN et al. (1984) vermuten eine Zugkraft dieser Sehnen auf das distale Griffelbein. Im Gegensatz hierzu stellen DE MOOR et al. (1984) fest, daß diese Endsehnen allenfalls eventuell eine untergeordnete Rolle bei der Bewegung des distalen Griffelbeinendes unter Belastung haben können, und daß ferner die von ihnen als distales Griffelbeinband bezeichnete Bindegewebsstruktur bei Hyperextension des Fesselgelenkes unter starke Anspannung gerät.

OELKERS (1907) ordnet der von ihm als Sehne bezeichneten starken, rundlichen bis platt und fächerförmig ausgebildeten Bindegewebsstruktur die entscheidende Rolle bei der Kraftausübung auf das distale Griffelbein unter Belastung zu. Weiterhin beschreibt er Verbindungen der Vorarmfaszie, die an den hinteren Rand des proximalen Griffelbeines ziehen. Von der Einwirkung dieser Vorarmfaszie auf das distale Griffelbein berichtet ROONEY (1969 u. 1986).

2.2. Erkrankungen der Griffelbeine und des Fesseltrageapparates

In den Lehrbüchern der Pferdeorthopädie werden die Erkrankungen der Griffelbeine in Frakturen und Überbeine eingeteilt. Bei den Frakturen werden diejenigen, welche durch ein externes Trauma hervorgerufen wurden von denjenigen, bei denen ein solcher äußerer Einfluss nicht beobachtet werden konnte, unterschieden. Die Überbeine haben ihren Ursprung entweder am Griffelbein oder am Röhrbein oder an beiden (GOBLE, 1982; DIETZ u. WIESNER, 1982; SILBERSIEPE, 1986; STASHAK, 1989; FACKELMAN, 1991; HONNAS, 1992; WINTZER, 1997).

Die gedeckten, distalen Frakturen des Griffelbeines werden allgemein als belastungsinduziert im Zusammenhang mit der extremen Beanspruchung des Fesseltrageapparates während intensiver sportlicher Aktivität der Pferde angesehen (STASHAK, 1989; HONNAS, 1992). Aus diesem Grund sollen die offensichtlich durch äußere Traumatisierung entstandenen Griffelbeinfrakturen und die Überbeine getrennt aufgeführt und vorweg genommen werden. Anschließend werden dann die Erkrankungen des Fesseltrageapparates beschrieben. Auf dieser Basis ist dann auf die Ätiologie und Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur sowie ihr klinisches Bild einzugehen.

2.2.1. Griffelbeinfraktur – durch äußeres Trauma entstanden

Durch äußere Einflüsse erzeugte Frakturen können an jeder Stelle des Griffelbeines eintreten, kommen jedoch meist im proximalen und mittleren Drittel vor. Als Ursachen gelten Schlagverletzungen durch andere Pferde, Streichen mit der gegenüberliegenden Gliedmaße, Ausschlagen gegen feste Gegenstände oder auch Stichverletzungen. Solche Frakturen sind oft begleitet von perforierenden Hautwunden, wodurch eine Osteomyelitis ermöglicht wird. Allerdings kann auch die Sequesterbildung nach einer gedeckten Trümmerfraktur des Griffelbeines zu einer Fistelbildung mit nachfolgender Zerstörung der Haut führen. Lokale Entzündungserscheinungen und eine deutliche Lahmheit sind abhängig von der Dauer der Erkrankung anzutreffen (STASHAK, 1989). Bei Frakturen des Griffelbeinköpfchens kann der Karpus resp. Tarsus mitbetroffen sein, was in der Regel eine noch stärkere Lahmheit zur Folge hat (SILBERSIEPE, 1986; HONNAS, 1992). Hieraus kann sich eine Ankylose der distalen Fußwurzelgelenkabteilung entwickeln (DIETZ u. WIESNER, 1982).

Die am häufigsten empfohlene Therapie ist die chirurgische Revision des frakturierten, zumeist infizierten Knochens einschließlich intensiver lokaler und systemischer Antibiose. Der distal der Frakturstelle liegende Griffelbeinrest wird dabei häufig amputiert (ALLEN u. WHITE, 1982; DIETZ u. WIESNER, 1982; VERSCHOOTEN et al., 1987; STASHAK, 1989; HONNAS, 1992; WINTZER, 1997). Bei Resektion von mehr als zwei Dritteln des Griffelbeines sehen die meisten Autoren die Notwendigkeit der Stabilisierung des proximalen Abschnittes mittels interner Fixation. Andernfalls kann es zur Luxation des Köpfchens und nachfolgend zur Arthrose des Karpometakarpal- bzw. Tarsometatarsalgelenkes kommen. Komplikationen nach Schraubenfixation werden allerdings häufig beschrieben (BOWMAN u. FACKELMAN, 1982; ALLEN u. WHITE, 1987; HARRISON et al., 1991; DORAN et al., 1992; WELLING, 1993). PETERSON et al. (1987) vergleichen die Ergebnisse der Schraubenfixation mit der Plattenfixation. Bei ersterer erfolgt die Stabilisierung des verbleibenden Griffelbeinköpfchens am Röhrbein mittels einer oder mehrerer Kortikalisschrauben. Allerdings muß eine Zugschraubentechnik unter allen Umständen unterbleiben, um die Winkelung der Gelenkfläche zum Karpus bzw. Tarsus nicht zu verändern. Die Plattenfixation wird auf drei verschiedene Arten beschrieben. Bei der ersten Technik liegt die Platte dem Griffelbein alleine an, die Schrauben erfassen das Griffelbein und die griffelbeinnahe Röhrbeinkortikalis. Bei der zweiten Technik liegt die Platte proximal dem Griffelbein an und dort, wo das Griffelbein reseziert wurde, direkt

auf dem Röhrlbein. Die Schrauben reichen proximal entweder nur ins Griffelbein oder auch weiter in die hintere Röhrlbeinkompakta und distal ins Röhrlbein. Bei der dritten Methode wird nur dem Griffelbein eine kleine Platte in dynamischer Kompressionstechnik angelegt. Die Schrauben erreichen dabei das Röhrlbein nicht. Die Autoren sehen in der Plattenfixation deutliche Vorteile gegenüber der Schraubenfixation, bei der es häufig zu Implantatlockerung oder -bruch und Kollaps des angeschraubten Fragmentes kommt. Die Plattenfixation ist besser in der Lage die aus dem Karpus oder Tarsus weitergeleiteten Kräfte aufzunehmen. Im Idealfall erfolgt die Rekonstruktion der Griffelbeinfraktur unabhängig vom Röhrlbein. Hierdurch werden die physiologischen Bewegungen des Griffelbeines im Bezug zum Röhrlbein nicht behindert. Dennoch beschreiben die Autoren auch für die beiden anderen Plattenfixationsmethoden gute klinische Ergebnisse. FACKELMAN (1991) sieht, sofern es die Situation der Fraktur erlaubt, in der dynamischen Kompression der proximalen Griffelbeinfraktur ohne Miterfassen des Röhrlbeines die einzig sinnvolle Behandlung bei Sportpferden, um die natürlichen relativen Bewegungen zwischen Griffelbein und Röhrlbein nicht zu stören.

Die komplette Entfernung des lateralen Griffelbeines der Hintergliedmaße bei offener Fraktur beschreiben BAXTER et al. (1992) und BOTZ (1993). Die guten Ergebnisse dieser Methode werden im Zusammenhang mit der nur geringen Stützfunktion des lateralen Griffelbeinköpfchens für den Tarsus gesehen. Auch die teilweise Durchtrennung des lateralen Bandapparates verursacht keine postoperative Instabilität des Tarsus. Obgleich diese Methode für Frakturen der übrigen Griffelbeine nicht anwendbar erscheint, hilft sie doch bei gutem klinischen Ergebnis die Probleme der anderen Behandlungsarten zu umgehen.

Über die konservative Behandlung proximaler offener Griffelbeinfrakturen am stehenden Pferd berichten auch WALLISER und FEIGE (1993). Sie führen unter Sedation und Lokalanästhesie die chirurgische Wundversorgung ohne Resektion des distalen Griffelbeinfragmentes durch. Die einfache Durchführbarkeit dieser Behandlungsmethode und ihre guten klinischen Ergebnisse rechtfertigen die Entscheidung für die konservative Therapie. Eine übermäßige, die Funktion der Gliedmaße beeinträchtigende Kallusbildung tritt in dieser Untersuchung nicht ein. Bei Ausbleiben eines zufriedenstellenden Therapieergebnisses sehen die Autoren die Möglichkeit eines späteren chirurgischen Eingriffes in Vollnarkose.

Die Prognose für offene komplizierte Griffelbeinfrakturen wird als günstig eingestuft, sofern es gelingt, die Infektion des Knochens und der umgebenden Weichteile zu sanieren (BOWMAN u. FACKELMAN, 1982; ALLEN u. WHITE, 1987; Harrison et al., 1991). Auch die vollständige Amputation des lateralen Griffelbeines der Hintergliedmaße ist prognostisch günstig zu bewerten (BAXTER et al., 1992). Bei sekundären arthrotischen Veränderungen des Karpometakarpal- bzw. Tarsometatarsalgelenkes infolge einer Infektion oder Luxation des verbleibenden Griffelbeinköpfchens nach Resektion der Fraktur sind die Ergebnisse weniger zufriedenstellend (BOWMAN u. FACKELMAN, 1982). Falls die Stabilisierung des Griffelbeinköpfchens mittels interner Fixation erforderlich ist, hat die Plattenfixation eine deutlich bessere Prognose als die Verwendung einzelner Schrauben. Im Idealfall ist nur das Griffelbein in die Osteosynthese einbezogen, um in physiologischer Weise unabhängig vom Röhrbein beweglich zu sein (PETERSON et al., 1987).

2.2.2. Überbeine von Griffelbein und Röhrbein

Die Überbeine im Bereich der Mittelfußknochen werden gemäß ihrer Lokalisation eingeteilt (OELKERS, 1907; GOBLE, 1982; DIETZ u. WIESNER, 1982; STASHAK, 1989; WINTZER, 1997). Im Bereich des Mittelfußknochenzwischenbandes spricht man vom seitlichen, intermetakarpalen Überbein bzw. „true splint“. Ist es äußerlich nicht erkennbar, da es nach axial in Richtung des M. interosseus medius ragt, spricht man vom tiefen, metakarpalen Überbein bzw. „blind splint“. Ein postmetakarpales Überbein bezeichnet eine Proliferation des Griffelbeinperiosts. Ein Überbein des Griffelbeinköpfchens, welches das Karpometakarpalgelenk mit einbezieht wird „knee splint“ genannt.

Ausgangspunkt für die Bildung von Überbeinen ist eine Desmitis des Mittelfußknochenzwischenbandes infolge axialer Lastübertragung auf das Griffelbein oder ein äußeres Trauma, welches die Knochenhaut von Griffelbein oder Röhrbein verletzt. Die chondroide Metaplasie des Lig. interosseum und die subperiostalen Hämatome der Mittelfußknochen entwickeln sich zu knochenderben Überbeinen (STASHAK, 1989). Mängel in der Gliedmaßenkonformation, schlechter Hufbeslag, Übergewicht und hartes Training begünstigen die Entwicklung der Überbeine bei jungen Pferden (STASHAK, 1989; AUER, 1991). KATZENMEIER (1994) findet keinen Beweis für axiale Lastübertragung auf das mediale Griffelbein als Auslöser eines Überbeines. Sie sieht im äußeren Trauma die einzige Ursache.

Im frischen Zustand lassen sich am Überbein vermehrte Wärme und Palpationsschmerz feststellen. Eine deutliche Stützbeinlahmheit liegt auf hartem Boden zumeist vor. Bei chronischen Überbeinen treten diese Symptome in den Hintergrund, wobei eine Lahmheit bei Beeinträchtigung der benachbarten Sehnen weiterhin vorhanden sein kann (GOBLE, 1982; AUER, 1991).

Die Behandlung kann konservativ und operativ erfolgen. STASHAK (1989) nennt die lokale Applikation oder Injektion von entzündungshemmenden Präparaten, Kälteanwendung und die Verbandsbehandlung. Ebenso sinnvoll erachtet er eine alleinige Ruhigstellung des Patienten für längere Zeit. HIGGINBOTHAM (1974) empfiehlt die Behandlung von Überbeinen mittels eines öligen Injektionspräparates. Die operative Behandlung wird wie bei proximalen Griffelbeinfrakturen vorgenommen (ALLEN u. WHITE, 1982; FINCI, 1984; ALLEN u. WHITE, 1987; STASHAK, 1989; AUER, 1991; HONNAS, 1992; KEUNE et al., 1997). STASHAK (1989) hält eine chirurgische Entfernung lediglich bei Reizung des angrenzenden M. interosseus medius durch das Überbein für sinnvoll, da es postoperativ häufig zu einem erneuten Auftreten von Exostosen kommt. KEUNE et al. (1997) beschreiben die Neurektomie des N. metacarpeus palmaris lateralis bzw. medialis im Bereich der Exostose zu deren Behandlung. Zusätzlich wird gegebenenfalls die Exostose selbst oder ein gebrochenes distales Griffelbein reseziert.

Die Prognose wird als günstig erachtet, sofern der M. interosseus medius oder das Karpalgelenk nicht in Mitleidenschaft gezogen sind (STASHAK, 1989; AUER, 1991).

2.2.3. Tendopathie des M. interosseus medius und Desmopathie der Gleichbeinbänder

Beim extremen Durchtreten im Fesselkopf kann es zu Zerreißen von einzelnen Fasern bis hin zu ganzen Faserbündeln des M. interosseus medius kommen, gefolgt von kapillären Blutungen, Ödemen, Fibrinansammlungen und lokalen, hochgradig schmerzhaften Schwellungen. Diese Entzündungen können seinen Ursprung am proximalen Röhrlbein, den zwischen den Griffelbeinen liegenden Körper, die beiden Endschenkel und deren Ansatz an den Gleichbeinen betreffen (MC ILWRAITH, 1989). Die vollständige Zerreißen des M. interosseus medius führt zum Niederbrechen. Der Fesselkopf kann dabei bis auf Bodenniveau abgesunken sein (STASHAK, 1989). Auch die Fraktur beider Gleichbeine und die Ruptur der distalen Gleichbeinbänder kann zu diesem Krankheitsbild führen (HONNAS, 1992). Bei totaler Zer-

reiung der distalen Gleichbeinbänder findet NEUBERTH (1990) einen vergrößerten Abstand der Gleichbeinbasis zur Fesselbeinlehne, was die röntgenologische Differenzierung von anderen Lahmheitsursachen erlaubt. über die von BERGE (1933) als lokale Malazie bezeichnete aseptische Nekrose des Zwischengleichbeinbandes berichten auch HERTSCH und BECKER (1986). Bei der makroskopischen, konventionell röntgenologischen und vergroerungsradiographischen Untersuchung mit der Feinfocus-Technik finden sie degenerative Veränderungen im Lig. intersesamoideum neben Kontur- und Strukturauflosungen oder knöchernen Zubildungen seines Ansatzbereiches an der axialen Gleichbeinflache. Diese Befunde bleiben nach Ansicht der Autoren bei der klinischen Diagnose Gleichbeinlahmheit häufig unberücksichtigt.

2.2.4. Gleichbeinentzündung und Gleichbeinfraktur

O'BRIEN et al. (1971) unterteilen die Entzündung der Gleichbeine in eine artikuläre und eine nichtartikulare Form. Erstere gehört mit Randexostosen der Gleichbeinspitze oder -basis zur degenerativen Erkrankung des Fesselgelenkes. Die nichtartikulare Gleichbeinentzündung stellt sich auf drei verschiedene Arten dar: die proliferative Knochenzubildung der Gleichbeinkontur am Ansatz des M. interosseus medius und der Gleichbeinbänder, die erhöhte Anzahl und unregelmäßige Gestalt der Gefäßkanäle im abaxialen Gleichbein sowie die Vergrößerung und unregelmäßige Dichte der gesamten Trabekelstruktur. Die Autoren weisen auf die Gefahr der Verwechslung von Gefakanalen und Fissurlinien hin, aus welchen bei fortgesetzter Belastung Frakturen entstehen können. HARDY et al. (1991) finden bei einer radiologischen Verlaufsuntersuchung an zweijährigen Trabrennpferden während eines einjährigen Beobachtungszeitraumes keine Weiterentwicklung proliferativer Knochenzubildungen der abaxialen Gleichbeinkontur. Dies wird mit dem jungen Alter der Probanden begründet. Mit ansteigender Belastung der Pferde kommt es zu einer Zunahme der Anzahl und der Ausdehnung der Aufhellungslinien des abaxialen Gleichbeines. Als Ursache dieser Veränderungen nennt POULOS (1988) eine Ansatzentzundung des M. interosseus medius am Gleichbein und keine Entzündungen innerhalb des Knochens im Rahmen einer primären Gefäßerkrankung, wie dies von NEMETH (1973) angenommen wird. Auch MODRAKOWSKI (1987) berichtet über das Auftreten dieser Aufhellungslinien im Gleichbein bei jungen Rennpferden im Zusammenhang mit einer Entzündung der Schenkel des M. interosseus medius.

Eine Gleichbeinfraktur kann die Folge einer akuten Überlastung oder einer chronischen Überbeanspruchung im Zuge einer Gleichbeinentzündung sein. Häufig ist auch eine Erkrankung des M. interosseus medius und der distalen Gleichbeinbänder zeitgleich anzutreffen. Im akuten Stadium fällt eine sehr deutliche Lahmheit und starker Palpationsschmerz auf (STASHAK, 1989). Gemäß ihrer Lokalisation unterscheiden BUKOWIECKI et al. (1985) am Gleichbein Frakturen der Spitze, der Mitte, der Basis, des abaxialen Randes und solche mit sagittaler Verlaufsrichtung. Die Behandlung kann konservativ und operativ mittels interner Fixation oder Transplantation autologer Spongiosa in den Frakturspalt erfolgen. Bei gleichzeitiger Erkrankung des M. interosseus medius oder der distalen Gleichbeinbänder äußern die Autoren eine sehr vorsichtige Prognose für spätere völlige Lahmheitsfreiheit. CHEUNG und THOMPSON (1993) können anhand computertomographischer Messungen der Knochendichte Schwachstellen der Gleichbeinarchitektur im Bereich der Spitze und der Basis darstellen, welche für Gleichbeinfrakturen prädisponiert scheinen. THOMPSON und CHEUNG (1994) untersuchen mittels in vitro Versuchen an isolierten Gliedmaßen die am Gleichbein angreifenden Kräfte während der Hyperextension des Fesselgelenkes bis zu 110°. Hierbei werden Druckkräfte der Röhreinkondylen auf die Gelenkfläche der Gleichbeine und Zugkräfte am Ansatz des M. interosseus medius sowie der unteren Gleichbeinbänder ermittelt. Die größte Kraft wirkt dabei dort, wo ein Abriss der Gleichbeinspitze vorkommt.

Zur Diagnostik sowohl der entzündlichen Veränderungen wie auch der Frakturen der Gleichbeine wird in erster Linie die Röntgenuntersuchung in den von MORGAN (1973) beschriebenen fünf Projektionen verwendet. Aufnahmen in anterior-posteriorer, stehend und gebeugt, lateromedialer und medialer bzw. lateraler schräger Richtung sind anzufertigen. Um kleine Fragmente der Spitze und der Basis des Gleichbeines und der Fesselbeinlehne besser darzustellen, empfiehlt DIK (1985) für die seitliche Projektion einen zur Bodenebene um 20° proximal geneigten schrägen Aufnahmewinkel.

Zur Bestimmung der Auswirkung eines regelmäßigen Trainings auf die Belastbarkeit des Fesseltrageapparates untersuchen BUKOWIECKI et al. (1987) im Karpus bzw. Tarsus und Kron- gelenk abgetrennte Gliedmaßen in einer Belastungsmaschine. Die einmalige, schnelle Belastung bis zum Niederbrechen wird durchgeführt. Gliedmaßen von Pferden, die längere Zeit keiner sportlichen Beanspruchung ausgesetzt waren, zeigen überwiegend eine vollständige Ruptur oder plastische Deformation des M. interosseus medius. Anders verhalten sich die Gliedmaßen

der intensiv trainierten Trab- oder Galopprennpferde. Bei diesen tritt fast immer eine Gleichbeinfraktur ein, und es sind höhere Kräfte nötig, um ein Niederbrechen zu erzeugen. Die Verteilung auf die verschiedenen Formen der Gleichbeinfraktur entspricht derjenigen im Patientengut der Untersucher. Daher kommen die Autoren zu dem Schluss, dass sich die Belastbarkeit der Weichteilstrukturen des Fesseltrageapparates durch Training erhöhen lässt, die Gleichbeine in ihrer Festigkeit aber nicht in selbem Maße zunehmen und daher beim Rennpferd die Schwachstelle für das Niederbrechen sind.

2.2.5. Gedeckte, distale Griffelbeinfraktur – ohne äußeres Trauma entstanden

Erste Berichte über ohne äußerlich erkennbare Traumata entstandene Griffelbeinbrüche erscheinen mit der zunehmenden chirurgischen Behandlung von Gliedmaßenerkrankungen bei Pferden unter Allgemeinanästhesie (DANKS, 1952; PALLISTER, 1953; JENNY, 1953). Im deutschsprachigen Raum veröffentlichen NUMANS und WINTZER (1961) als erste ihre Erfahrungen mit diesem Krankheitsbild. An diese ersten Beobachtungen knüpfen die seither erschienenen Untersuchungen zur Ursache dieser Erkrankung (DIETZ et al., 1963; ROONEY, 1969; JONES u. FESSLER, 1977; DE MOOR et al., 1984; BUKOWIECKI et al., 1987), die zahlreichen Fallberichte und Übersichtsartikel, welche die aktuelle Literatur zusammenfassen (ÜBERREITER, 1966; LEUTHOLD, 1966; FLIPOT, 1967; STIHL, 1968; HICKMAN, 1976; D'ECHON, 1977; BOWMAN et al., 1982; ORDIGDE, 1984; RICHTER et al., 1985; MOLINARI et al., 1989; DU PREEZ, 1994; DORAN, 1994; KELLER, 1994; RAY u. BAXTER, 1995; JANSSON, 1996), und die Darstellungen in den Lehrbüchern der Pferdeorthopädie (HEINZE, 1972; HAYNES, 1980; DIETZ u. HENSCHEL, 1988; DENNY, 1989; STASHAK, 1989; RICHARDSON, 1990; FERRARO, 1990; FOERNER u. MC ILWRAITH, 1990; HONNAS, 1992) an.

2.2.5.1. Vorkommen und Häufigkeit

Gedeckte, distale Griffelbeinfrakturen kommen meist bei Rennpferden, insbesondere Trabern, vor. Auch Spring- oder Dressurpferde sind im Patientengut der verschiedenen Autoren enthalten, jedoch viel seltener (NUMANS u. WINTZER, 1961; DIETZ et al., 1963; BOWMAN et al., 1982; VERSCHOOTEN et al., 1984; RICHTER et al., 1985). DANKS (1952) reiht diese Form der Griffelbeinfraktur unter die häufigsten Lahmheitsursachen bei Trabern ein. Auch KOCH (1959) nennt sie eine „Berufserkrankung“ des Trabers. NUMANS und WINTZER (1961) machen die

hohen Leistungen, welche von Sportpferden in schnellen Gangarten verlangt werden, für deren großen Anteil am Patientengut mit Griffelbeinfrakturen verantwortlich. Auch STIHL (1968) sieht den direkten Zusammenhang zwischen der immer intensiveren Verwendung des Pferdes im Sport und dem Auftreten von distalen Griffelbeinfrakturen, deren Häufigkeit in seinen Augen unterschätzt wird. Bei Galoppieren und Springpferden sind vor allem die vorderen, bei Trabern meist die hinteren Griffelbeine betroffen.

JONES und FESSLER (1977) berichten von 50 Trabern mit 73 Frakturen, wobei 42 mal die Vorder- und 31 mal die Hintergliedmaßen erkrankt sind. Vorne ist die linke Gliedmaße doppelt so oft betroffen wie die rechte, ohne deutliche Unterschiede zwischen lateraler und medialer Seite (links 14 mal medial/13 mal lateral; rechts 7 mal medial/8 mal lateral). Hinten ist links das mediale und rechts das laterale Griffelbein doppelt so häufig gebrochen wie das der Gegenseite (links 10 mal medial/5 mal lateral; rechts 5 mal medial/11 mal lateral). Die Trabrennen im Untersuchungsgebiet werden im Linkskurs gefahren.

BOWMAN et al. (1982) übersehen zwei Patientengruppen von 23 Vollblütern und 38 Trabern mit 27 bzw. 53 Frakturen. Bei den in Galopprennen und beim Freizeitreiten eingesetzten Vollblütern sind deutlich häufiger die Vorder- als die Hintergliedmaßen betroffen (23 mal vorne, 4 mal hinten). Die in Rennen startenden Pferde zeigen vorne rechts medial (4 mal medial, 3 mal lateral) und vorne links lateral (5 mal lateral, 3 mal medial) mehr Frakturen. Auch bei den Trabrennpferden sind die Vordergliedmaßen häufiger erkrankt. Der Unterschied zu den Hintergliedmaßen ist jedoch geringer (35 mal vorne 18 mal hinten). Rechte und linke Gliedmaße sind vorne und hinten gleich betroffen, wobei hinten rechts das laterale (5 mal lateral, 4 mal medial) und hinten links das mediale (5 mal medial, 4 mal lateral) Griffelbein öfters gebrochen ist.

Über die Griffelbeinfrakturen bei Galoppieren in seiner Praxis gibt TEIGLAND (1983) Auskunft. Diese machen an den Vorderbeinen zwölf und an den Hinterbeinen weniger als ein Prozent aller orthopädischen Eingriffe aus. Vorne sind rechts und links jeweils das mediale Griffelbein mehr als doppelt so oft betroffen wie das laterale, hinten fast immer das laterale. Die allermeisten dieser Frakturen sind gedeckte distale Griffelbeinbrüche, nur selten ist ein äußeres Trauma die Ursache.

Im Patientengut von CAMPE (1984) stellen Griffelbeinfrakturen mit 9,7 % aller Frakturen beim Pferd die zweitstärkste Gruppe nach den Hufbeinfrakturen (11,4 %). Die 95 Griffelbeinbrüche betreffen 36 Reitpferde, 10 Galopper, 20 Traber, 7 Kleinpferde und 22 sonstige Pferde. Der Autor hebt den hohen Anteil der Traber hervor, bei denen die Griffelbeinbrüche 38,5 % aller Frakturen stellen. Bei den Galoppnern sind dies 16,7 %, bei den Reitpferden nur mehr 9,4 %. Auf alle Pferde bezogen sind die vorderen (65 mal) doppelt so oft wie die hinteren Gliedmaßen (30 mal) erkrankt. Vorne überwiegen die medialen Griffelbeinbrüche (39 mal medial, 26 mal lateral), hinten ist das Verhältnis ausgeglichen (14 mal medial, 16 mal lateral). Eine offene Fraktur liegt vorne zehn und hinten zwei mal vor. Eine Querfraktur ist mit 67 Fällen die häufigste Diagnose, gefolgt von der Schrägfraktur (15 Fälle). Die übrigen sind drei Abrissfrakturen, drei Fissuren, eine Trümmer- und eine Längsfraktur. Die Fraktur lag in 54 Fällen distal, in 17 Fällen proximal, 10 mal erfolgte keine genaue Zuordnung und 14 mal lag eine Totalfraktur unter Mitbeteiligung des Röhrebeins vor. Die Diagnose „distale gedeckte Griffelbeinfraktur“ wurde mit 51 Fällen somit am weitaus häufigsten gestellt.

VERSCHOOTEN et al. (1984) berichten in ihrer experimentellen und klinischen Studie zur distalen Griffelbeinfraktur von 87 retrospektiv untersuchten Pferden, wovon 65 Traber, 19 Vollblüter und 3 Ponys sind. Insgesamt liegen 114 Griffelbeinbrüche vor. Auch sie betonen den mit 70 % sehr hohen Anteil der Traber. Bezogen auf alle Pferde kommen an den Vordergliedmaßen ebenso viele Frakturen medial wie lateral vor. Hinten sind es lateral doppelt so viele wie medial. Die Frakturstelle ist meist dort, wo sich das Griffelbein von seiner engen Verbindung zum Röhrebein löst.

RICHTER et al. (1985) behandeln 36 Pferde mit gedeckter, distaler Griffelbeinfraktur (19 Traber, 11 Galopper, 6 Turnierpferde). Galopper sowie Spring- und Dressurpferde waren nur an den Vorder-, Traber auch an den Hintergliedmaßen betroffen, was an der Schubarbeit im Renntrab liegt.

KELLER (1994) untersucht retrospektiv 49 Pferde (37 Traber, 12 Reitpferde) mit 62 Griffelbeinfrakturen wobei die Vordergliedmaßen mehr betroffen sind als die hinteren. Traber haben vorne das mediale und hinten das laterale Griffelbein öfters gebrochen. Bei 7 Reitpferden liegt ein äußeres Trauma zugrunde, für die Traber macht er hierzu keine Angabe.

KLEIN (1994) zählt im von ihr ausgewerteten Patientengut 233 Griffelbeinfrakturen, von denen 192 bei Trabern, 33 bei Reitpferden und 6 bei Kleinpferden vorkommen.

Eine gleichzeitig mit der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur vorliegende Erkrankung des Fesseltrageapparates wird im Schrifttum häufig erwähnt (HAYNES, 1980; STASHAK, 1989; FERRARO, 1990; RICHARDSON, 1990; HONNAS, 1992; DORAN, 1994; DU PREEZ, 1994; RAY u. BAXTER, 1995).

DIETZ et al. (1963) berichten von 8 Pferden (7 Traber, 1 Reitpferd) mit 11 Frakturen, wobei in 10 Fällen der angrenzende Schenkel des M. interosseus medius chronisch verdickt und schmerzhaft ist. In einem Fall liegt am benachbarten Gleichbein eine Horizontalfraktur durch dessen Mitte vor. Die vorderen Griffelbeine sind 8 mal gebrochen, das hintere laterale 3 mal.

Von den 50 Trabern mit insgesamt 73 Frakturen, die JONES und FESSLER (1977) auswerten, zeigen 26 Pferde (52 %) eine Tendopathie des frakturnahen M. interosseus medius. Insgesamt sind 35 Interosseusschenkel betroffen, davon 83 % an den Vorder- und 17 % an den Hintergliedmaßen. Brüche an den vorderen Griffelbeinen gehen in 70 % mit Schäden des M. interosseus medius einher, an den hinteren nur in 20 %. Unterschiede zwischen rechts und links bestehen nicht. Angaben über eine vermehrte Beteiligung des Interosseusschenkels an Stellen mit häufigerer Griffelbeinfraktur machen die Autoren nicht. Sie halten aber einerseits fest, daß das Ausmaß der Tendopathie um so größer ist je mehr Zeit seit dem Eintritt der Griffelbeinfraktur verstrichen ist, andererseits sehen sie die Schädigung des M. interosseus medius als primäre Ursache eines Griffelbeinbruchs an.

BOWMAN et al. (1982) finden bei 81 % der 38 Traber und 67 % der 23 Galopper, die sie an einer distalen Griffelbeinfraktur operieren, eine Tendopathie des angrenzenden M. interosseus medius. Bei den Trabern ist dies an den Vordergliedmaßen regelmäßig festzustellen (zwischen 88 und 100 % bezogen auf das mediale/laterale rechte/linke Griffelbein), an den Hintergliedmaßen deutlich seltener (zwischen 50 und 80 %). Bei den Galoppnern liegt vorne meistens eine frakturbegleitende Tendopathie vor (zwischen 57 und 86 %), hinten nur bei einer der insgesamt vier Frakturen. Somit stellen die Autoren bei beiden Rassen an den Vordergliedmaßen ein signifikant häufigeres Auftreten von Schäden des M. interosseus medius fest. Außerdem finden sie bei älteren Pferden eher eine Tendopathie als bei jüngeren und in

einem Drittel der Fälle deutliche röntgenologisch Anzeichen einer Sesamoidose, ohne daß diese jedoch klinisch bedeutsam zu sein scheint. Die Röntgenuntersuchung der übrigen, nicht gebrochenen Griffelbeine deckt bei 58 % der Traber und 39 % der Galopper Periostitiden von Griffelbein und Röhrbein auf. Als entscheidend für die Prognose hinsichtlich sportlicher Wiedereinsetzbarkeit der Pferde nach der Fragmentextirpation wird von den Autoren die Ausheilung der Erkrankung des Fesseltrageapparates angesehen.

RICHTER et al. (1985) machen ebenso die Schäden am M. interosseus medius dafür verantwortlich, dass die Galopper nach Entfernung der Fraktur häufig nicht mehr in den Rennsport zurückkehren.

VERSCHOOTEN et al. (1984) finden bei mehr als 70 % und KELLER (1994) bei 65 % ihrer Patienten eine frakturbegleitende Tendopathie des Interosseusschenkels. Hinsichtlich deren Verteilung auf die mediale oder laterale Seite der Vorder- oder Hintergliedmaßen machen sie keine Aussage.

2.2.5.2. Ätiologie und Pathogenese

Für das Zustandekommen der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur kennen NUMANS und WINTZER (1961) noch keine beweisbare Erklärung. Sie formulieren die Hypothese einer Ermüdungsfraktur durch regelmäßig wiederkehrende belastungsinduzierte Zugspannungen am Griffelbein. Diese führen zu einem Umbau des Knochens mit Abnahme der Elastizität, was durch eine unregelmäßige Gliedmaßenkonformation noch gefördert wird.

Die Ansicht, es handele sich um eine belastungsinduzierte Ermüdungsfraktur, ist im Schrifttum allgemein verbreitet. Jedoch stellen die meisten Autoren die im Folgenden beschriebenen Theorien zur gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur lediglich nebeneinander, ohne sich hinsichtlich der Richtigkeit der einen oder anderen festzulegen (HAYNES, 1980; RICHTER et al., 1985; MOLINARI, 1989; STASHAK, 1989; HONNAS, 1992; DORAN, 1994; DU PREEZ, 1994; RAY u. BAXTER, 1995; JANSSON, 1996). Lediglich BOWMAN et al. (1982) streichen bewusst heraus, dass die von ihnen durchgeführte klinische Studie keine Entscheidung zwischen den verschiedenen Hypothesen zur Ätiologie zulässt.

2.2.5.2.1. Seitliche Deviationstheorie

DIETZ et al. (1963) formulieren nach der Untersuchung von 9 Pferden mit 12 Frakturen, der retrospektiven Analyse eines Pferdes mit Niederbrechen und dem Versuch bei einem Pferd mit künstlich erzeugter Fraktur, ihre Ansichten zur Ursache und Entstehungsweise der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur. Als entscheidend erachten sie einerseits die Ossifikation des Griffelbeines, die am Anfang des zweiten Lebensjahres beginnt und oft mit zunehmendem Alter des Pferdes von einer zunächst knorpeligen, später knöchernen Metaplasie des Mittelfußknochenzwischenbandes begleitet wird und andererseits die seitliche Bewegung der freien Griffelbeinenden in Abhängigkeit von den verschiedenen Phasen der Be- und Entlastung der Gliedmaße.

Bei Winkeländerung im Fesselgelenk zeigt sich eine phasenabhängige Einwirkung des M. interosseus medius auf die freien Griffelbeinenden. Bei Hyperextension im Fesselgelenk liegt der M. interosseus medius im mittleren und proximalen Röhreindrittel zwischen den Griffelbeinen. Distal bedecken seine Schenkel fast beide Griffelbeinknöpfechen, wobei die freien Griffelbeinenden von ihnen völlig unberührt bleiben. Bei Hyperflexion des Fesselgelenkes werden die freien Griffelbeinenden jedoch von den Schenkeln des M. interosseus medius nach abaxial gedrückt. Die Exkursion der Griffelbeine kann 3 bis 5 mm betragen. Die Griffelbeinenden entfernen sich also voneinander in der Hangbeinphase und nähern sich einander an während der Stützbeinphase, was ihre ständige Biegung beim Bewegungsablauf bewirkt. Schreitet mit zunehmendem Alter des Pferdes die Verknöcherung des Griffelbeines fort und wird aus der flexiblen Befestigung am Röhrebein durch das Mittelfußknochenzwischenband eine Synostose, kann das Griffelbein dem Druck des M. interosseus medius nicht mehr federnd ausweichen. Der am weitesten distal liegende Ort der Verknöcherung zwischen Griffelbein und Röhrebein wird so zum Spannungspunkt. An diesem Locus minoris resistentiae kann das Griffelbein dann abknicken oder brechen. Weiterhin beschreiben die Autoren das Vorkommen von quer verlaufenden Linien durch das Griffelbein an dieser Stelle, die sie als Epiphysenfugen deuten. Sie sehen darin einen gestörten Ablauf der Ossifikation des Griffelbeines, stellen dies jedoch nur bei Trabern fest. Eine solche Aufhellungslinie fällt bei einem Patienten während der postoperativen Kontrolle eines drei Monate zuvor extirpierten Griffelbeines am zuvor intakten anderen Griffelbein der operierten Gliedmaße auf. Die Autoren deuten diese Aufhellungslinie als Epiphysenfugenfraktur.

Um zu klären, ob es nach einer distalen Griffelbeinfraktur durch die Bruchenden zur Schädigung des M. interosseus medius kommt, und um das Verhalten der abheilenden Fraktur zu dokumentieren, werden künstliche Defekte an beiden Griffelbeinen einer Vordergliedmaße eines Pferdes gesetzt. Nach Entfernen der Hautnaht wird das Pferd regelmäßig belastet. Es entsteht dabei weder eine Lahmheit noch eine Empfindlichkeit des M. interosseus medius. Die beiden Griffelbeine verhalten sich jedoch unterschiedlich. Am medialen Griffelbein tritt keine Verlagerung des distalen Fragmentes ein. Nach vier Wochen ist ein deutlicher Kallus vorhanden und nach acht Wochen ist die Fraktur abgeheilt. Lateral zeigt sich eine Dislocatio ad longitudinem cum distractione ohne Heilungstendenz am Frakturspalt. Auch nach über drei Monaten lag noch eine Defektpseudarthrose ohne Kallus vor.

Eine neben der Griffelbeinfraktur bestehende Erkrankung des Fesseltrageapparates wird regelmäßig gesehen. Von neun Pferden zeigen acht eine Tendopathie des fraktur nahen Interosseus-schenkels und eines eine Gleichbeinfraktur. Zusätzlich tritt bei 4 Pferden neben der Fraktur des Griffelbeines eine Sesamoidose mit verbreiterten Aufhellungslinien im Gleichbein auf. Die Autoren sehen dadurch die Ansicht von OELKERS (1907) bestätigt, daß es zur Überleitung krankhafter Prozesse am Gleichbein auf das benachbarte Griffelbeinknöpfchen kommen kann. Beim retrospektiv untersuchten Fall des Pferdes mit Niederbrechen liegt gleichzeitig eine gedeckte, distale Griffelbeinfraktur vor, welche allerdings nach konservativer Behandlung vollständig abheilt.

Die Autoren stützen so die Hypothese von NUMANS und WINTZER (1961), wonach der gedeckte, distale Griffelbeinbruch eine Ermüdungsfraktur ist. Die Fraktur wird demnach vom M. interosseus medius ausgelöst, welcher in der Hangbeinphase das freie Griffelbeinende nach abaxial drückt.

2.2.5.2.2. Fußwurzelgelenk-Mittelfußfaszientheorie

Gemäß ROONEY (1969) ist die Ursache der distalen Griffelbeinfraktur nicht bekannt, weshalb er seine Vermutungen zu ihrem mechanischen Ablauf erläutert. Die Faszie zwischen dem Erbsenbein und den Griffelbeinen übt eine palmare Zugkraft auf deren Schaft aus sobald der beim Aufußeln leicht gebeugte Karpus während der Stützbeinphase gestreckt wird. Das Griffelbein wird so aus seiner Lage am Röhrbein entfernt und bricht in seinem unteren Drittel.

Dass eine Fraktur häufiger am medialen Griffelbein entsteht, liegt an der medial stärkeren Zugkraft. Da das Erbsenbein als oberer Ansatzpunkt der Faszie lateral liegt, ist diese medial so groß wie ihr Wert auf der lateralen Seite multipliziert mit dem Abstand zwischen dem Erbsenbein und der Achse des inneren Griffelbeines. Anders als bei Wagenpferden wirkt diese Zugkraft bei Trabern hingegen in Renngeschwindigkeit sehr ruckartig auf das Griffelbein, was für die häufigen Frakturen bei dieser Rasse verantwortlich ist. Für die Griffelbeinfrakturen an der Hintergliedmaße hat der Autor eine ähnliche, aber kompliziertere Erklärung, zu der er allerdings keinerlei detaillierte Angaben macht.

Diese Hypothese wird auch von ROONEY (1986) unverändert zur Erklärung dieses Krankheitsbildes verwendet.

2.2.5.2.3. Bogensehnentheorie

JONES und FESSLER (1977) sehen bei Trabern häufig Frakturen an jenen Griffelbeinen der Hintergliedmaßen, welche, bezogen auf die Rennrichtung, außen liegen, wobei die Rennen im Linkskurs gefahren werden. Das linke mediale und das rechte laterale hintere Griffelbein ist doppelt so oft gebrochen wie das der Gegenseite. Die Zugseite der Gliedmaße ist dabei unter erhöhter Belastung, weshalb Druckkräfte von proximal keine entscheidende Rolle in der Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur spielen können. Sie vermuten vielmehr, dass der M. interosseus medius während der schnellen Bewegungen des Fesselkopfes im Renntab gleich einer Bogensehne gegen das angrenzende, relativ unbewegliche Griffelbein schnappt, dieses zur Seite drückt und schließlich brechen lässt. Die bei den durchschnittlich 6-jährigen Pferden der Studie bereits durch zunehmende Ossifikation herabgesetzte Elastizität des Mittelfußknochenzwischenbandes begünstigt ein Entstehen dieser Frakturen, weil das Griffelbein aufgrund seiner festen Verbindung zum Röhrbein dem M. interosseus medius nicht mehr ausweichen kann. Darauf, daß die Griffelbeine der linken Vordergliedmaße ihrer Patienten doppelt so häufig gebrochen sind wie die der rechten, gehen die Autoren nicht näher ein.

Die Tendopathie des M. interosseus medius muß bei einer Griffelbeinfraktur differenziert betrachtet werden. Zum einen können die Frakturenden des Griffelbeines die benachbarten Sehnenfasern im Laufe der Zeit immer stärker schädigen. Andererseits erachten die Autoren

die Erkrankung des M. interosseus als ein der Fraktur vorausgehendes und diese verursachendes Problem.

2.2.5.2.4. Distractionstheorie

Mit den Kräften, die auf das Griffelbein einwirken befassen sich DE MOOR et al. (1984) und VERSCHOOTEN et al. (1984) eingehend aus klinischer wie experimenteller Sicht.

Den Einfluß des M. interosseus medius auf den distalen Griffelbeinabschnitt untersuchen DE MOOR et al. (1984) an 44 Gliedmaßen (31 vordere, 13 hintere) ohne pathologische Befunde und 5 Gliedmaßen mit einer Tendopathie des Interosseus in einer Belastungspresse. Das Absetzen erfolgt im Karpus bzw. Tarsus und die Haut ist zum direkten Beobachten der Griffelbeine entfernt. Dorsopalmare bzw. -plantare Röntgenaufnahmen werden bei normalem Standwinkel, maximaler Hyperextension und Hyperflexion im Fesselgelenk erstellt um die Bewegung der Griffelbeine im Bezug zum Röhrlbein zu messen. Obwohl eine Belastung bis zum Niederbrechen erfolgt (zwischen 11,8 und 14,7 kN), ist weder visuell noch radiographisch eine Bewegung des Griffelbeines bei Hyperextension festzustellen. Bei Hyperflexion ist aber mit bloßem Auge zu erkennen, dass die Griffelbeine distal etwas vom Röhrlbein abweichen. Radiographisch ist diese abaxiale Bewegung der Griffelbeine in der 0°-Projektion jedoch nicht darstellbar. Die gesunden und am M. interosseus medius erkrankten Gliedmaßen verhalten sich identisch. Die Autoren beobachten jedoch die Anspannung der mit dem Griffelbein verbundenen Weichteilstrukturen bei Hyperextension der Zehe. Die hinterm Griffelbein verlaufenden und zuweilen mit dem Knöpfchen verbundenen Endsehnen der Mm. interossei lateralis bzw. medialis sind nun leicht gespannt sichtbar, bevor sie sich am Fesselgelenk in der Faszie verlieren. Ein, verglichen mit diesen Endsehnen, viel stärkerer Bindegewebsstrang gerät jedoch unter extreme Anspannung. Diese bandartige Struktur inseriert am distalen Griffelbeinende und zieht von hier distal, weshalb es die Autoren „distales Griffelbeinband“ nennen.

Bei diesen Belastungsversuchen wird auch besonders auf den Einfluss der Faszie des Metakarpus und Metatarsus geachtet. Die vermehrte Anspannung dieser Faszie führt aber weder bei Hyperextension noch Hyperflexion zu irgendwelchen Lageveränderungen des Griffelbeines.

Die postmortale Untersuchung der Gliedmaße eines Pferdes mit Tendopathie des M. interosseus medius und distaler Griffelbeinfraktur ermöglicht, das Verhalten der Bruchenden unter Belastung (bis 4,9 kN) zu beobachten. Die radiographisch ermittelte Erweiterung der Frakturlücke auf fast das Doppelte erklären die Autoren mit dem Zug des sogenannten distalen Griffelbeinbandes am unteren Fragment während der Hyperextension. Der Endsehne der Mm. interossei lateralis bzw. medialis sprechen sie dabei jedoch nur eine untergeordnete Rolle zu.

In einem weiteren Versuch wird die Hintergliedmaße eines Pferdes, welches eine Tendopathie des M. interosseus medius an der gegenüberliegenden Gliedmaße hatte, in die Belastungspresse verbracht und mit 4,9 kN bis zum Niederbrechen belastet. Hierbei entsteht gleichzeitig eine Ruptur des M. interosseus medius und eine Fraktur des lateralen Griffelbeines im distalen Abschnitt. Demnach ist der Zug, welcher bei einmaliger Hyperextension im Fesselgelenk durch das distale Griffelbeinband oder durch die Endsehnen der rudimentären Mm. interossei lateralis bzw. medialis auf das Griffelbein vermittelt wird, fähig, dieses zu brechen.

Die Festigkeit isolierter Griffelbeine wird an 5 Präparaten untersucht. Eines, welches bereits ausgetrocknet wirkt, bricht bei einer Last von 0,09 kN. Die übrigen werden direkt nach der Präparation frisch untersucht und sind mit Werten zwischen 0,28 und 0,77 kN stabiler.

Bei der retrospektiven Analyse der Patienten mit distalen Griffelbeinfrakturen wird in 70 % der Fälle auch ein Schaden des M. interosseus medius diagnostiziert. Es handelt sich aber nie um eine auf den Bezirk der Frakturenden oder des Kallusgewebes begrenzte Faserschädigung, sondern um eine Tendopathie, wie sie üblicherweise durch Überlastung eintritt. Ein Auseinanderweichen der Frakturenden sehen die Autoren regelmäßig. Eine Epiphysenfugenfraktur des Griffelbeines kommt nicht vor. Besonders anfällig für eine Fraktur scheinen dünne Griffelbeine, deren Verlauf deutlich vom Röhrbein abweicht. Außerdem fallen einige Pferde auf, die zur konservativen Therapie Boxenruhe erhalten, in dieser Zeit keinerlei Training absolvieren und dennoch eine Fraktur an einem anderen zuvor sicher gesunden Griffelbein erleiden.

Die Autoren gründen auf ihre Beobachtungen die Distractionstheorie zur gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur, die sie im Einvernehmen mit NUMANS und WINTZER (1961) sowie DIETZ et al. (1963) als belastungsinduzierte Ermüdungsfraktur ansehen. Zwei Kräfte sind dabei von

Bedeutung. Die eine und wohl bei weitem entscheidendere ist der Zug, welcher durch das sogenannte distale Griffelbeinband oder die Endsehnen der rudimentären Mm. interossei lateralis bzw. medialis auf das freie Griffelbeinende vermittelt wird. Diese Kraft nimmt bei Vorliegen einer Tendopathie des M. interosseus medius und stärkerer Hyperextension im Fesselgelenk stetig zu. Die zweite und sicher weniger wirksame Kraft ist der Druck, den der Interosseusschenkel bei Hyperflexion in abaxialer Richtung auf das freie Griffelbein ausübt.

VERSCHOOTEN et al. (1984) berichten über dieselbe Untersuchung an anderer Stelle, deuten aber die Ergebnisse nicht in gleicher Weise. Zwar werden ebenfalls zwei Kräfte genannt, die am Griffelbein eine Ermüdungsfraktur verursachen. Auch hier wird die abaxial gerichtete Druckkraft durch den M. interosseus medius während der Hyperflexion als weniger bedeutsam angesehen, verglichen mit dem distalen Zug während der Hyperextension. Die Autoren nennen jedoch die dünnen Endsehnen der Mm. interossei medialis bzw. lateralis als frakturauslösende Struktur. Über ein sogenanntes distales Griffelbeinband werden keine Angaben gemacht.

BUKOWIECKI et al. (1987) und BRAMLAGE et al. (1989) machen bei der Untersuchung zur Belastbarkeit des Fesseltrageapparates Beobachtungen, die direkt mit der Ätiologie der Griffelbeinfraktur zusammenhängen. Sie vergleichen Gliedmaßen trainierter und untrainierter Pferde bei einer einmaligen Belastung in einer Drucktestmaschine. Die im Karpus bzw. Tarsus und im Krongelenk abgesetzten Gliedmaßen werden vor dem Versuch enthäutet und die oberflächliche und tiefe Beugesehne entfernt. Die Belastung erfolgt mit einer graduellen Lastzunahme von etwa 0,04 kN pro Sekunde bis zum Niederbrechen oder einem vorderen Fesselgelenkwinkel von etwa 90 °, bei dem der Fesselkopf die Grundplatte der Maschine berührt. Der Niederbrechen tritt bei 83 % der Gliedmaßen der trainierten Pferde als Gleichbeinfraktur auf bei einer durchschnittlichen Last von 13,1 kN. Bei den untrainierten Pferden kommt es in 92 % der Fälle zur Ruptur des M. interosseus medius bei einer mittleren Kraft von 10,8 kN. Es dauert somit 5 bzw. 4 Minuten bis zum Eintritt des Niederbrechens. Zusätzlich zum Niederbrechen durch den M. interosseus medius finden die Autoren bei 67 % der Gliedmaßen der untrainierten Pferde eine ein- oder beidseitige distale Fraktur der Griffelbeine. Als deren Ursache nennen sie rudimentäre bandartige Weichteilverbindungen zwischen dem distalen Griffelbeinende und der Gleichbeinregion, die während der Hyperextension im Fesselgelenk unter extreme Spannung geraten und stärker sind als die Griffelbeine selbst. Infolgedessen entsteht eine Abrissfraktur des Griffelbeins an seiner dünnsten Stelle. Dies ist in

den Augen der Autoren der Beweis für ihre Annahme, dass die gedeckte, distale Griffelbeinfraktur ein sekundäre Folge eines schwachen und überdehnten M. interosseus medius ist.

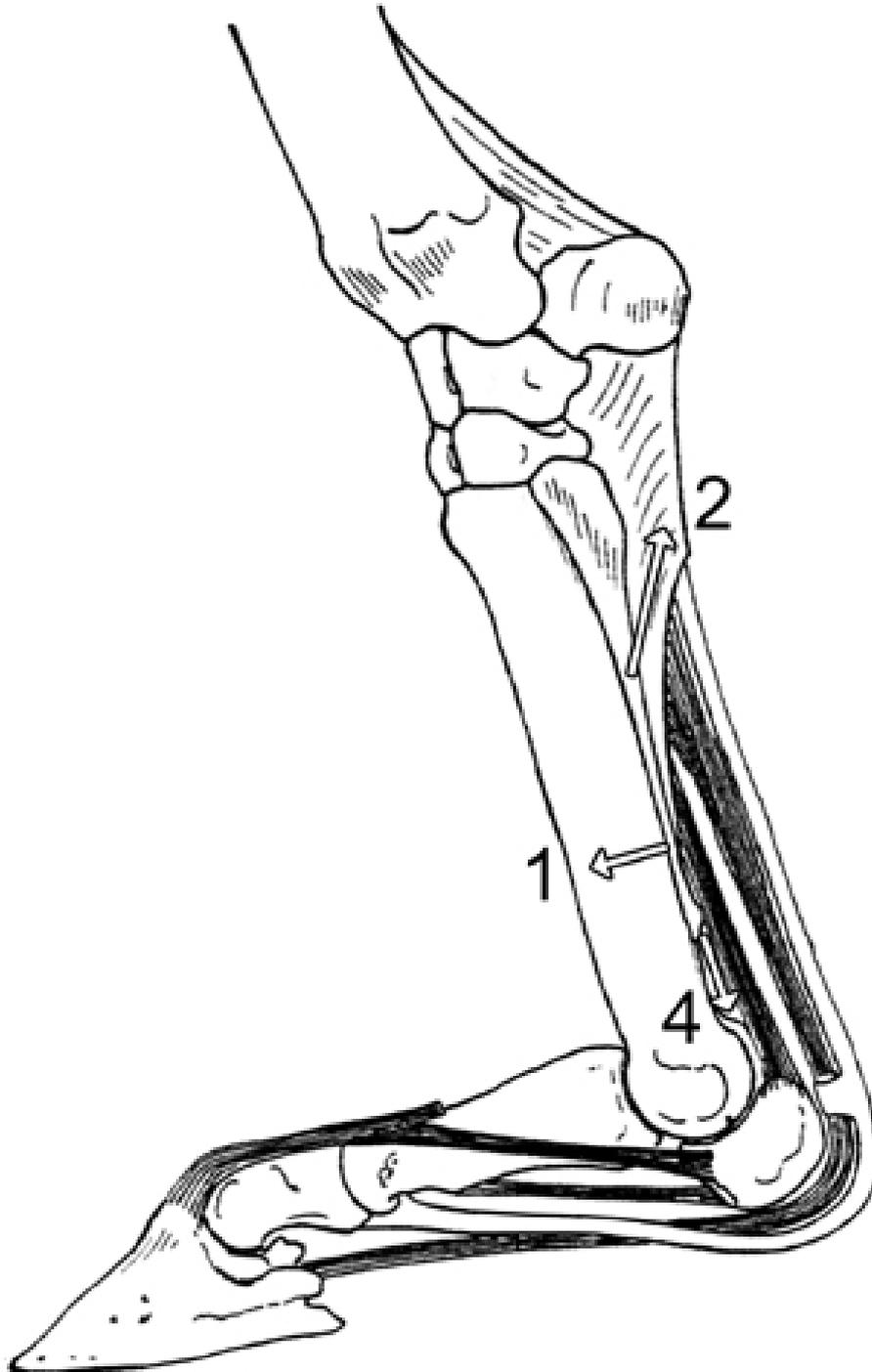


Abb. 2 a: Darstellung der Theorien zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten distalen Griffelbeinfraktur, modifiziert nach DENOIX (1996).

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Seitliche Deviationstheorie | 2. Fußwurzelgelenk-Mittelfußfaszientheorie |
| 3. Bogensehnenstheorie | 4. Distractionstheorie |



Abb. 2 b: Darstellung der Theorien zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten distalen Griffelbeinfraktur, modifiziert nach KAINER (1989).

(Beugesehnenpaket und Fesselringband sind entfernt)

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Seitliche Deviationstheorie | 2. Fußwurzelgelenk-Mittelfußfaszientheorie |
| 3. Bogensehnentheorie | 4. Distractionstheorie |

OELKERS (1907) weist ebenfalls auf Folgen der Erkrankung des Fesseltrageapparates auf das Griffelbein hin. Bei der Gleichbeinentzündung findet er häufig eine Periostitis des Griffelbeinknöpfchens. Die auslösende Kraft vermittelt der bandartige Sehnenzug, der am Griffelbeinknöpfchen inseriert und distal in die Gegend der Gleichbeine zieht. Geringe Periostitiden des Griffelbeins sieht er oft, wobei dann diese bandartige Struktur klar von den Gleichbeinen und dem Fesselgelenk abgrenzbar ist und diesen verschieblich aufliegt. Kommt es aber zur massiven Verdickung dieses Bandes ist es durch derbe Bindegewebszüge mit dem benachbarten M. interosseus medius unbeweglich verwachsen. Daher werden die Kräfte bei Überdehnungen des Fesseltrageapparates direkt auf das Griffelbeinknöpfchen weitergeleitet. Eine massive Periostitis des Griffelbeinknöpfchens, die sich proximal als inter- oder postmetakarpales Überbeins ausbreitet, ist die Folge.

2.2.5.3. Diagnose

Die klinische Lahmheitsuntersuchung, ergänzt durch eine Röntgenuntersuchung der Metakarpalregion, liefert in der Regel eine exakte Diagnose. Bei Druckschmerz des M. interosseus medius sollte eine sonographische Untersuchung durchgeführt werden (STASHAK, 1989; HONNAS, 1992).

2.2.5.3.1. Klinische Befunde

Im akuten Stadium ist am Mittelfuß eine diffuse, entzündlich-ödematöse Schwellung mit vermehrter Wärme und Druckschmerz feststellbar, weshalb Griffelbein und M. interosseus medius palpatorisch meist nicht differenzierbar sind. Die Lahmheit ist meist geringgradig. Diese akuten Symptome klingen ab, sofern die Pferde eine Ruhephase erhalten, treten aber bei Wiederaufnahme des Trainings wieder auf (STASHAK, 1989; WINTZER, 1997).

2.2.5.3.2. Röntgenologische Befunde

Die Röntgenuntersuchung erfolgt tangential mit auf das mittlere Griffelbeindrittel gerichtetem Zentralstrahl. Um das Spatium interosseum frei einzusehen, und um das Griffelbein vom Röhreibein abzugrenzen, wählt SCHEBITZ (1978) einen Winkel von 65°. WINTZER (1960) und MORGAN et al. (1991) nehmen einen Winkel von 45°. QUICK und RENDANO (1979) weisen

darauf hin, dass oft zwei Aufnahmen zwischen 35° und 45° nötig sind, um das Griffelbein in gesamter Länge getrennt vom Röhrbein abzubilden. BUTLER et al. (1993) beschreiben große Unterschiede in Länge und Verlauf des Griffelbeines sowie Größe und Form seines Knöpfchens. Die bei Geburt knorpelige distale Epiphyse verknöchert erst allmählich, so dass die Epiphysenfuge bis zum Alter von 9 Monaten röntgenologisch sichtbar ist. ROONEY (1969) und THRALL (1994) warnen davor, diese Epiphysenfugen mit einer Fraktur des Griffelbeines zu verwechseln. Als weitere Fehldiagnose nennen sie Aufhellungslinien durch das Mach'sche Phänomen bei Überlagerung von Griffelbein und Röhrbein. BUTLER et al. (1993) stellen das mögliche Erscheinungsbild einer distalen Griffelbeinfraktur dar. Im Falle einer ausgeprägten Verlagerung des distalen Fragmentes bleibt die Durchbauung des Frakturspaltens aus so dass eine Defektseudarthrose entsteht. Heilt die Bruchlücke durch Kallusbildung, weist dieser oft beträchtliche Ausmaße und manchmal Aufhellungszonen auf, die Frakturlinien ähneln. Dieser Kallus applaniert sich mit der Zeit und wird wieder kleiner. Eine gewisse Verdickung des distalen Griffelbeins bleibt aber meist zurück. Bei Auffälligkeit des Fesseltrageapparates wird außerdem die Sonographie des M. interosseus medius und die Röntgenuntersuchung der Gleichbeine empfohlen. Auch SONNICHSON (1981) streicht die Berücksichtigung des Fesseltrageapparates bei der Röntgendiagnostik einer Ermüdungsfraktur des Griffelbeines heraus. DIK und GUNSER (1987) sehen einen Zusammenhang zwischen der Dislokationsform des distalen Fragmentes, dem Alter der Fraktur und der anzutreffenden periostalen Reaktion am Bruchspalt.

2.2.5.4. Therapie

Grundsätzlich ist zwischen konservativer und operativer Behandlung zu wählen. Die Entscheidung für ein chirurgisches Vorgehen sollte erfolgen, wenn die Überbrückung der Fraktur durch Kallusgewebe ausbleibt oder sich dieses so massiv entwickelt, dass mit der Schädigung des angrenzenden M. interosseus medius zu rechnen ist (STASHAK, 1989). Andererseits wird in der Bewegung der dem Kallus anliegenden Sehnen ein formgebender Einfluß gesehen, der die Applanation fördert, falls genug Zeit eingeräumt wird (HICKMAN, 1976). Die konservative Therapie besteht in lokaler und systemischer Behandlung der akuten Entzündung, Boxenruhe und Verbänden für 2 bis 3 Monate, gefolgt von 4 bis 8 Monaten kontrollierter Bewegung (DE MOOR et al., 1984). Die meisten Autoren empfehlen aber die chirurgische Therapie. Erste Berichte über die operative Entfernung des distalen Fragmentes in Vollnarkose stammen von

PALLISTER (1953) und JENNY (1959). Obwohl Berichte über die chirurgische Behandlung am stehenden, sedierten Pferd existieren, wird von diesem Vorgehen abgeraten (STASHAK, 1989). Vereinzelt wird die Operation unter Chloralhydratrausch und hoher Palmar- bzw. Plantarnervenanästhesie durchgeführt (ÜBERREITER, 1966; DIETZ und WIESNER, 1982; KELLER, 1994). Ansonsten besteht im Schrifttum jedoch Übereinstimmung über die Notwendigkeit der Allgemeinanästhesie.

Eine exakte Beschreibung der Operation liefern NUMANS und WINTZER (1961). Eine Verbandsbehandlung wird vorangestellt, welche die oft beträchtliche Weichteilschwellung, die eine Differenzierung des Griffelbeins von seiner Umgebung erschwert, reduziert. Der Eingriff erfolgt unter Esmarch'scher Blutleere. Bis etwa fingerbreit proximal und distal des distalen Fragmentes erfolgt der Schnitt durch Haut, Unterhaut und Faszie. Unter Schonung der angrenzenden Blutgefäße, des M. interosseus medius und des Röhreibeinperiosts wird das Griffelbeinfragment amputiert und der Amputationsstumpf geglättet. Freie Knochensplitter sind zu entfernen. Bei der Naht von Faszie und Haut sollte ein Wundverschluß ohne Hohlräumbildung erreicht werden. Die lokale Antibiose ist meist ausreichend. Die Wunde bleibt bis zur Abheilung unter Verband. Anschließend kann zur Vorbeuge gegen periostale Zubildungen im Operationsgebiet die Injektion eines Kortikosteroidpräparat erfolgen. Für sechs bis acht Wochen erhält das Pferd Boxenruhe, die Gliedmaße wird bandagiert und regelmäßig massiert, um Weichteilschwellungen zu vermindern, bevor das Aufbautraining begonnen wird.

Diese Methode wird im Wesentlichen von den Autoren, die über die chirurgische Behandlung berichten, übernommen. Zuweilen wird der Erhalt des Periosts und dessen Naht als notwendig zur Vermeidung postoperativer Exostosenbildung am Griffelbeinstumpf erachtet (STIHL, 1968; HEINZE, 1972; BOWMAN u. FACKELMAN, 1982; GOBLE, 1982; DIETZ u. HENSCHER, 1988). Bei gleichzeitig vorliegenden Zubildungen des Röhreibeins empfiehlt SILBERSIEPE (1986) die Entfernung dieser Exostosen unter Schonung und anschließendem Verschluss des Periosts. FOERNER und MC ILWRAITH (1990) sowie FACKELMAN (1991) raten jedoch, die Amputation des Griffelbeins ausreichend proximal vorzunehmen, damit alles reaktive periostale Gewebe, das Ausgangspunkt für neue Exostosen sein kann, entfernt wird. RICHARDSON (1990) stellt grundsätzlich in Frage, ob das Belassen oder Entfernen des Periosts im Frakturgebiet irgendeinen Einfluss auf das postoperative Ergebnis hat. Der nach der Griffelbeinextirpation bleibende Hohlraum ist durch die Naht fein zu schließen. Sonst ist eine Drainage zur

Vermeidung einer Serombildung einzulegen und bis zum ersten Verbandswechsel zu belassen (STIHL, 1968; GOBLE, 1982; FACKELMAN, 1991). Wird während der Operation eine Tendopathie des M. interosseus medius festgestellt, raten JONES und FESSLER (1977), sowie auch GOBLE (1982) zum longitudinalen Sehnenplitting. Zur Kauterisation in der Umgebung des entzündeten M. interosseus medius nach Abheilung der Operationswunde raten DIETZ und WIESNER (1982).

Eine postoperative Boxenruhe wird meist mit vier bis sechs Wochen angesetzt (ORDIGE, 1984; SILBERSIEPE, 1986; DENNY, 1989; MOLINARI et al., 1989). GOBLE (1982) rät die Pferde in dieser Zeit täglich kurz zu führen, um Verwachsungen zwischen dem M. interosseus medius und dem Operationsgebiet zu vermeiden. Die Wiederaufnahme des Trainings ist meist nach drei bis vier Monaten möglich (STIHL, 1968; BOWMAN u. FACKELMAN, 1982; GOBLE, 1982; DENNY, 1989).

MOLINARI et al. (1989) empfehlen ebenfalls die chirurgische Behandlung, merken aber an, dass sie die prophylaktische Röntgenuntersuchung der Griffelbeine junger Pferde vor Beginn des Trainings anraten, um Griffelbeinschäden frühestmöglich aufdecken und behandeln zu können.

2.2.5.5. Prognose

Liegt alleine eine distale Griffelbeinfraktur vor werden die Chancen für eine spätere Lahmheitsfreiheit günstig gesehen. Die Prognose verschlechtert sich erheblich, wenn gleichzeitig eine Tendopathie des M. interosseus medius, eine Sesamoidose (HAYNES, 1980; FERRARO, 1990; RICHARDSON, 1990; DU PREEZ, 1994) oder eine ausgedehnte Periostitis des fraktur-nahen Röhrbeinabschnittes vorliegt (FOERNER u. MC ILWRAITH, 1990). Besteht bereits ein Schaden des M. interosseus medius kann keiner der von BOWMAN und FACKELMAN (1982) behandelten Vollblüter und nur ein Viertel der Traber langfristig Rennen absolvieren, ohne dass es zur erneuten Lahmheit der operierten Gliedmaße kommt.

2.3. Biodynamische Abläufe an der distalen Gliedmaße unter Belastung mit Auswirkung auf den Fesseltrageapparat und die Griffelbeine

Zahlreiche in vivo und in vitro Studien untersuchen die Auswirkungen der Belastung der Gliedmaße auf deren Knochen, Gelenke und Sehnen.

RIEMERSMA et al. (1988a) messen mit implantierten Dehnungsmessgeräten die von den Sehnen der Hintergliedmaße im Schritt aufgenommene Last bei Ponys mit einem durchschnittlichen Gewicht von 208 kg. In der ersten Hälfte der Stützbeinphase trägt die oberflächliche Beugesehne eine Last von 4,1 N/kg bzw. 0,85 kN, der M. interosseus medius eine von 4,6 N/kg bzw. 0,96 kN in der Mitte der Stützbeinphase und in deren zweiten Hälfte lasten 6,7 N/kg bzw. 1,4 kN auf der tiefen Beugesehne. RIEMERSMA et al. (1988b) beschreiben die prozentuale Verlängerung der Sehnen durch diese Belastung, welche 2,3 % für die oberflächliche, 3,4 % für die tiefe Beugesehne und 3,1 % für den M. interosseus medius beträgt. Hierbei haben die tiefe und oberflächliche Beugesehne eine einphasige Belastungskurve mit ihren Gipfeln im zweiten bzw. ersten Teil der Stützbeinphase und der M. interosseus medius einen zweigipfligen Kurvenverlauf.

SCHRYVER et al. (1978) erfassen bei im Durchschnitt 380 kg schweren Pferden im Schritt (72 m/min) und Trab (174 m/min) die Kräfte an den Sehnen der Vordergliedmaßen. Die tiefe Beugesehne trägt das 0,83-fache des Körpergewichtes bzw. 3,1 kN im Schritt und das 1,4-fache des Körpergewichtes bzw. 5,2 kN im Trab. Oberflächliche Beugesehne und M. interosseus medius übernehmen gemeinsam 2 kN im Schritt und 4,8 kN im Trab. Die am Huf auftreffende Kraft wird mit dem 0,6-fachen des Körpergewichtes bzw. 2,2 kN im Schritt und dem 0,9-fachen bzw. 3,4 kN im Trab angegeben. GEARY (1975) nennt als Richtwert für die vertikale Hufkraft beim galoppierenden Pferd das 1,7-fache des Körpergewichtes.

LOCHNER et al. (1980) finden bei im Mittel 475 kg schweren Pferden im Schritt (48 m/min) an der oberflächlichen Beugesehne eine Belastung von 3,6 kN, an der tiefen Beugesehne 4,1 kN und am M. interosseus medius 1,7 kN. Sie sehen weiterhin, dass die Erhöhung des Hufwinkels von 40° auf 70° die tiefe Beugesehne entlastet, sich für die oberflächliche Beugesehne und den M. interosseus medius aber keine Veränderungen ergeben. Die Autoren betonen jedoch, dass Untersuchungen bei höherer Geschwindigkeit vermutlich andere Resultate hervorbringen.

Auch STEPHENS et al. (1989) untersuchen den Einfluß des Hufwinkels auf die Sehnen bei etwa 450 kg schweren Galoppieren. Die oberflächliche Beugesehne erfährt bei Trachtenerhöhung um 10° im Schritt zwar keine, im Trab aber eine deutliche Mehrbelastung.

QUDDUS et al. (1978) bestimmen bei einem Traber (476 kg KG) bei 480 m/min die vertikale Hufkraft an der Schultergliedmaße als 0,99-faches des Körpergewichtes. Bei Analyse der

Winkeländerungen der Gelenke zeigen das Fessel- und das Hufgelenk die größte Bewegung. Beim Auffußen nimmt der Hufgelenkwinkel bis zur maximalen Beugung um 21° ab und beim Abfüßen erfolgt die Streckung des Gelenkes, womit eine Winkeländerung von insgesamt 64° während der gesamten Stützbeinphase entsteht. Das Fesselgelenk hat einen zweiphasigen Kurvenverlauf während der Hyperextension mit einer Winkeländerung von 48° . Der dorsale Fesselgelenkwinkel sinkt von 165° bei der Landung auf 134° und am Ende der Stützbeinphase auf 117° . Dabei werden die oberflächliche Beugesehne und der M. interosseus medius am stärksten beansprucht. Letzterer gerät durch seine Unterstützungsschenkel zur Strecksehne bei Streckung im Fesselgelenk und Beugung im Hufgelenk unter maximale Belastung.

GEARY (1975) misst bei Galoppieren (840 m/min) noch höhere Belastungen durch Hufgelenksbeugung um 50° beim Auffußen und maximale Hyperextension im Fesselgelenk bis auf 104° .

JOHNSTON et al. (1995 u. 1996) untersuchen die Gelenkwinkel der Vorder- und Hintergliedmaßen von Trabern bei 660 m/min. Der dorsale Fesselgelenkwinkel nimmt von 160° bei der Landung auf bis zu 100° ab. Der Karpus ist beim Auffußen mit einer Streckung von 2° fast gerade und erfährt nach dem ersten Drittel der Stützbeinphase die maximale Hyperextension von 14° . Der Tarsus wird bei Belastung nur allmählich um bis zu 28° gebeugt. Die vertikale Hufkraft wirkt sich in erster Linie auf die Zehengelenke und die Mittelfußregion aus. Das Fesselgelenk und der Fesseltrageapparat sind daher der größten Belastung ausgesetzt.

KINGSBURY et al. (1978) vergleichen in vivo-Messungen an Galoppieren (454 kg KG) mit in vitro-Tests isolierter Gliedmaßen in einer hydraulischen Presse. Die vertikale Hufkraft in vivo bei 840 m/min liegt beim 1,85-fachen Körpergewicht. Diese Last von 8,2 kN führt zur Beugung im Hufgelenk von 35° und Hyperextension im Fesselgelenk auf 104° . Die im distalen Unterarm bei Erhalt des Unterstützungsbandes der oberflächlichen Beugesehne abgesetzten Gliedmaßen werden in vitro vergleichbaren Belastungen ausgesetzt. Die Kurven der Gelenkwinkel der isolierten Gliedmaßen entsprechen den in vivo-Messungen. Eine Gliedmaße, welche nur allmählich der entsprechenden Last ausgesetzt wird, verhält sich jedoch anders. Die Hyperextension der Zehe wird hier bereits bei geringerer Last erreicht und die Sehnen erfahren eine plastische Deformation mit Verlust ihrer Elastizität. ROONEY et al. (1978) berichten an anderer Stelle über diese Untersuchung. Für die in vitro-Studie zerlegen sie die angreifende Kraft in sehnenpezifische Anteile durch wiederholte Versuche bei intakten Sehnen, nach Durchtrennung der oberflächlichen Beugesehne, dann der tiefen Beugesehne und schließlich des M. interosseus medius. Letzterer erfährt dabei eine Last von 3,4 kN, die oberflächliche

Beugesehne 2 kN und die tiefe 1,2 kN. Die in vivo- und in vitro-Ergebnisse zeigen, dass die Muskeln der oberflächlichen und tiefen Beugesehne die Energie beim Aufußen zwar dämpfen, die Sehnen und Unterstützungsbänder aber im Wesentlichen für Aufnahme, Speicherung und erneute Freisetzung der Bewegungsenergie während der Stützbeinphase verantwortlich sind.

THOMPSON et al. (1992) bestimmen den Einfluss der Trachtenerhöhung auf die Belastung der Sehnen isolierter Vordergliedmaßen in einer hydraulischen Presse. Das Unterstützungsband der oberflächlichen Beugesehne bleibt beim Absetzen der Gliedmaßen intakt. Dehnmessensoren sind in die Sehnen und in die Verbindungsäste des M. interosseus medius zur Strecksehne implantiert. Eine vertikale Hufkraft von 2,9 kN erfolgt bei stufenweiser Erhöhung des Hufwinkels von 55° auf 78°. Hierdurch nimmt die Spannung an der tiefen Beugesehne um insgesamt 64 % linear ab. Die Belastung der oberflächlichen Beugesehne bleibt gleich. Der M. interosseus medius wird durch Trachtenerhöhung um etwa 23 % mehr belastet. Seine Verbindungsäste reagieren bis zum Hufwinkel von 61° nicht, danach steigt ihre Spannung jedoch exponentiell an. Die Ursache hierfür ist in der Dorsalverschiebung im Krongelenk und gleichzeitigen Beugung im Hufgelenk zu suchen. Daher kommt die Trachtenerhöhung als Therapie nur in Frage, wenn ausschließlich die Entlastung der tiefen Beugesehne notwendig ist.

BUSHE et al. (1988) messen die Änderung des Huf-, Kron- und Fesselgelenkwinkels durch Trachtenerhöhung. An Vordergliedmaßen werden die Hufe bis zum Winkel von 45° gekürzt. Nach je 5° Erhöhung wird eine seitliche Röntgenaufnahme bei belasteter Zehe bis zum Hufwinkel von 70° angefertigt. Pro 1° Trachtenerhöhung wird das Hufgelenk um 0,91° und das Krongelenk um 0,31° gebeugt, das Fesselgelenk aber nur um 0,13° vermehrt überstreckt. Die Autoren sehen damit die Ansicht von LOCHNER et al. (1980) bestätigt, dass die Trachtenerhöhung lediglich auf Hufgelenk und tiefe Beugesehne einwirkt, das Fesselgelenk, der Fesseltrageapparat und die oberflächliche Beugesehne allerdings unbeeinflusst bleiben.

NEUBERTH (1990) sieht jedoch in seiner Studie zur Ruptur der distalen Gleichbeinbänder einen Einfluss einer Trachtenerhöhung um 15° auf das Verhalten des Fesseltrageapparates. Ist für die maximale Hyperextension im Fesselgelenk mit Kontakt des Fesselkopfes zur Bodenplatte im Mittel eine Last von 11,1 kN nötig, so reichen bei Präparaten mit Trachtenerhöhung bereits durchschnittlich 10 kN aus. Die in beiden Gruppen erfolgte Ruptur des M. interosseus medius wird daher bei Trachtenerhöhung mit weniger Kraftaufwand erreicht als bei planer Fußung.

DENOIX (1996) beschreibt in vitro das Verhalten des Fesseltrageapparates isolierter Gliedmaßen bei Belastung. Seine Funktion ist die Stabilisierung des Fesselgelenkes während der Stützbeinphase. Die Gleichbeine wandern dabei nach distal, so dass die Schenkel des M. interosseus medius die Kondylen des Röhrbeins berühren und eine Gelenkbeteiligung erfahren. Durch Zug am Ansatz an den Gleichbeinspitzen und durch Druck, den die Röhrbeinkondylen in palmarer Richtung ausüben, wird der M. interosseus medius doppelt belastet. Seine einseitig vermehrte Beanspruchung kommt besonders bei asymmetrischer Belastung der Gliedmaße durch unregelmäßige Konformation oder schräges Aufsetzen vor. Durch seine Elastizität trägt der M. interosseus medius viel zur Aufrichtung des Fesselkopfes am Ende der Stützbeinphase bei. Die Änderung der Ausrichtung und Spannung seiner Sehnenfasern zu Beginn der Stütz- als auch der Hangbeinphase bringt erhebliche Vibrationen des M. interosseus medius mit sich.

JAHN et al. (1986) untersuchen in vitro die Reaktion des medialen Griffelbeines auf die vom Karpus weitergeleitete Last. Die im distalen Radius und mittleren Metakarpus abgetrennten Gliedmaßen werden kurzfristig mit 49,1 kN belastet. Mit Dehnungsmessstreifen wird am medialen Griffelbeinköpfchen eine kaudale und axiale Rotation um das Röhrbein ermittelt.

KATZENMEIER (1994) führt ebenfalls Tests durch, um die Bewegung des medialen Griffelbeines zu erfassen. Bei kontinuierlicher punktueller Belastung des medialen Griffelbeinköpfchens mit 19,2 kN erfolgt die Spaltung des Knochens oder ein bis zu 3 mm tiefes Eindringen des Belastungsstempels in die Gelenkfläche. Aus dieser Beobachtung wird abgeleitet, dass eine distale oder palmare Verschiebung des Griffelbeines nicht stattfindet. Messungen der Knochenpositionen zueinander werden nicht gemacht.

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Material

3.1.1. Gliedmaßen für anatomische Präparationen und in vitro Versuche

Die Gliedmaßenpräparate waren im Interkarpal- bzw. distalen Intertarsalgelenk mit Haut im Kapsel- und Sehnenbereich durchtrennt. Sie wurden im frischen Zustand aus einer Pferdeschlachtereier abgeholt. Angaben zu Rasse, Alter, Verwendung und Erkrankungen der Pferde konnten nicht erhoben werden.

Zur anatomischen Darstellung der Strukturen der Griffelbeinregion wurden 84 Gliedmaßen verwendet. Davon stammten 77 von Warmblutpferden, Trabern oder Galoppfern, fünf von Kaltblutpferden und zwei von Ponys. Es waren 50 Vorder- (29 linke und 21 rechte) und 34 Hintergliedmaßen (16 linke und 18 rechte). Nicht in die Auswertung miteinbezogen wurden 15 Gliedmaßen, die zuvor als Vorbereitung für die detailgenaue und korrekte Präparation der Weichteilstrukturen untersucht wurden.

Für die experimentellen Untersuchungen zur Griffelbeinfraktur wurden insgesamt 68 Gliedmaßen von ausgewachsenen Warmblutpferden, Trabern oder Galoppfern benutzt. Bei der adspektorischen Voruntersuchung wurde sichergestellt, daß die beiden Griffelbeine keine Überbeine oder Verwachsungen mit dem Sehnenapparat aufwiesen. Anschließend wurde mittels tangentialer Röntgenaufnahmen im Winkel von 55° für das laterale und 305° für das mediale Griffelbein bestimmt, ob das gesamte Spatium interosseum keine Kalzifikationen seiner Bandmassen aufwies oder wie groß der Anteil des frei beweglichen distalen Griffelbeinendes war. Gliedmaßen mit ausgedehnten Verknöcherungen zwischen Griffelbein und Röhrbein wurden nicht weiter verwendet.

Eine Vordergliedmaße eines Patienten der Klinik für Pferde, welcher aufgrund einer internistischen Erkrankung euthanasiert wurde, kam ebenfalls zur Untersuchung. Bei diesem Springpferd war das Vorliegen einer alten Griffelbeinfraktur bekannt, welche in Form einer Pseudarthrose abgeheilt war.

3.1.2. Röntgenbilder und Patientenakten der Pferde mit Griffelbeinfrakturen

Um Verbindungen der experimentellen Untersuchung zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten distalen Griffelbeinfraktur zum klinischen Krankheitsbild knüpfen zu können, wurden die Unterlagen der an einer Griffelbeinfraktur erkrankten Patienten der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin aus den Jahren 1975 bis 1994 untersucht. In diesem Zeitraum wurden 290 Pferde mit insgesamt 367 Frakturen der Griffelbeine vorgestellt.

3.2. Methoden

3.2.1. Anatomische Präparation

Die in der anatomischen Literatur sehr uneinheitlichen Beschreibungen der Weichteile der Griffelbeinregion sollten aufgeklärt werden. Hierfür wurde eine Präparation unter mäßiger Belastung durchgeführt. Die Gliedmaßen wurden in eine mechanischen Belastungspresse eingespannt und bis zum Erreichen des physiologischen Standwinkels im Fesselgelenk von etwa 135° belastet (Detaillierte Angaben zum Aufbau der Belastungsapparatur folgen im Kap. 3.2.3.). Durch Palpation wurden nun noch die Längenverhältnisse der Griffelbeine im Seitenvergleich erfaßt.

Die Präparation erfolgte schichtweise. Zunächst wurde an der vorderen und hinteren Kante der Röhre die Haut inzidiert und vorsichtig vom Karpus bis zur Mitte der Fessel entfernt. Auf die Schonung der darunterliegenden Faszien wurde besonders geachtet. Nun konnten Röhreibein, Griffelbein, Sehnenapparat und Leitungsbahnen durch die Faszien hindurch erkannt werden. In die oberflächliche Schicht der Mittelfußfaszie wurde eine Art Fenster präpariert. Seine seitlichen Begrenzungen lagen vorne entlang der Kante von Röhreibein und Fesselbein, hinten entlang des Randes der tiefen Beugesehne. Die quer verlaufenden Begrenzungen waren oben auf Höhe des Griffelbeinköpfchens und unten auf halber Höhe der Fessel. Nun konnten die rudimentären Mm. interossei lateralis und medialis neben den Griffelbeinen unter der tiefen Schicht der Faszie gesucht werden. Die Beziehungen dieser Muskeln zu den Griffelbeinen und zum Bindegewebe sowie das Verhalten der Faszien und Bänder wurde in Abbildungen von Gliedmaßen skizziert festgehalten. Zuletzt wurde die Gliedmaße unter zunehmende Belastung gesetzt und das Verhalten der freigelegten Strukturen beobachtet (s. Abbildungen 9 a u. b, S. 60 u. 61).

3.2.2. Auswertung der Röntgenbilder und Patientenakten

Zur Untersuchung des vorhandenen Materials wurde ein Befundungsschlüssel erarbeitet, der die in der radiologischen Literatur beschriebenen Merkmale einer Griffelbeinerkrankung und einer Erkrankung des Fesseltrageapparates beinhaltet. Besonderes Augenmerk galt dem Phänomen der Distraction der Frakturenenden und der dadurch bedingten Defekt pseudarthrose. Aus den Patientenakten konnten Angaben zu Rasse, Geschlecht, Alter und begleitender Sehnenerkrankung gewonnen werden.

3.2.3. Belastungsversuche zur Distractionstheorie unter direktvergrößerungsradiographischer Dokumentation

Um das Phänomen der Distraction der Frakturenenden zu erklären, wurde in einem Experiment versucht, das Verhalten einer distalen Griffelbeinfraktur zu beobachten. Es sollte der Frage nachgegangen werden, wodurch das distale Fragment des Griffelbeins verlagert wird, und ob diese Vorgänge bei der Entstehung der Fraktur beteiligt sein könnten. Insbesondere galt zu erfassen, ob die Intensität der Belastung des Fesseltrageapparates einen Einfluß auf die Vorgänge am Griffelbein hat.

Die unter natürlichen Bedingungen zu beobachtende Stützbeinphase wurde anhand von 44 isolierten Gliedmaßen, welche in einer mechanischen Presse belastet wurden, nachgestellt. Die bis zum Erreichen einer maximalen Hyperextension im Fesselgelenk notwendige Kraft wurde dabei registriert. Die Dokumentation der Vorgänge am Griffelbein erfolgte radiographisch.



Abb. 3: Belastung von Mittelfuß und Zehe während der Landung nach einem Sprung
(Foto: Prof. Dr. B.W. Hertsch)

3.2.3.1. Technik der Direktvergrößerungsradiographie

Die Feinfocus-Röntgentechnik wurde bereits im Rahmen anderer medizinischer Dissertationen von BECKER (1985), DAMMER (1986), MADEICZYK (1991) und AUF DEM HÖVEL (1993) verwendet. Dabei wurden Mikrofokusanlagen aus der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingesetzt. Eine Nutzung dieser Technologie in der klinischen Medizin galt damals noch als Ausnahme. Vom selben Hersteller (Firma Feinfocus GmbH, D-30827 Garbsen) wurde ein für die klinische Anwendung in der Humanmedizin ausgelegtes Mikrofokus-röntgensystem (MICROFOX G10) entwickelt. GEBURECK et al. (1991) geben eine ausführliche Beschreibung des technischen Aufbaus und der Anwendung in der Humanmedizin. Für die Orthopädie stellen sie deutliche diagnostische Gewinne bei degenerativen und entzündlichen Gelenkerkrankungen, Streßfrakturen, Tumoren, Infektionen oder Nekrosen von Knochen fest. Seit 1995 befindet sich an der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin ein solches Röntgensystem zur Direktvergrößerungsradiographie in der experimentellen und klinischen

Anwendung. Einige für die vorliegende Arbeit relevante Angaben sollen im folgenden aufgeführt werden. Für detaillierte Grundlagen sei auf die Arbeit von GEBURECK et al. (1991) verwiesen.



Abb. 4: Feinfocus-Röntgenanlage MICROFOX G10
(Firma Feinfocus GmbH, D-30827 Garbsen)

Bei der Direktvergrößerungsradiographie befindet sich das abzubildende Objekt nicht in der Filmebene wie bei der konventionellen Radiographie, sondern zwischen der Röntgenröhre und dem bildempfangenden System. Dies kann ein Bildverstärker, eine Speicherfolie für digitale Radiographie oder eine konventionelle Röntgenkassette mit Film sein. Man muß daher den Fokus-Film-Abstand und den Fokus-Objekt-Abstand getrennt betrachten. Aus ihrem Quotient ergibt sich der Vergrößerungsfaktor bei der Aufnahme. Je näher das Objekt zum Brennfleck der Röhre ist, desto stärker wird es durch die Divergenz der Strahlen vor deren Auftreffen am Film vergrößert. Konventionelle Röntgenanlagen mit einem rotierenden Anodenteller haben einen flächenförmigen Brennfleck von etwa $0,8 \times 0,8$ mm. Hiermit kann eine Detailauflösung bis zu maximal $0,4 \times 0,4$ mm erreicht werden. Wird ein abzubildendes Objekt zum Zwecke der Vergrößerung aus der Filmebene in Richtung Röntgenröhre verlagert, tritt wegen der großen Abmessungen des Brennflecks automatisch zunehmende geometrische Randunschärfe auf. Das verwendete Feinfocus-Röntgensystem hat eine Stehanode mit einem wählbaren Brennfleckdurchmesser von 0,02 bis 0,13 mm bzw. 20 bis 130 μm , welcher als Mikrofokus bezeichnet wird. Auf diese Weise wird die geometrische Unschärfe minimiert und die Anfertigung von direktvergrößerten Röntgenaufnahmen mit ausgezeichneter Detailgenauigkeit möglich. Je nach Objektdicke können 8- bis 9-fache Vergrößerungen erreicht werden. Dabei können im Sektorsternetest noch etwa 20 Linienpaare pro mm getrennt wahrgenommen werden. Da die vom Objekt austretende Streustrahlung, welche bei der konventionellen Radiographie die Bildqualität stark mindern kann, die Filmebene gar nicht erreicht, kann einerseits auf ein Streustrahlenraster verzichtet und andererseits mit hohen kV- und dafür niedrigen mAs-Werten gearbeitet werden. Letzteres ist besonders wichtig, da die Stehanoden mit ihrem kleineren Brennfleck weniger Röhrenstrom und damit Wärme aushalten können. Die maximalen Leistungsdaten der Röhre betragen 160 kV und 3 mA bei einem Fokus von 130 μm . Bei kleinerem Brennfleck reduziert der Generator den maximalen Röhrenstrom automatisch. Die sich aus diesen Angaben ergebenden langen Belichtungszeiten können aber für die klinische Anwendung durch die Verwendung von höchstverstärkenden Film-Folien-Systemen mit Empfindlichkeiten von über 1000 in praktikable Bereiche gebracht werden. Die aus der konventionellen Radiologie bekannten Nachteile dieser Film-Folien-Kombinationen gegenüber hochauflösenden, aber dosiszehrenden Systemen kommen nicht zum Tragen, da die Systemunschärfe bei weitem durch die hohe Auflösungsqualität der Feinfocus-Technik überkompensiert wird.

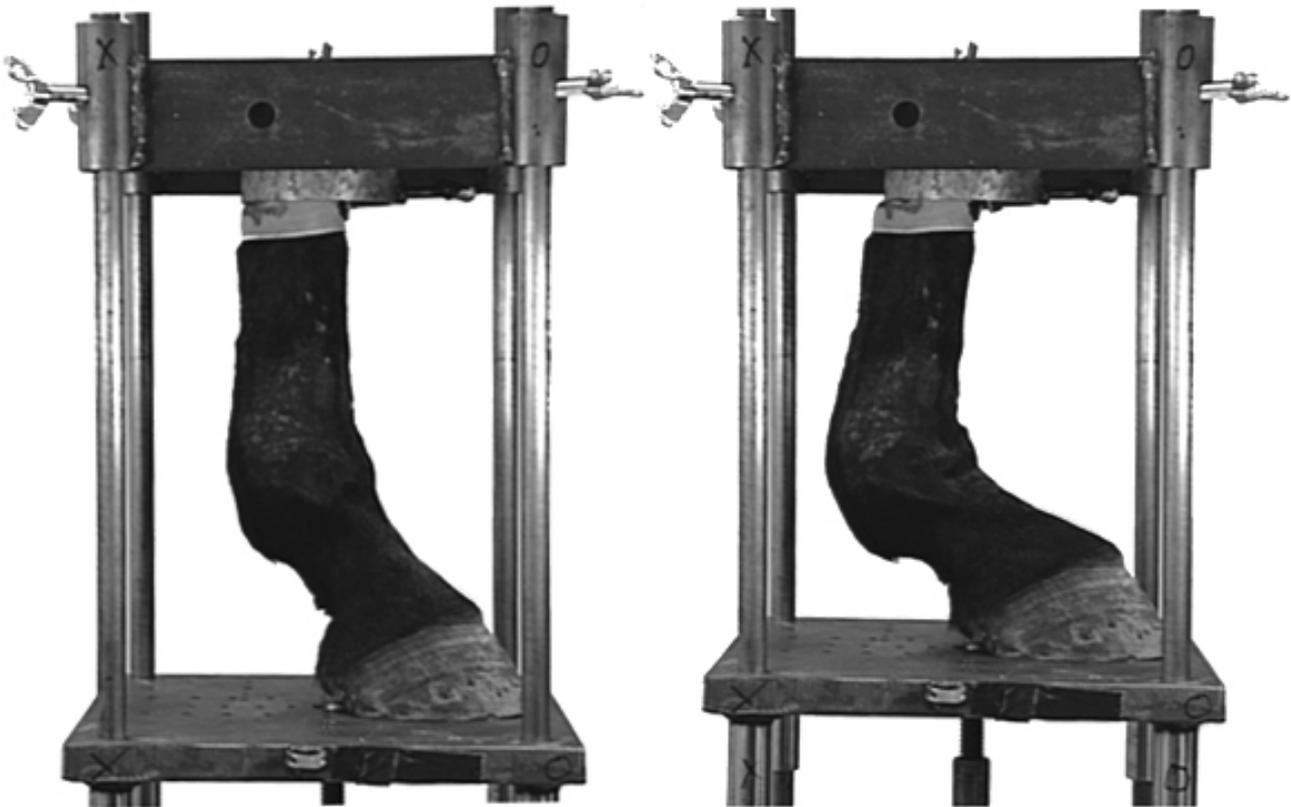


Abb. 5: Simulation der Stützbeinphase in der mechanischen Belastungspressse

3.2.3.2. Mechanische Belastungspressse

Zur Simulation der Stützbeinphase an den isolierten Gliedmaßen wurde eine Belastungspressse angefertigt, welche dem von SCHÖTT (1989) entwickelten Gerät nachempfunden wurde. In den Ecken der Bodenplatte sind vier Stahlstangen angebracht. Auf diesen gleiten widerstandslos die Edelstahlhülsen der flexiblen Mittelplatte. Die Oberplatte kann in variabler Höhe der Stangen mit Flügelschrauben befestigt werden. Die Gliedmaße wird zwischen der Mittelplatte und der Oberplatte eingespannt. An der Oberplatte befindet sich hierfür ein Rohr, in welchem das abgetrennte Wurzelgelenk verschwindet und festgeschraubt wird. Ein Weggleiten nach vorne auf der Mittelplatte verhindert eine in variabler Position vor der Hufspitze anzubringende Stahlleiste. Zwischen der Bodenplatte und der Mittelplatte befindet sich ein hydraulischer Wagenheber mit angegliederter Kraftmeßdose. Durch ihn wird die Mittelplatte in Richtung Oberplatte bewegt und die Gliedmaße bis zur maximalen Hyperextension im Fesselgelenk zusammengedrückt.

3.2.3.3. Künstliche Frakturherzeugung

Das klinische Bild einer distalen Griffelbeinfraktur wurde imitiert, indem im Bereich des frei beweglichen Griffelbeinschaftes eine querverlaufende, glatte Durchtrennung erzeugt wurde. Hierfür wurde eine rotierende Mikrosäge (Proxxon Minimot FBS 220/E mit Biegewelle 00/P) benutzt, deren Trennsägeblätter eine Stärke von 0,1 mm hatten. Das Ergebnis kam somit einer Abrißfraktur ohne wesentlichen Substanzverlust am Knochen gleich. Auf die Schonung der Weichteile in der Nähe des Griffelbeins wurde geachtet. Die als Zugang nötige, etwa 3 cm große Hautwunde wurde anschließend vernäht.

3.2.3.4. Meßmethoden für Kraft und Distraction

Die Erfassung der aufgewendeten Kraft erfolgte durch die an den Wagenheber gekoppelte Kraftmeßdose. Die Digitalanzeige wurde nach Belastung des Wagenhebers durch das Eigengewicht der Mittelplatte auf 0,0 kN eingestellt. Der Meßbereich reichte bis zum Maximalwert von 10,0 kN.

Um die Bewegungen der Frakturrenden messen zu können, wurden ein bleiimprägniertes Spezial-Schreibband (X-rite, radioopaque lable tape, Grand Rapids, U.S.A.) mit eingezeichneter Millimeterskala auf der Haut neben dem Griffelbein befestigt. Dadurch konnten Meßwerte erhoben werden, die demselben Vergrößerungsfaktor unterlagen wie das Griffelbein. So konnte verglichen werden, ob die auf der Skala abgelesenen Meßwerte mit den am Röntgenbild gemessenen und anschließend durch den Vergrößerungsfaktor geteilten identisch waren. Meßfehler durch uneinheitlichen Fokus-Objekt-Abstand und unterschiedliche Eigenschaften der Gliedmaßen konnten so vermieden werden.

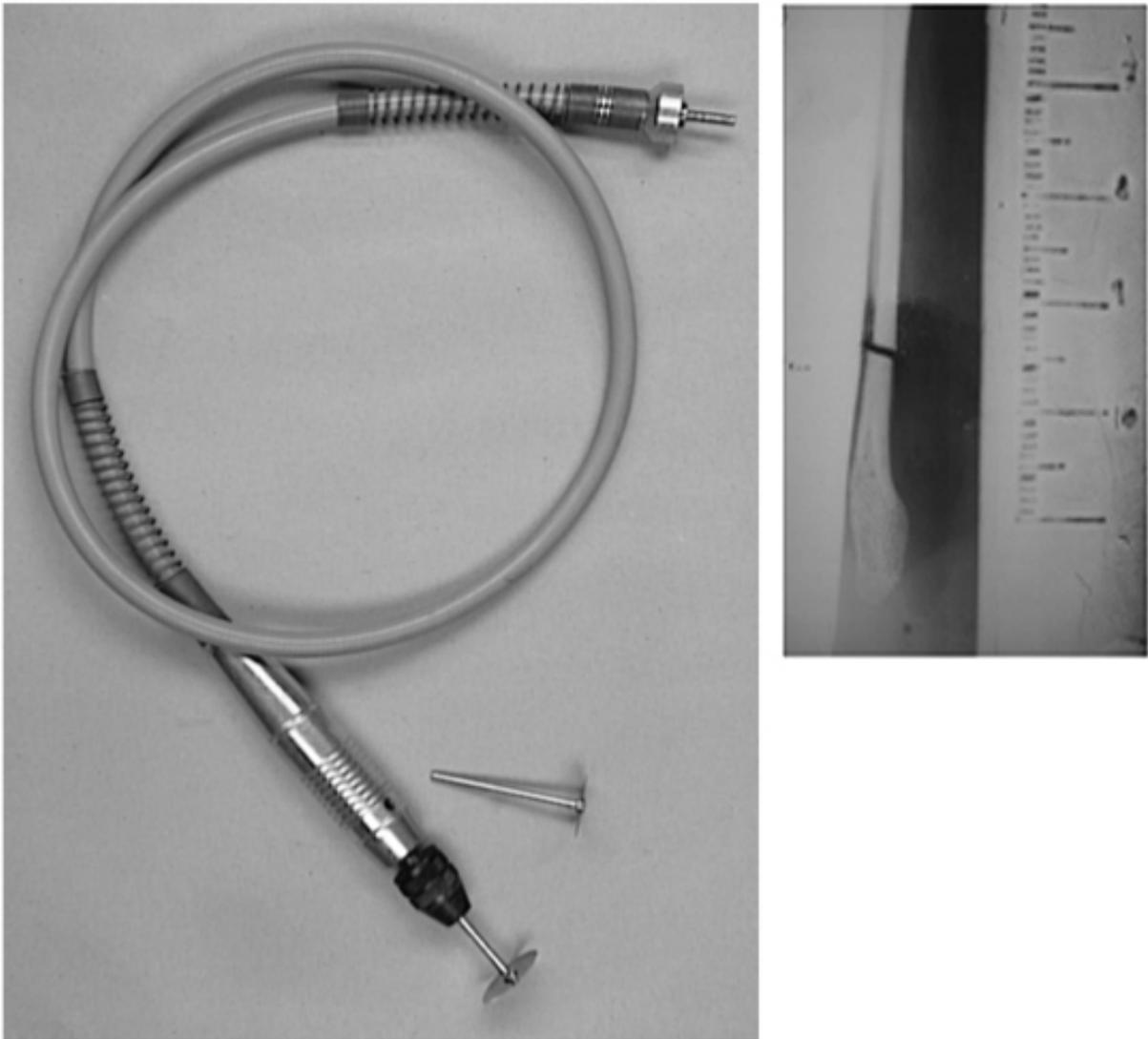


Abb. 6: Rotierende Mikrosäge / Künstliche Griffelbeinfraktur und Maßstab

3.2.3.5. Versuchsanordnung

Die Feinfocus-Röntgenanlage wurde auf ihren maximalen Fokus-Film-Abstand von 180 cm auseinandergefahren. Das C-bogenartige Aufhängesystem für die Röhre und den Kassettenshalter wurde in die Horizontale geschwenkt. Die Position der Belastungspresse mit der eingespannten Gliedmaße wurde so eingerichtet, daß der Fokus-Objekt-Abstand 45 cm zum Griffelbein betrug bei einem tangentialen Aufnahmewinkel von 55° auf der lateralen bzw. 305° auf der medialen Seite. Damit wurde eine 4-fache Objektvergrößerung erzeugt. Die Aufnahmen erfolgten mit einer Einstellung von 70 kV und 5 mAs bei einem Fokus von $130 \mu\text{m}$. Die Belichtungszeit betrug 1,7 s. Die verwendeten konventionellen Röntgenkassetten der

Größe 30 x 40 cm enthielten eine Film-Folien-Kombination mit einer Systemempfindlichkeit von 400 (3M Trimax 6 Folie / Retina XOD Film).

Die Gliedmaßen wurden in zwei Hauptgruppen eingeteilt. Die erste Gruppe für den Vorversuch enthielt 8 Gliedmaßen. An ihnen wurde vor Versuchsbeginn auf beiden Seiten die Verbindung der Griffelbeinknöpfechen zu den Faszien scharf durchtrennt. Der hierfür nötige Hautschnitt von etwa 1,5 cm wurde anschließend vernäht. Diese Gruppe diente als Kontrolle, inwieweit das in vivo zu beobachtende Phänomen der Distraction am Frakturspalt mit den am distalen Griffelbeinende ansetzenden Faszien zusammenhängt.

In der zweiten Gruppe mit 36 Gliedmaßen blieb das Griffelbeinknöpfechen unberührt. Es erfolgte eine Einteilung in drei Untergruppen. Bei der ersten blieb der Hufwinkel unverändert. Bei der zweiten Gruppe wurde eine Erhöhung der Trachten durch das Unterschieben eines Kunststoffkeils mit einer Neigung von 12° (Firma Dallmer Hufschuhe, D-21376 Putensen) erzeugt. Dies entsprach dem Bild einer im Hufgelenk gebeugten Zehenachse. Bei der dritten Gruppe wurde der Keil umgekehrt untergelegt. Die Hufspitze wurde so erhöht und ein spitzer Hufwinkel mit einer überstreckten Zehenachse imitiert.

Bei allen Gliedmaßen wurde der natürliche Hufwinkel und der Zehenstand dokumentiert. In allen Haupt- und Untergruppen wurde auf eine gleichmäßige Verteilung auf linke und rechte bzw. vordere und hintere Gliedmaßen geachtet.

3.2.3.6. Versuchsdurchführung

Anhand der Übersichtsröntgenaufnahme zur Erfassung eventueller Verknöcherungen im Spatium interosseum wurde die Gesamtlänge des Griffelbeins und der Anteil des freien distalen Abschnittes gemessen. Am Präparat wurde nun etwa 1 cm distal der röntgenologisch erfaßten Kalzifikation im Spatium interosseum der Hautschnitt angelegt und das Griffelbein durchtrennt. Nach einfachem Wundverschluß wurde die Gliedmaße in die Presse gestellt und in entlasteter Stellung geröntgt. Der dorsale Fesselgelenkwinkel lag dabei zwischen 150° und 160°. Der am künstlichen Frakturspalt gemessene Abstand der Bruchenden galt als Referenzwert für die folgenden Messungen. Drei weitere Röntgenaufnahmen folgten bei zunehmender Belastung der Gliedmaße und abnehmendem Fesselgelenkwinkel in den Bereichen 130°-140°, 115°-125° und 100°-110°. Die Varianz der Werte spiegelt die unterschiedliche Kon-

formation der Gliedmaßen und ihre Reaktion auf die angewandte Kraft von 1 (Phase 1), 4 (Phase 2), 6 (Phase 3) und 8 - 9 kN (Phase 4) wieder. Zum Abschluß der Serie wurde die Gliedmaße wieder entlastet und nochmals geröntgt. Nun wurde das Präparat aus der Presse genommen und das zweite Griffelbein durchtrennt. Der Belastungszyklus wurde in gleicher Weise wiederholt und dokumentiert.

Die erste Versuchsreihe erfolgte jeweils im Wechsel mal auf der lateralen und mal auf der medialen Seite. Dies geschah wegen der nicht vollständig auszuschließenden Überdehnung und plastischen Deformation der Sehnen durch die Dauer des gesamten Belastungszyklus. Das Röntgen und Kassettenwechseln wurde zwar so schnell wie möglich vollzogen, damit sich das Präparat nicht unnötig unter Dauerspannung befand. Dennoch muß dies als unnatürliche Versuchsbedingung erachtet werden, welche die Ergebnisse eines zweiten Belastungszyklus verfälschen kann.

Dem gleichen Belastungszyklus wurde die Gliedmaße des euthanasierten Pferdes mit vorberichtlich bekannter Griffelbeinfraktur unterzogen. Röntgenbilder wurden auf der erkrankten Seite angefertigt, um das Verhalten der Pseudarthrose beurteilen zu können.

3.2.3.7. Auswertung

Am Röntgenbildbetrachter wurden die Distraktionswerte im Bereich der Bruchenden anhand der abgebildeten mm-Skala abgelesen und zum Vergleich die direkt gemessenen Werte durch den Faktor 4 geteilt. Einflüsse durch Faktoren wie Lokalisation, Fragmentlänge, Zehenstand und Hufwinkel wurden untersucht.

3.2.4. Belastungsversuche zur Deviationstheorie unter computertomographischer Dokumentation

Als frakturauslösendes Moment wurde in verschiedenen Arbeiten immer wieder der Druck des M. interosseus medius auf das benachbarte Griffelbein genannt. Dies sei besonders ausgeprägt bei Vorliegen einer entzündlichen Verdickung des M. interosseus medius. Aus diesem Grunde sollte untersucht werden, ob es zu einem direkten Kontakt der beiden Strukturen während des Bewegungsablaufes kommt. Hierfür wurden 8 Gliedmaßen benutzt, rechte und linke, sowie Vorder- und Hintergliedmaßen waren gleichmäßig vertreten. Durch die palpa-

torische und röntgenologische Voruntersuchung wurde sichergestellt, daß das Griffelbein nicht unbeweglich mit seiner Umgebung verwachsen war.

3.2.4.1. Versuchsanordnung

Die Gliedmaßen wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Bei der Hälfte der Präparate wurde zur Simulation einer Tendopathie eine künstliche Verdickung beider Schenkel des M. interosseus medius erzeugt. Dazu wurde mit einem Hautschnitt von der Gleichbeinspitze etwa 5 cm proximal der M. interosseus medius freigelegt. Mit einer Gerlach-Nadel wurde nun ein weicher Silikonschlauch in die Mitte des Sehnenschenkels implantiert. Nach Verschluß des distalen Endes mit einer Arterienklemme wurde proximal flüssiges Technovit (Firma Kulzer, Wehrheim/Taunus) unter Druck injiziert. Nach Aushärtung des Kunststoffes wurden die Enden des Schlauches gekürzt, das Peritendineum übernäht und die Hautwunde verschlossen.

Durch lockeres Einspannen in der Belastungspresse mit physiologischem Standwinkel der Zehe und leichtes Belasten in maximaler Hyperflexion des Fesselgelenkes wurden die Ruhestellung im Stand und die Hangbeinphase nachgeahmt. Zur Simulation der Stützbeinphase wurde die Gliedmaße durch Belastung in maximale Hyperextension verbracht. In jeder dieser Positionen wurde die Belastungspresse in einen Gefrierraum gestellt. Die völlig steif in dieser Stellung fixierten Präparate konnten dann aus der Presse genommen und bis zur computertomographischen Untersuchung in diesem Zustand gelagert werden.

3.2.4.2. Versuchsdurchführung

Zur Untersuchung wurde ein mobiles Computertomographiesystem (Tomoscan M, Philips Medizin Systeme, D-22335 Hamburg) genutzt, welches im Klinikum Charité der Humboldt-Universität zu Berlin aufgestellt war. Zur nachfolgenden Ausbelichtung der Abbildungsreihen war ein Trockenbildlaserdrucker (3M Imation, Medizinische Bildaufzeichnungssysteme, D-41453 Neuss) angeschlossen.

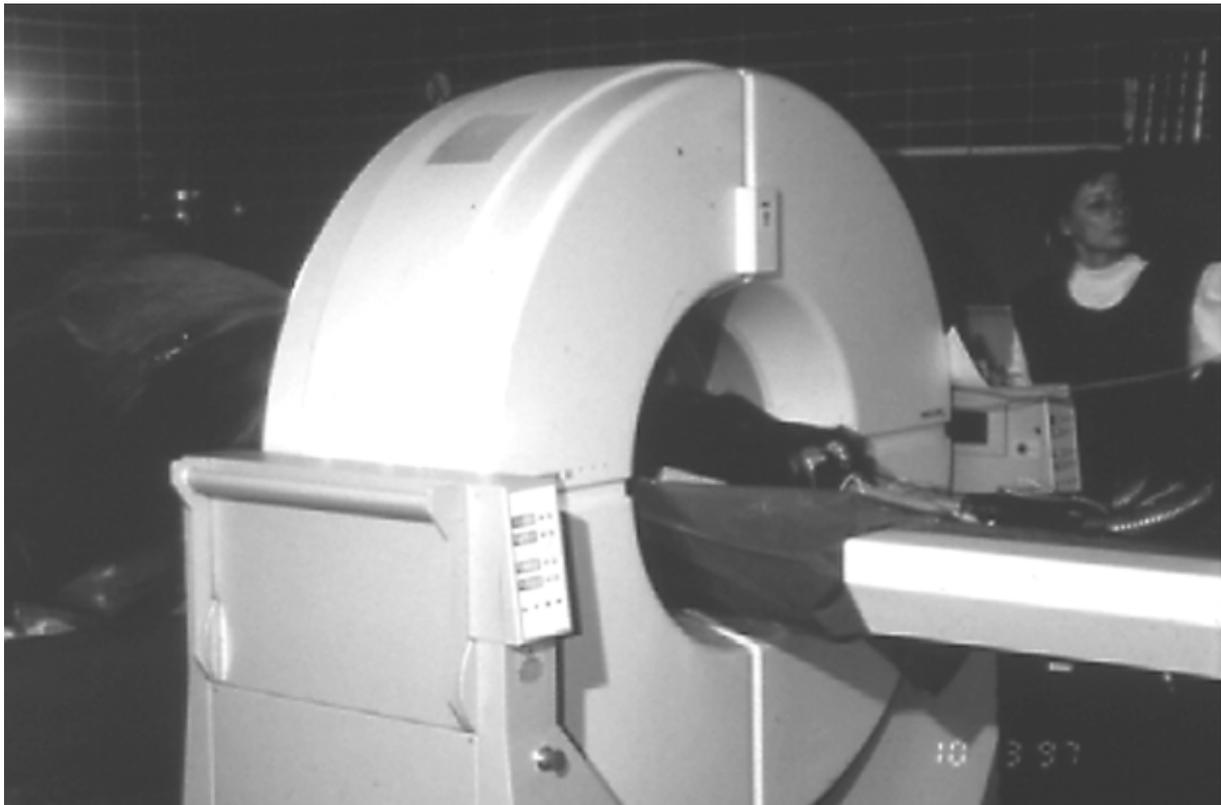


Abb. 7: Tomoscan M bei der Anwendung in der Klinik für Pferde

Für die Planung der Schnittserien wurde zunächst ein Übersichtstomogramm angefertigt. Die Gliedmaße lag dabei in medio-lateraler Balance auf dem Untersuchungstisch, so daß der Zentralstrahl der Gantry im Winkel von 90° auf das Röhrbein traf. Zur besseren Darstellung der Sehnen wurden die Parameter eines Weichteilfensters gewählt (120 kV/20 mA/2 s), dadurch ließen sich die Konturen der Griffelbeine und des M. interosseus medius gut ausmachen. Mit dem ersten Schnittbild wurde distal des Knöpfchens des längeren Griffelbeins begonnen. Im Abstand von jeweils 3 mm wurden so viele Abbildungen erstellt, daß von jedem Griffelbein die unteren 3 cm erfaßt waren.

3.2.4.3. Auswertung

Um die Reaktion der freien Griffelbeinenden auf die verschiedenen Phasen der Belastung zu erfassen, wurde an den CT-Schnittbildern die Strecke zwischen beiden Griffelbeinknöpfchen gemessen. Da diese im Querschnitt nicht genau kreisrund waren, mußte deren Mittelpunkt zunächst genau bestimmt werden. Hierzu wurde die querverlaufende Mittellinie durch das Röhrbein an dessen weitester Stelle gezeichnet. Parallel dazu konnten die Tangenten an der Vorder- und Hinterseite des Knöpfchens sowie senkrecht dazu die seitlichen Tangenten gelegt

werden. Die Diagonalen dieses Viereckes ergab auf stets gleiche Weise den Mittelpunkt des Knöpfchens. Mit Hilfe des im CT-Schnittbild abgebildeten Maßstabs konnten die gemessenen Werte dann in reale mm-Werte umgerechnet werden. Für die Auswertung wurden die ersten drei Meßwerte ab dem Bild genommen, in dem erstmals beide Knöpfchen abgebildet waren.

3.2.5. Überlastungsversuche bis zum Niederbrechen

In der letzten Versuchsreihe sollte die Beobachtung von BUKOWIECKI et al. (1987) überprüft werden, daß eine einzelne Überlastung des Fesseltrageapparates in Form eines Niederbrechens zur distalen Griffelbeinfraktur führen kann. Hierfür wurden 16 Gliedmaßen verwendet, die in frischem Zustand untersucht werden konnten und an denen adspektorisch und röntgenologisch keine orthopädischen Probleme erkennbar waren. Eine längere Lagerung oder Einfrieren konnte die Weichteile somit nicht beeinflussen. Es wurde erneut darauf geachtet, daß die Lokalisation der Gliedmaßen gleichmäßig verteilt war und das Spatium interosseum keine ausgedehnten Verknöcherungen aufwies. Bei der Hälfte der Präparate wurde zunächst das Griffelbeinknöpfchen scharf von seiner Faszienv Verbindung befreit und der Hautschnitt danach vernäht.

Alle Gliedmaßen wurden in der mechanischen Presse maximal bis zum kompletten Niederbrechen belastet. Anschließend wurden mit der Feinfocus-Röntgenanlage tangentielle Übersichtsaufnahmen der Griffelbeine angefertigt.

3.2.6. Verfahren zur Ergebnisauswertung

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden Diagramme und Tabellen in den Programmen SPSS 8.0 für Windows und EXCEL 5.0 für Windows erstellt.

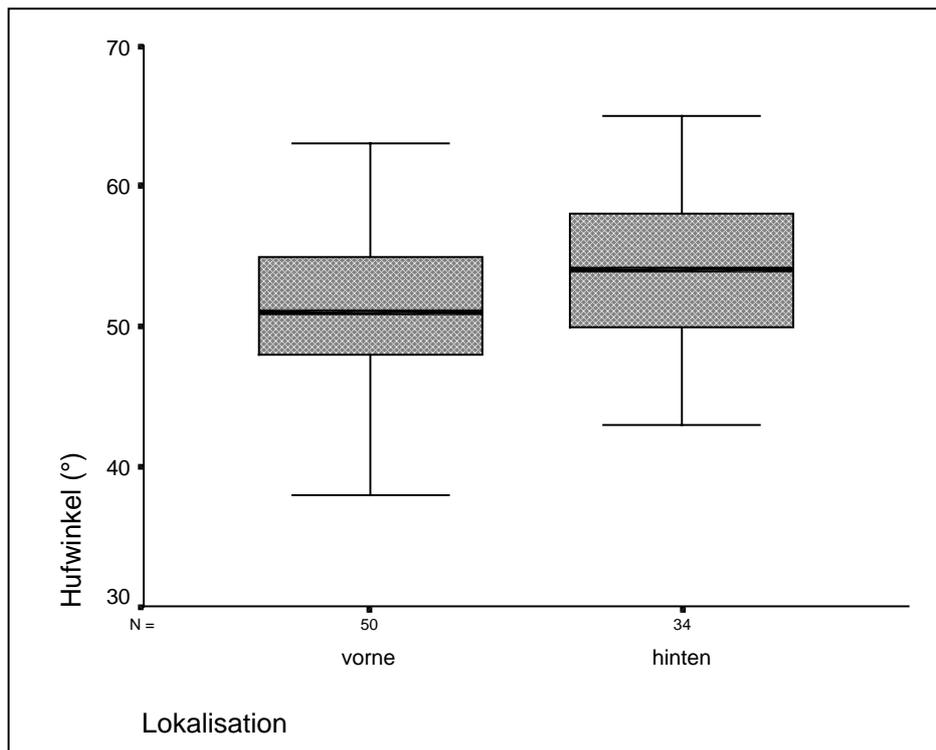
In den Boxplots werden der Median als Querbalken und die Werte, die innerhalb des ersten bis dritten Quartils liegen, durch die Begrenzung der Box angegeben. Innerhalb dieser Perzentile liegen 50 % der gemessenen Werte. Darüber hinaus werden diejenigen Werte aufgezeichnet, die innerhalb der 1,5-fachen Breite eines Boxplots liegen (Whiskers). Messungen, die auch nicht innerhalb dieser Grenzen liegen werden im Bereich zwischen der 1,5- und 3-fachen Breite der Boxplots als Ausreißer in Form eines Kreises dargestellt. Als Stern sind Extremwerte gekennzeichnet, die außerhalb dieses Bereiches liegen.

Zur Untersuchung überzufälliger Zusammenhänge wurde der Mann-Whitney-U-Test mit dem Ziel einer explorativen Statistik zur Beschreibung der vorliegenden Daten benutzt. Die angegebenen p-Werte sollen Unterschiede innerhalb des untersuchten Materials aufzeigen und keine für die Gesamtpopulation aller Pferde gültigen Aussagen darstellen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß bei der Auswertung der Röntgenbilder und Patientenakten in der Regel die Anzahl der Griffelbeinfrakturen die Basis der Untersuchung darstellt. Da im untersuchten Material Pferde vorkamen, die mehrere Frakturen unterschiedlicher Griffelbeine zu verschiedenen Zeiten hatten, können sich die absoluten Fallzahlen je nach untersuchter Fragestellung unterscheiden.

4 E R G E B N I S S E

4.1. Funktionelle Anatomie

Die 84 Präparate waren zu 60 % Vorder- und zu 40 % Hintergliedmaßen, vorne überwog die linke Seite, hinten war die Verteilung ausgeglichen. Der dorsale Hufwinkel betrug vorne im Mittel $51,5^\circ$ (Stabw. $6,3^\circ$) und hinten $54,2^\circ$ (Stabw. $5,1^\circ$) (Diagr. 1). Je zur Hälfte lag eine regelmäßige Gliedmaßenkonformation vor. Die übrigen Gliedmaßen waren vorne zumeist zeheneng, hinten gleichmäßig auf zehenenge und zehenweite Stellung verteilt (Tab. 1). In etwa zwei Drittel der Fälle ragte am Vorderbein das mediale und am Hinterbein das laterale Griffelbein weiter distal (Tab. 2).



Diagr. 1: Hufwinkel der Gliedmaßen (n = 84)

			Gliedermaßenstellung			Gesamt
			regelmäßig	zeheneng	zehenweit	
Lokalisation	vorne	Anzahl	24	22	4	50
		% von Lokalisation	48.0%	44.0%	8.0%	100.0%
		% der Gesamtzahl	28.6%	26.2%	4.8%	59.5%
	hinten	Anzahl	18	8	8	34
		% von Lokalisation	52.9%	23.5%	23.5%	100.0%
		% der Gesamtzahl	21.4%	9.5%	9.5%	40.5%
Gesamt	Anzahl	42	30	12	84	
	% der Gesamtzahl	50.0%	35.7%	14.3%	100.0%	

Tab. 1: Stellung der Gliedermaßen (n = 84)

			Griffelbein vergleichend			Gesamt
			med=lat	med>lat	med<lat	
Lokalisation	vorne	Anzahl	9	31	10	50
		% von Lokalisation	18.0%	62.0%	20.0%	100.0%
	hinten	Anzahl	6	8	20	34
		% von Lokalisation	17.6%	23.5%	58.8%	100.0%
	Gesamt	Anzahl	15	39	30	84
		% von Lokalisation	17.9%	46.4%	35.7%	100.0%

Tab. 2: Länge der Griffelbeine (n = 84)

Bei der Präparation konnte an allen Gliedermaßen der *M. interosseus medialis* bzw. *lateralis* dargestellt werden. Nach Abtragen der Haut und der oberflächlichen Schicht der Faszie kann man ihn am Hinterrand des Griffelbeinschaftes erahnen. Zum Freilegen muss jedoch noch die tiefe Schicht der Faszie mit einem vertikalen Schnitt eröffnet werden. Nun kann die Sehne dieses kleinen Muskels gefasst und stumpf aus dem umliegenden Bindegewebe gelöst werden. Der Ursprung des *M. interosseus medialis* bzw. *lateralis* liegt am proximalen Ende der Röhre axial des Griffelbeinköpfchens. Seine Ursprungssehne ist nur 1 - 2 mm lang und geht danach in den nur 2 - 3 mm starken Muskelbauch über. Dieser hat eine Länge von etwa 2 cm und setzt sich anschließend in seine rundliche Endsehne fort, welche einen Durchmesser von 1 - 1,5 mm aufweist. Am Hinterrand des Griffelbeinschaftes ist diese Sehne distal zu verfolgen. Sie zieht am Knöpfchen des Griffelbeins vorbei und verliert sich unterschiedlich weit von diesem entfernt in der Tiefe der Faszie. Auf Höhe des Griffelbeinköpfchens lassen sich regelmäßig zarte Bindegewebsfasern ausmachen, welche die Endsehne mit dem Knöpfchen verbinden. In einem Drittel der Fälle konnte an dieser Stelle eine etwa 3 x 5 mm messende, unregelmäßig

rundliche Weichteilstruktur zwischen Sehne und Knochen gefunden werden. Diese hatte das Aussehen eines Fettpolsters, häufig entleerte sich jedoch seröse Flüssigkeit beim Anschnitt.

Die Metakarpal- bzw. Metatarsalnerven lagen weiter axial und näher am Röhrlbein als die Mm. interossei medialis bzw. lateralis. Beide Strukturen waren sowohl adspektorisch als auch aufgrund ihres Verlaufes eindeutig voneinander zu unterscheiden.

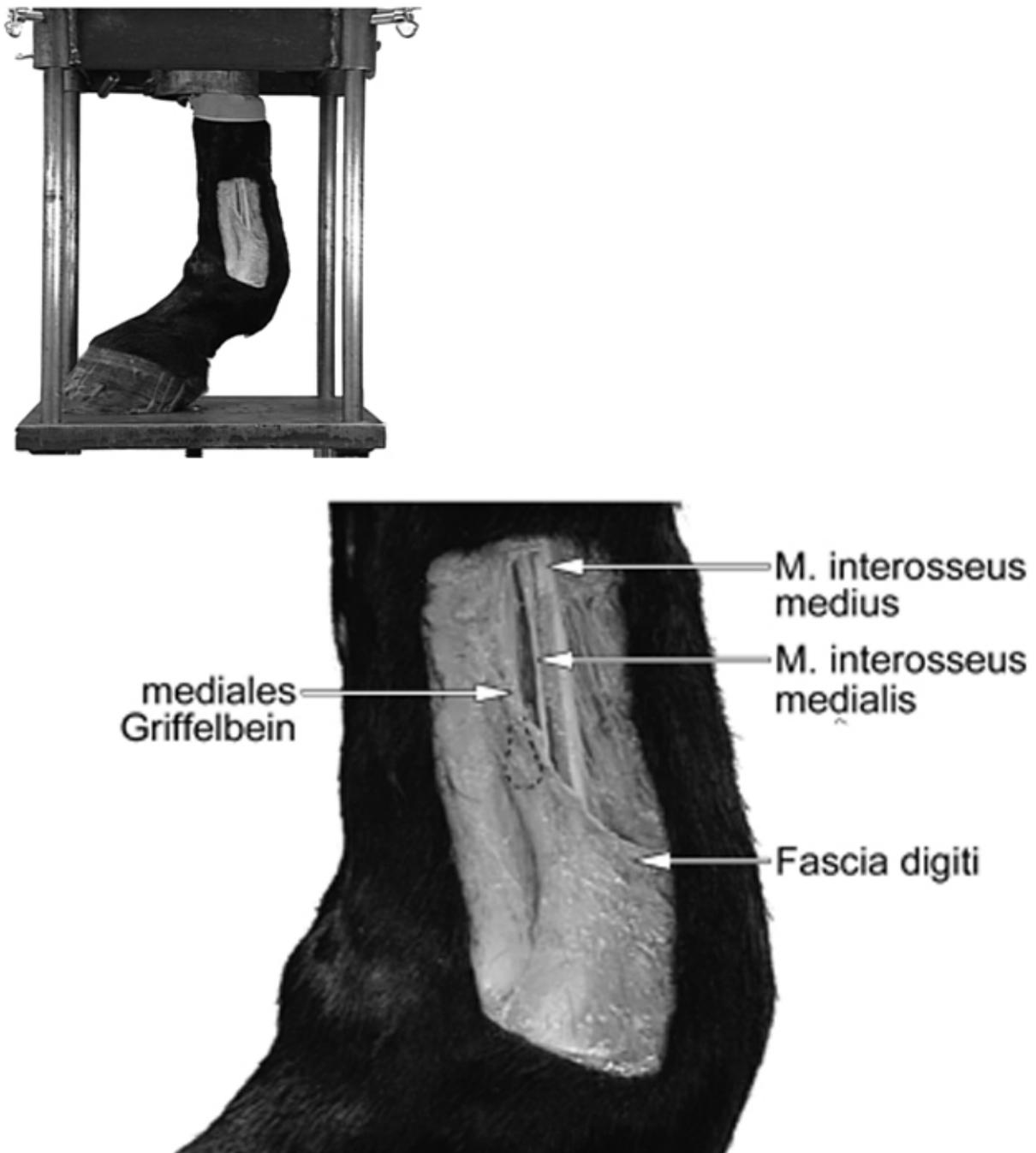


Abb. 8: Präparation in der Belastungspresse unter mäßiger Last (Medialansicht)

Nach Entfernung der oberflächlichen Schicht der Gliedmaßenfaszie bedeckt als nächstes deren tiefe Schicht den Mittelfuß und sein Sehnenpaket. Nach Umhüllung der Beugesehnen und der ihnen anliegenden Mm. lumbricales zieht die Faszie zwischen der tiefen Beugesehne und dem M. interosseus medius in die Tiefe. Anschließend kommt sie von dort wieder hervor und überspannt nun den M. interosseus medius, die Mm. interossei medialis bzw. lateralis und die Griffelbeine, bevor sie dem Röhreinperiost aufliegt. Auf der Vorderseite bedeckt sie schließlich die Strecksehne. Auf Höhe des distalen Griffelbeinendes erscheint das Knöpfchen fest in der tiefen Schicht der Faszie eingebettet. Vom Griffelbeinknöpfchen aus zieht die Faszie in fächerförmiger Anordnung distal und palmar bzw. plantar. Auf diese Weise bedeckt sie die Seitenfläche des Fesselgelenkes, des M. interosseus medius und der Gleichbeine sowie das Fesselringband. An der Fessel umschließt sie die distalen Gleichbeinbänder, die Beugesehnen, die vierzipfelige Fesselplatte, den Verbindungsschenkel des M. interosseus medius zur Strecksehne, die obere dorsale Fesselbinde und die Strecksehne.

Bei Erhöhung der Belastung der Gliedmaße wird der Verlauf der mit dem Griffelbein verbundenen Anteile der tiefen Faszienschicht noch deutlicher. Ihre Fasern sind dann straff gespannt und erkennbar im Griffelbeinknöpfchen verankert. Durch die Verbindung der lateral liegenden Fasziendfasern mit denen der Medialseite im Bereich der Gleichbeine und der Fessel entsteht das Bild einer tragegürtähnlichen Aufhängekonstruktion für den Fesselkopf. Eine direkte Beziehung der Faszienzüge zum Sporn konnte nicht gesehen werden. Die abaxiale Kontur der Gleichbeine lässt sich unter den Fasziendfasern erahnen und bildet eine deutliche Rinne, in der die Leitungsbahnen zwischen der tiefen und oberflächlichen Schicht der Faszie über die Fessel hinwegziehen.

Wenn man die tiefe Faszienschicht an ihrer Anhaftung am Griffelbeinknöpfchen abtrennt und distal wegklappt, kann der Endabschnitt des M. interosseus medialis bzw. lateralis genau untersucht werden. Die Fasern seiner Endsehne verschmelzen mit denen der tiefen Schicht der Faszie an deren Innenseite. Eine direkte Beziehung zur oberen dorsalen Fesselbinde, welche als nächste Struktur in der Tiefe folgt, besteht nicht. Im Bereich des Griffelbeinknöpfchens tritt nach Entfernen der Faszie das distale Ende des Lig. metacarpeum bzw. metatarsium interosseum hervor. Bei einigen Gliedmaßen zogen seine derben Fasern noch bis zu 3 - 5 cm weit distal, um dort an der hinteren Röhreinkontur zu inserieren.

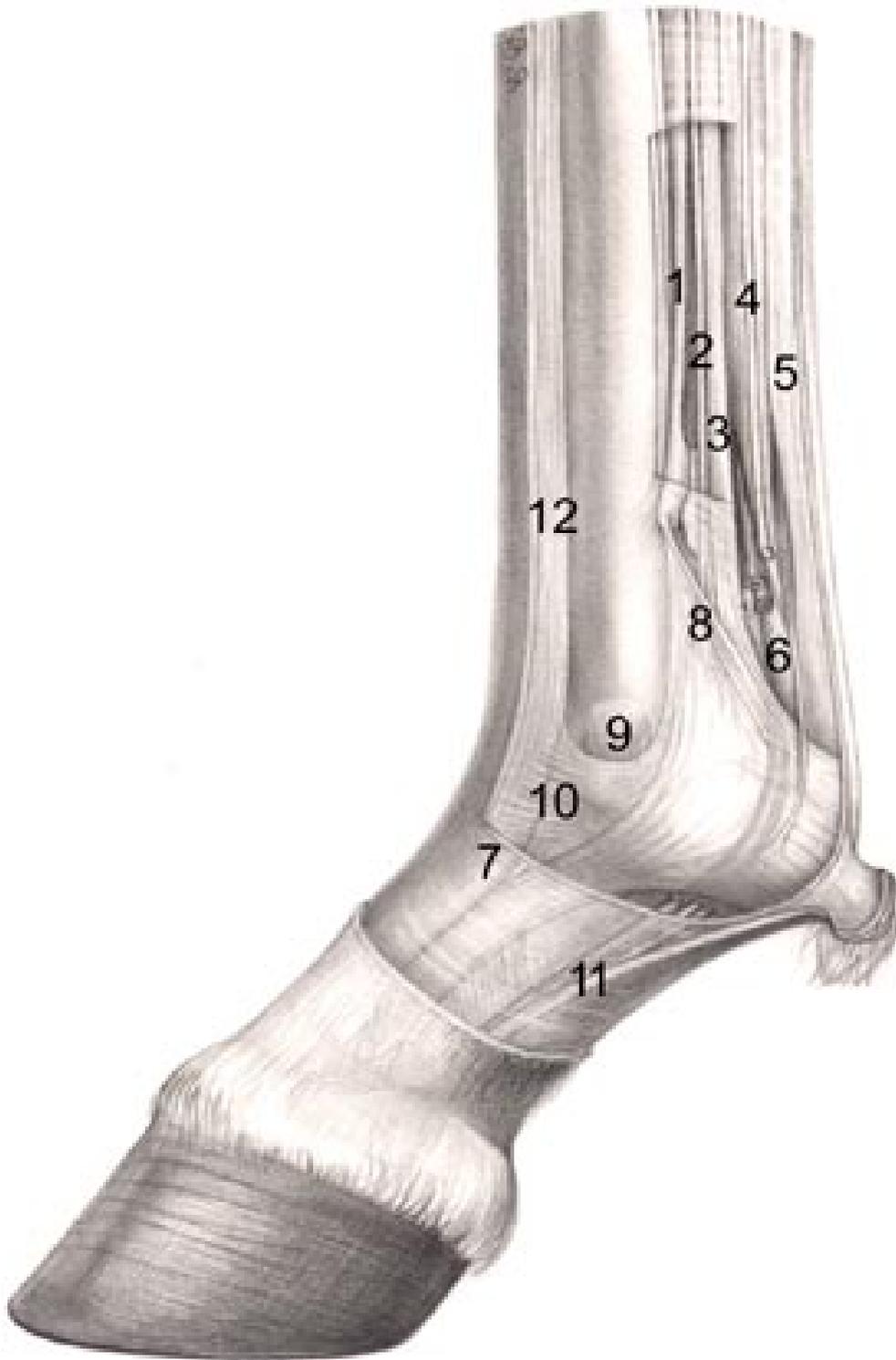


Abb. 9 a: Graphische Darstellung der Medialansicht der Zehe in Standposition

(Schnittkanten: 1. Haut, 2. oberflächliche und 3. tiefe Schicht der Zehenfaszie)

1. mediales Griffelbein; 2. M. interosseus medialis; 3. M. interosseus medius; 4. tiefe Beugesehne; 5. oberflächliche Beugesehne; 6. M. lumbricalis; 7. oberflächliche Schicht der Fascia digiti; 8. tiefe Schicht der Fascia digiti; 9. mediales Kollateralband des Fesselgelenkes; 10. obere dorsale Fesselbinde; 11. Spornsehne; 12. Strecksehne

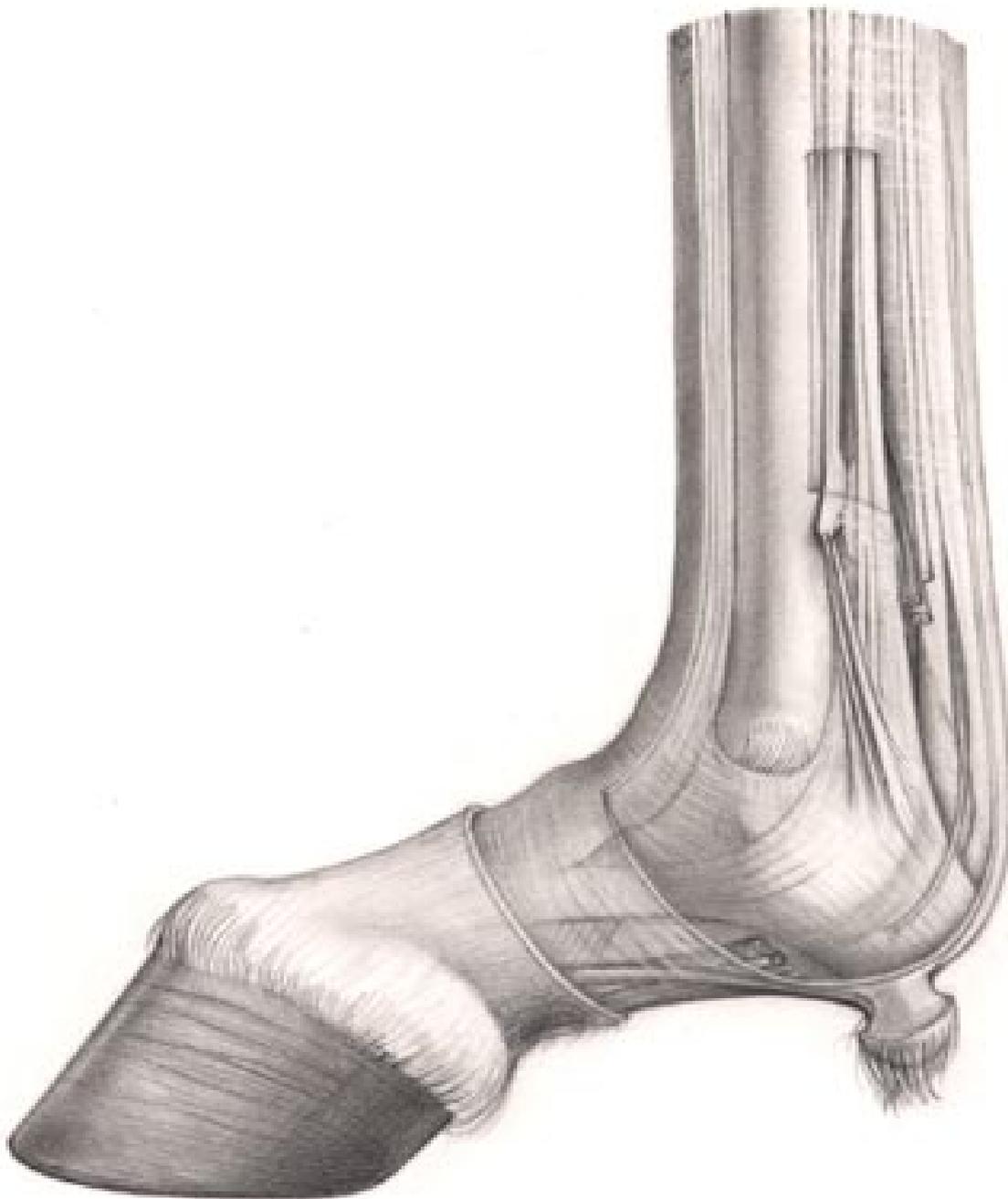


Abb. 9 b: Graphische Darstellung der Medialansicht der Zehe in Hyperextension

Die Stärke der ausgehend vom Griffelbeinknöpfchen distal ziehenden tiefen Schicht der Fascia digiti war nicht stets gleich, zumeist erschien sie etwa so kräftig wie zwei Blatt Schreibpapier, seltener lag eine pergamentpapierähnliche hauchdünne Ausprägung vor. Außer an den vorderen lateralen Griffelbeinen wurden auch eine Dickenzunahme bis zur schwartigen

Bindegewebsplatte beobachtet (Tab. 3 u. 4). Diese Form war besonders bei Präparaten von Kaltblutpferden anzutreffen. Wenn man am einzelnen Präparat die Ausprägung der tiefen Schicht der Fascia digiti beurteilt, fällt auf, dass an den Vordergliedmaßen häufiger die mediale und an den Hintergliedmaßen häufiger die laterale Seite kräftiger war (Tab. 5). Ein regelmäßig zu beobachtender Einfluss des Hufwinkels (Diagr. 2 - 5) oder des Zehenstandes (Tab. 6 - 9) auf die Ausprägung der Fascia digiti konnte bei den untersuchten Präparaten nicht dargestellt werden.

			Faszie lateral			Gesamt
			hauchdünn	kräftig	schwartig	
Lokalisation	vorne	Anzahl	20	30		50
		% von Lokalisation	40.0%	60.0%		100.0%
	hinten	Anzahl	6	22	6	34
		% von Lokalisation	17.6%	64.7%	17.6%	100.0%
Gesamt		Anzahl	26	52	6	84
		% von Lokalisation	31.0%	61.9%	7.1%	100.0%

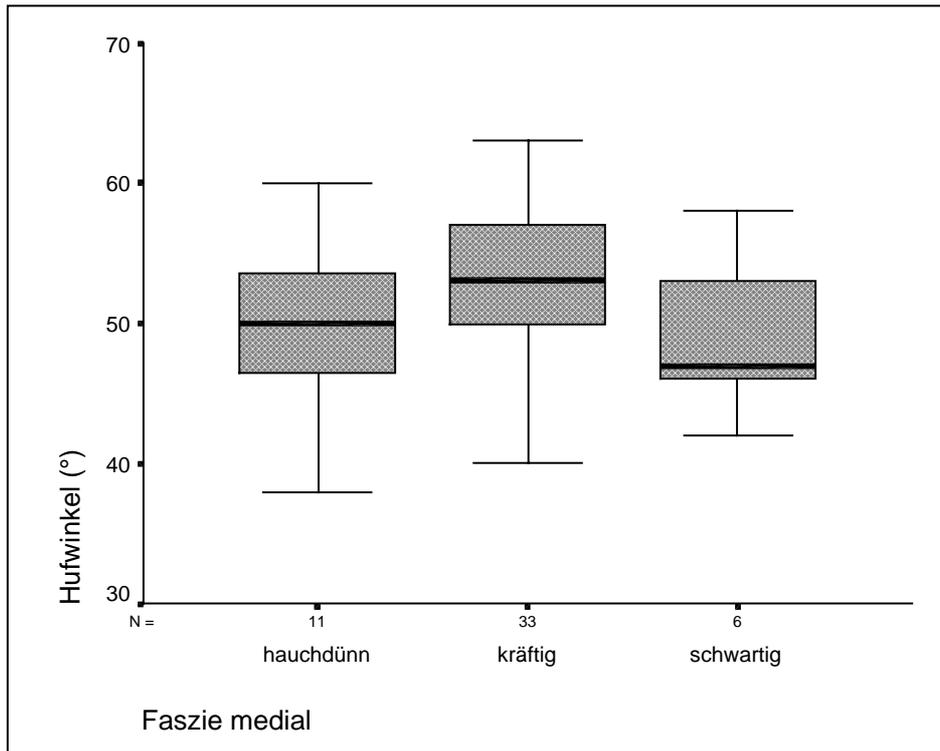
Tab. 3: Ausprägung der Fascia digiti lateral (n = 84)

			Faszie medial			Gesamt
			hauchdünn	kräftig	schwartig	
Lokalisation	vorne	Anzahl	11	33	6	50
		% von Lokalisation	22.0%	66.0%	12.0%	100.0%
	hinten	Anzahl	8	19	7	34
		% von Lokalisation	23.5%	55.9%	20.6%	100.0%
Gesamt		Anzahl	19	52	13	84
		% von Lokalisation	22.6%	61.9%	15.5%	100.0%

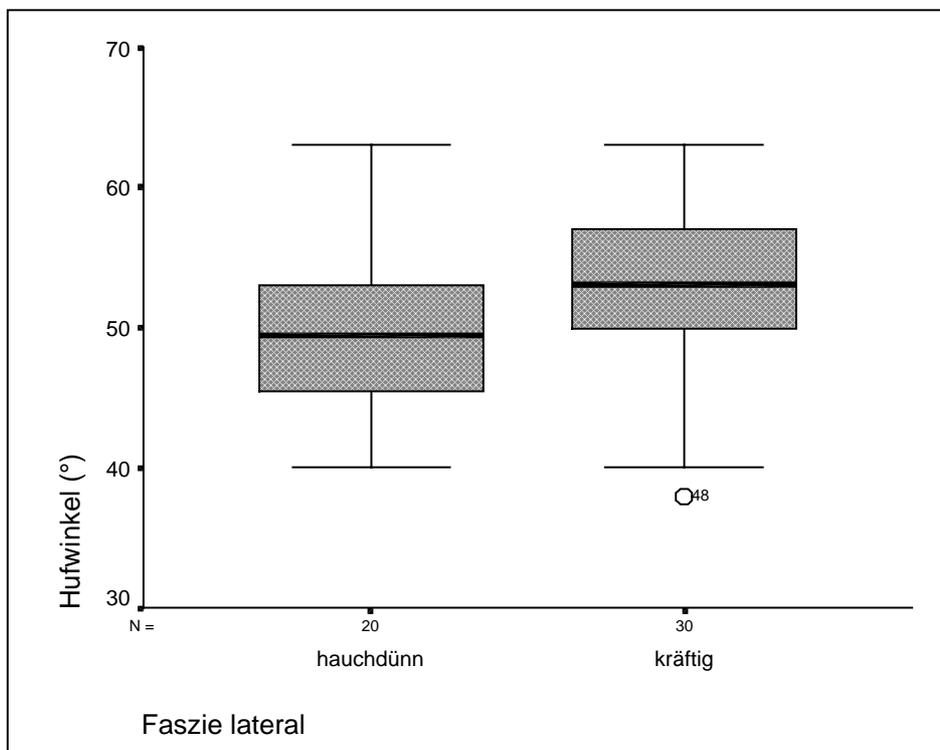
Tab. 4: Ausprägung der Fascia digiti medial (n = 84)

			Faszie vergleichend			Gesamt
			med=lat	med>lat	med<lat	
Lokalisation	vorne	Anzahl	16	22	12	50
		% von Lokalisation	32.0%	44.0%	24.0%	100.0%
	hinten	Anzahl	7	13	14	34
		% von Lokalisation	20.6%	38.2%	41.2%	100.0%
Gesamt		Anzahl	23	35	26	84
		% von Lokalisation	27.4%	41.7%	31.0%	100.0%

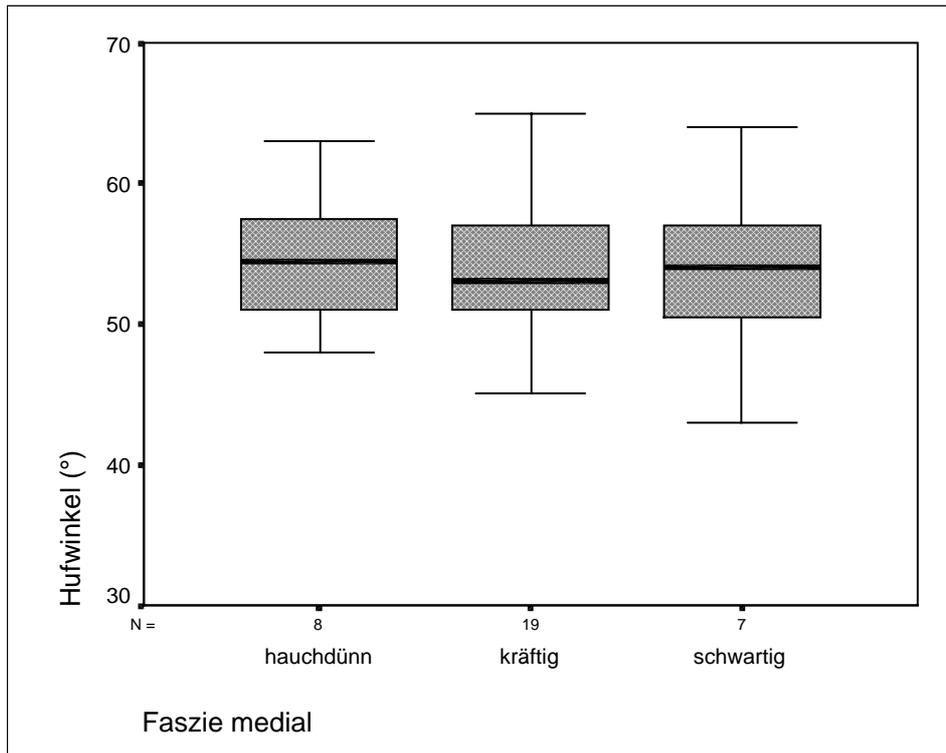
Tab. 5: Ausprägung der Fascia digiti vergleichend (n = 84)



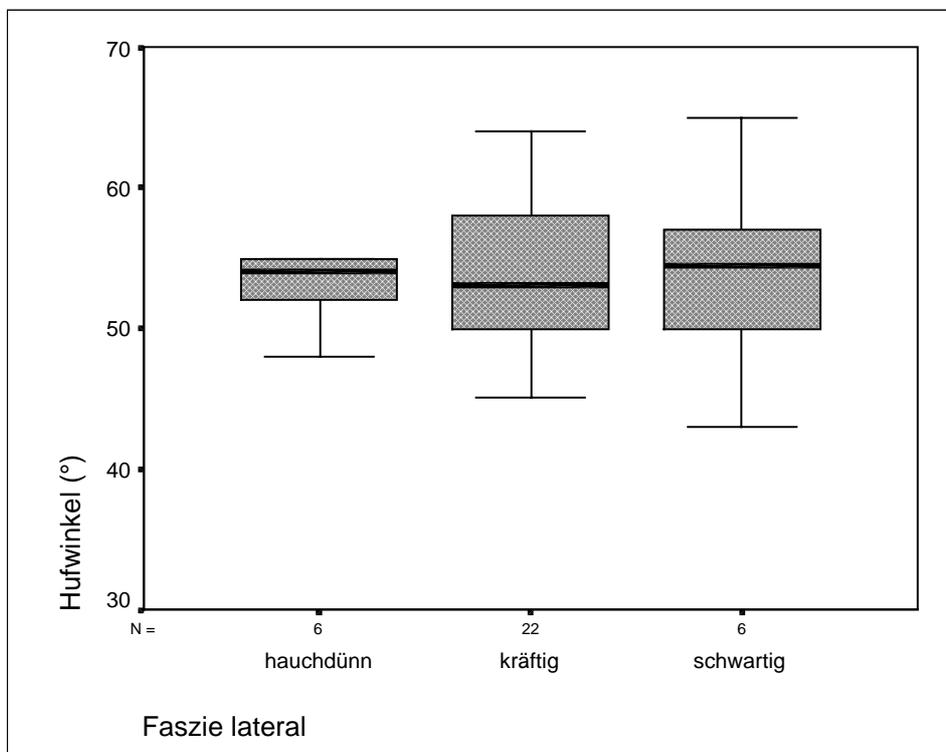
Diagr. 2: Ausprägung der Fascia digiti der Vordergliedmaßen medial abhängig vom Hufwinkel (n = 50)



Diagr. 3: Ausprägung der Fascia digiti der Vordergliedmaßen lateral abhängig vom Hufwinkel (n = 50)



Diagr. 4: Ausprägung der Fascia digiti der Hintergliedmaßen medial abhängig vom Hufwinkel (n = 34)



Diagr. 5: Ausprägung der Fascia digiti der Hintergliedmaßen lateral abhängig vom Hufwinkel (n = 34)

			Gliedermaßenstellung			Gesamt
			regelmäßig	zeheneng	zehenweit	
Faszie medial	hauchdünn	Anzahl	6	5		11
		% von Faszie medial	54.5%	45.5%		100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	25.0%	22.7%		22.0%
	kräftig	Anzahl	14	16	3	33
		% von Faszie medial	42.4%	48.5%	9.1%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	58.3%	72.7%	75.0%	66.0%
	schwartig	Anzahl	4	1	1	6
		% von Faszie medial	66.7%	16.7%	16.7%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	16.7%	4.5%	25.0%	12.0%
Gesamt	Anzahl	24	22	4	50	
	% von Faszie medial	48.0%	44.0%	8.0%	100.0%	
	% von Gliedermaßenstellung	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

Tab. 6: Ausprägung der Fascia digiti der Vordergliedmaßen medial abhängig vom Zehenstand (n = 50)

			Gliedermaßenstellung			Gesamt
			regelmäßig	zeheneng	zehenweit	
Faszie lateral	hauchdünn	Anzahl	12	6	2	20
		% von Faszie lateral	60.0%	30.0%	10.0%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	50.0%	27.3%	50.0%	40.0%
	kräftig	Anzahl	12	16	2	30
		% von Faszie lateral	40.0%	53.3%	6.7%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	50.0%	72.7%	50.0%	60.0%
	Gesamt	Anzahl	24	22	4	50
		% von Faszie lateral	48.0%	44.0%	8.0%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tab. 7: Ausprägung der Fascia digiti der Vordergliedmaßen lateral abhängig vom Zehenstand (n = 50)

			Gliedermaßenstellung			Gesamt
			regelmäßig	zeheneng	zehenweit	
Faszie medial	hauchdünn	Anzahl	5	1	2	8
		% von Faszie medial	62.5%	12.5%	25.0%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	27.8%	12.5%	25.0%	23.5%
	kräftig	Anzahl	10	5	10	5
		% von Faszie medial	52.6%	26.3%	21.1%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	55.6%	62.5%	50.0%	55.9%
	schwartig	Anzahl	3	2	2	7
		% von Faszie medial	42.9%	28.6%	28.6%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	16.7%	25.0%	25.0%	20.6%
Gesamt	Anzahl	18	8	8	34	
	% von Faszie medial	52.9%	23.5%	23.5%	100.0%	
	% von Gliedermaßenstellung	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

Tab. 8: Ausprägung der Fascia digiti der Hintergliedmaßen medial abhängig vom Zehenstand (n = 34)

			Gliedermaßenstellung			Gesamt
			regelmäßig	zeheneng	zehenweit	
Faszie lateral	hauchdünn	Anzahl	5		1	6
		% von Faszie lateral	83.3%		16.7%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	27.8%		12.5%	17.6%
	kräftig	Anzahl	9	7	6	22
		% von Faszie lateral	40.9%	31.8%	27.3%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	50.0%	87.5%	75.0%	64.7%
	schwartig	Anzahl	4	1	1	6
		% von Faszie lateral	66.7%	16.7%	16.7%	100.0%
		% von Gliedermaßenstellung	22.2%	12.5%	12.5%	17.6%
Gesamt	Anzahl	18	8	8	34	
	% von Faszie lateral	52.9%	23.5%	23.5%	100.0%	
	% von Gliedermaßenstellung	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

Tab. 9: Ausprägung der Fascia digiti der Hintergliedmaßen lateral abhängig vom Zehenstand (n = 34)

Im Folgenden sollen besondere Beobachtungen an einzelnen Gliedmaßen beschrieben werden.

Bei etwa einem Drittel der Präparate fiel innerhalb der tiefen Schicht der Fascia digiti eine Verstärkung der Fasern bis hin zu einer bandartigen Struktur auf. Diese trat besonders bei zunehmender Hyperextension der Gliedmaße hervor. Der Lage entsprechend könnte diese als distales Griffelbeinband beschrieben werden. Es handelt sich jedoch nicht um ein eigenständiges anatomisches Gebilde, sondern um eine Variante in der Ausprägung der tiefen Schicht der Zehenfaszie.

Die Verbindung der tiefen Schicht der Fascia digiti zu den darunter liegenden Strukturen war häufig sehr fest. Dadurch erschien die tiefe Faszien-schicht mit dem Schenkel des M. interosseus medius, dem Gleichbein, der oberen dorsalen Fesselbinde oder der Spornsehne regelrecht verlötet. Doch auch eine innige Verbindung konnte stets durch stumpfe, vorsichtige Präparation gelöst werden. In allen Fällen waren die Strukturen gegeneinander zu differenzieren. Die Fascia digiti konnte immer als eigenständige, den tieferen Strukturen aufliegende Schicht dargestellt werden. Jedoch führte diese innige Verlötung dazu, dass bei einer Lageveränderung der Strukturen des Fesseltrageapparates über die Fascia digiti eine Kraftübermittlung auf das Griffelbein erkennbar wurde. Bei Präparat Nr. 72 (vorne rechts) wurden die Griffelbeinknöpfchen durch die feste Verbindung der Fascia digiti mit dem Schenkel des M. interosseus medius während der Hyperextension im Fesselgelenk deutlich sichtbar palmar gezogen.

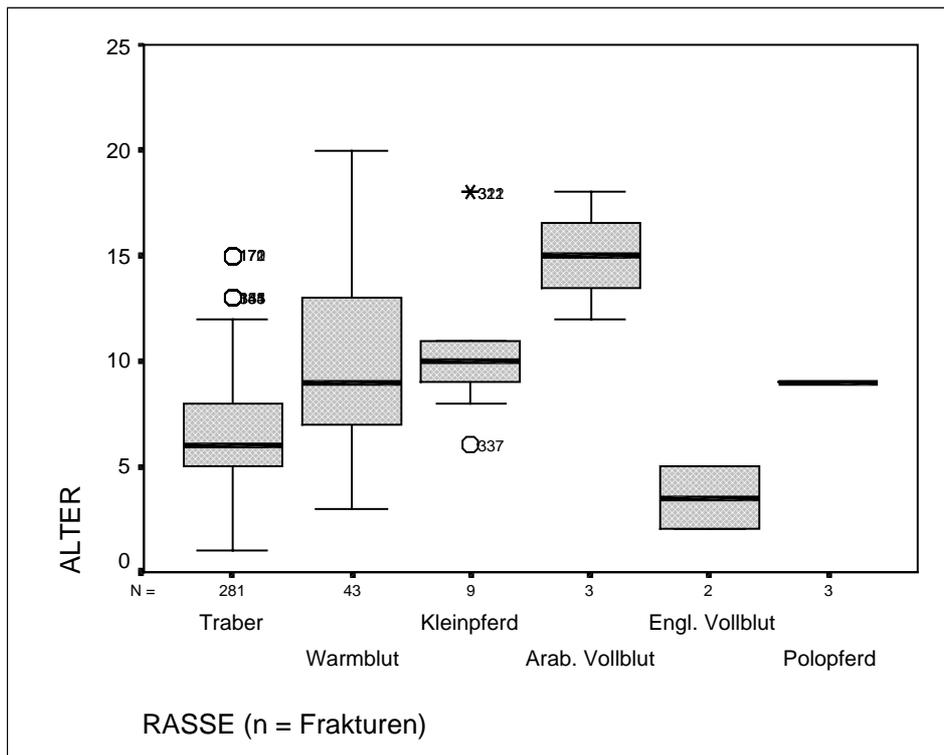
Am Präparat Nr. 28 (vorne rechts) lag eine abgeheilte Fraktur des medialen Griffelbeins vor. Ein 1 x 2 cm großer, rundlicher Kallus befand sich 5 cm proximal des Griffelbeinknöpfchens, dieser wurde bei der palpatorischen Voruntersuchung der Gliedmaße vor der Präparation nicht erfasst. Die Fascia digiti war auf der lateralen Seite als kräftige, fächerförmige Struktur von deutlich unter 0,5 mm Dicke ausgeprägt, medial war die Faszie zu einer 3 mm dicken, schwartigen Bindegewebsplatte umgebildet. Der M. interosseus medialis war lediglich bindfadendünn und hatte keine Verbindung zur Frakturstelle, der M. interosseus lateralis hatte eine Stärke von 1,5 mm.

Das Präparat Nr. 81 (hinten rechts) wies auf der lateralen Seite eine frische Griffelbeinfraktur ohne Tendenz zur Durchbauung und auf der medialen Seite eine in Form eines Kallus abgeheilte Griffelbeinfraktur auf. Beide Frakturen lagen etwa 3 cm proximal des Knöpfchens. Die Fascia digiti war auf beiden Seiten als schwartige Bindegewebsplatte ausgebildet, lateral jedoch

stärker als medial. Die Mm. interossei medialis und lateralis waren beidseits etwa 1,5 mm im Durchmesser und ohne Bezug zur Frakturstelle. Bei Belastung der Gliedmaße wurde das distale Fragment des lateralen Griffelbeins aus seiner Ruheposition heraus deutlich distal und plantar gezogen.

4.2. Röntgenologische Befunde an Griffelbein und Fesseltrageapparat

Von den 290 Pferden mit insgesamt 367 Griffelbeinbrüchen wiesen die meisten eine Fraktur im Bereich des Schaftes auf (300 Frakturen / 81,7 %). Gelegentlich lag eine Fraktur des Griffelbeinknöpfchens vor (52 Frakturen / 14,2 %) und in seltenen Fällen eine Fraktur auf Höhe des Köpfchens (10 Frakturen / 2,7 %) oder eine Zusammenhangstrennung im Bereich der Epiphysenfuge (5 Epiphysenfrakturen / 1,4 %). Insgesamt wurde bei 260 Pferden in 341 Fällen die Diagnose einer gedeckten distalen Griffelbeinfraktur gestellt. Die übrigen Frakturen waren erkennbar durch äußere Traumata entstanden. Pro Jahr wurden etwa 17 gedeckte, distale Frakturen (6 bis 27 / Jahr) in der Klinik vorgestellt. Die weitaus größte Gruppe bildeten die Traber mit 84 % der Patienten (219 Pferde mit 281 Frakturen), Warmblüter waren mit einem Anteil von 10 % (26 Pferde mit 43 Frakturen) und Kleinpferde mit 3 % (8 Pferde mit 9 Frakturen) vertreten. Die übrigen Fälle verteilten sich auf Arabische (3 Pferde / 3 Frakturen) und Englische Vollblüter (2 Pferde / 2 Frakturen) sowie Polopferde (2 Pferde / 3 Frakturen). Zur Hälfte wurden Wallache vorgestellt, die andere Hälfte war zu gleichen Teilen auf Hengste und Stuten verteilt. Bei den Trabern trat die Erkrankung bereits in einem deutlich jüngerem Alter auf als bei den Warmblütern ($p < 0,05$) (Diagr. 6).



Diagr. 6: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur (n = 341 Frakturen)

Das röntgenologische Erscheinungsbild einer gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur ist in verschiedenen Formen anzutreffen. Eine Defektpseudarthrose ist gekennzeichnet durch das Fehlen einer knöchernen Überbrückung des Frakturspaltes (Abb. 10). Die Frakturenenden wiehen dabei deutlich erkennbar auseinander (Dislocatio ad longitudinem cum distractione) und sind manchmal in ihrer Längsachse (Dislocatio ad axim) oder zur Seite hin verschoben (Dislocatio ad latus). Im Zuge des Versuches einer Knochenheilung kann eine reaktive Pseudarthrose, welche aufgrund ihrer Form auch elefantenfußartige Pseudarthrose genannt wird, entstehen (Abb. 11). Gelingt es den Knochenenden den Frakturspalt zu überbrücken, ist das Endergebnis der Heilung ein Kallus. Dieser kann in seiner Struktur und Kontur sehr unregelmäßig sein (Abb. 12). Es kann jedoch auch mit der Zeit zu einer Applanation des Knochens mit nur noch geringer Konturunregelmäßigkeit kommen.

Bei der klinischen und röntgenologischen Untersuchung wurde regelmäßig neben der Fraktur des Griffelbeines eine Erkrankung des Fesseltrageapparates vorgefunden. Weichteilschäden konnten am M. interosseus medius und an den Gleichbeinbändern festgestellt werden. Am Skelett war die gesamte Region des Fesselgelenkes betroffen. Die gelenkbildenden Anteile der

Gleichbeine wie auch die Ansatzbereiche des M. interosseus medius und der Gleichbeinbänder wiesen Veränderungen in ihrer Struktur und Kontur unterschiedlichen Grades auf. Weiterhin konnte eine große Varianz in der Ausgestaltung des Griffelbeinknöpfchens beobachtet werden.



Abb. 10: Griffelbeinfraktur mit Defektpseudarthrose bei unregelmäßig geformtem Knöpfchen; Gleichbeinkonturveränderung am Ansatz des Fesselringbandes

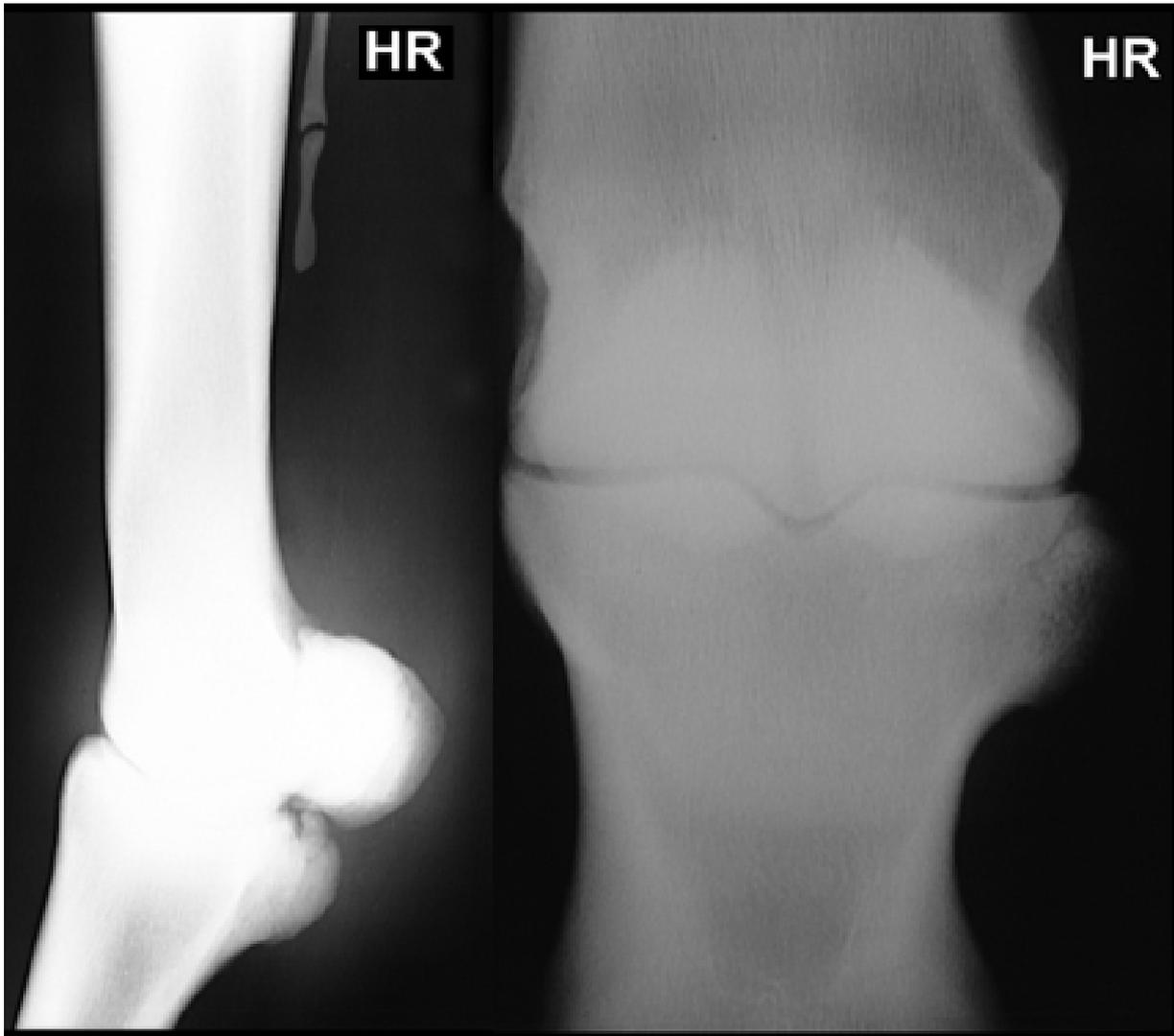


Abb. 11: Griffelbeinfraktur mit elefantenfußartiger Pseudarthrose; unvollständige Loslösung der Fesselbeinlehne im Bereich der distalen Gleichbeinbänder

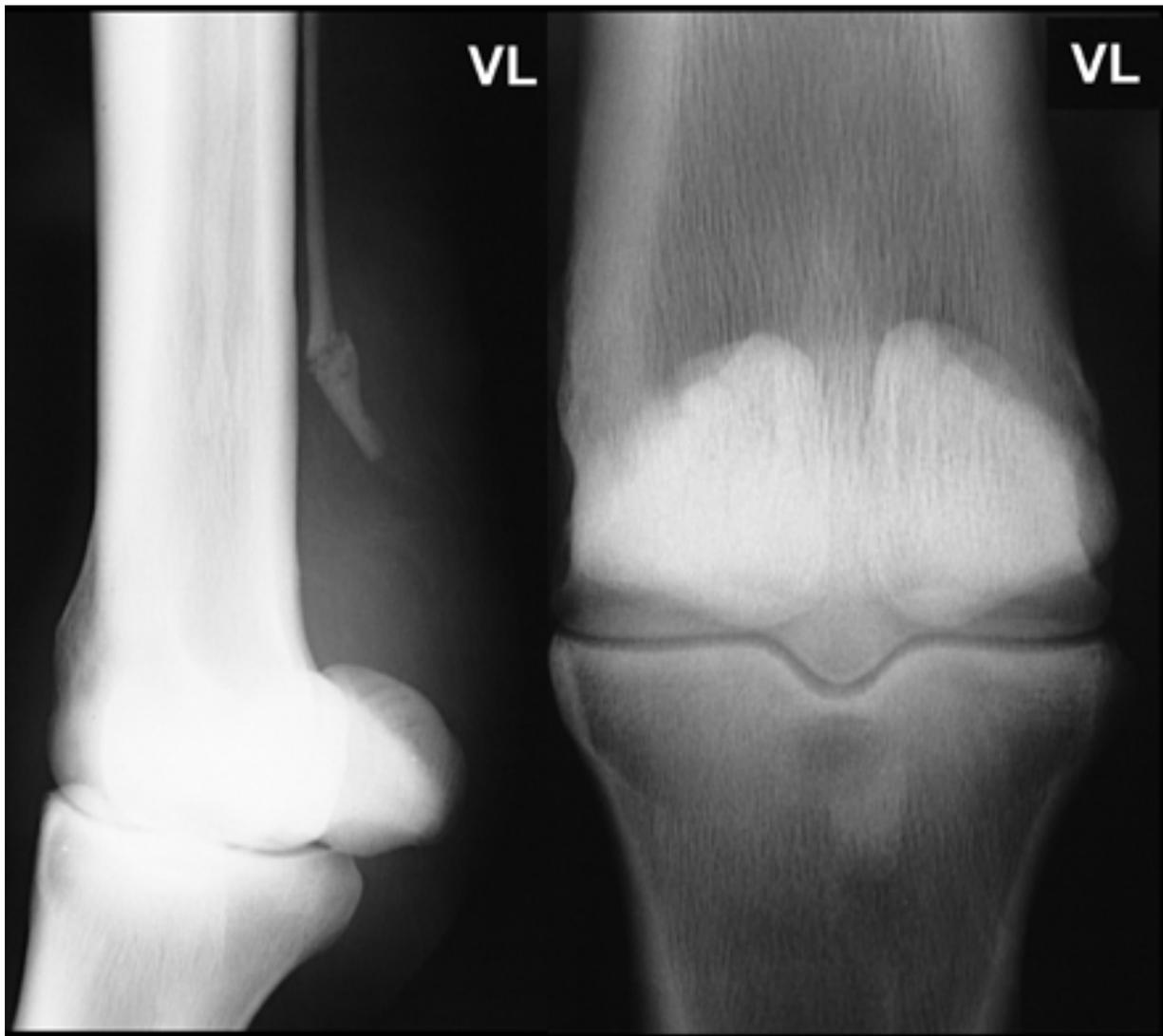
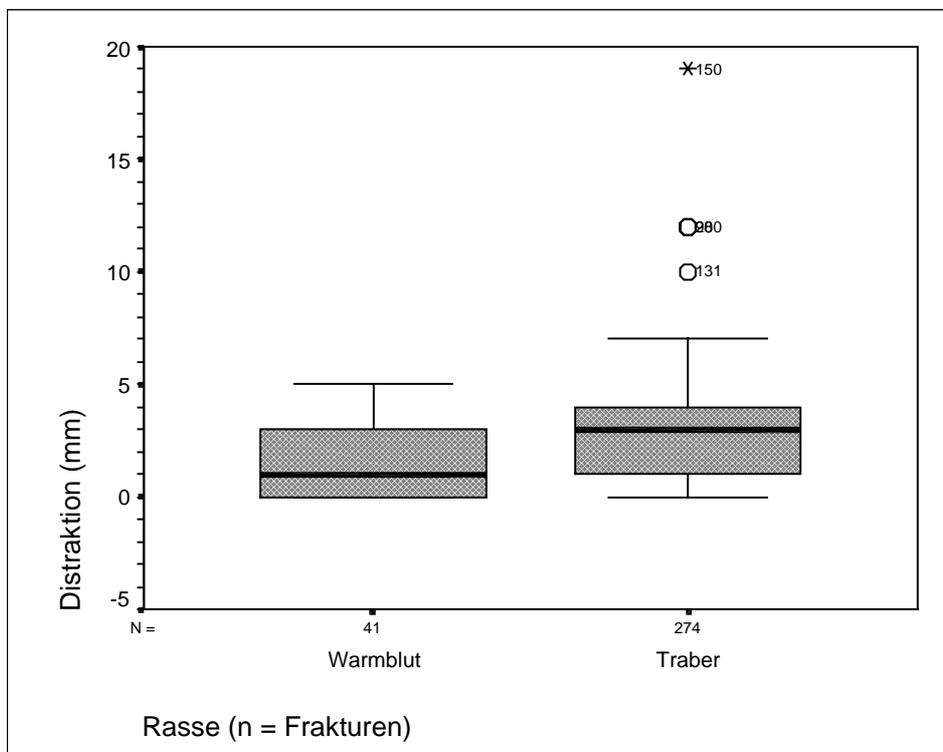


Abb. 12: Griffelbeinfraktur mit Kallusbildung; Kontur- und Strukturveränderungen der Gleichbeine und des dorsodistalen Röhrebeins

In der Betrachtung der Verteilung der Frakturen auf die verschiedenen Gliedmaßen fällt auf, dass bei den untersuchten Trabern an den Hintergliedmaßen häufiger auf der lateralen Seite eine gedeckte distale Griffelbeinfraktur vorliegt als medial (Tab. 10). Vergleicht man auf alle Gliedmaßen bezogen das Ausmaß des Auseinanderweichens der Frakturenden, so findet man für die Traber gegenüber den Warmblütern eine deutlich höhere Distraktion ($p < 0,05$) (Diagr. 7). Beide Rassen unterscheiden sich auch in der Art der Frakturheilung. Während bei den Warmblütern mehr Frakturen in Form einer reaktiven Pseudarthrose vorliegen (73 % reaktive Pseudarthrose / 23 % Defektpseudarthrose), können bei Trabern beide Pseudarthroseformen in ähnlichem Ausmaß angetroffen werden (55 % reaktive Pseudarthrose / 45 % Defektpseudarthrose).

			Rasse	
			Traber	Warmblut
Gliedermaßenlokalisation	VLL	Anzahl	39	9
		%	13.9%	20.9%
	VLM	Anzahl	34	8
		%	12.1%	18.6%
	VRL	Anzahl	33	5
		%	11.7%	11.6%
	VRM	Anzahl	24	10
		%	8.5%	23.3%
	HLL	Anzahl	46	1
		%	16.4%	2.3%
HLM	Anzahl	26		
	%	9.3%		
HRL	Anzahl	49	6	
	%	17.4%	14.0%	
HRM	Anzahl	30	4	
	%	10.7%	9.3%	
Gesamt	Anzahl	281	43	
	%	100.0%	100.0%	

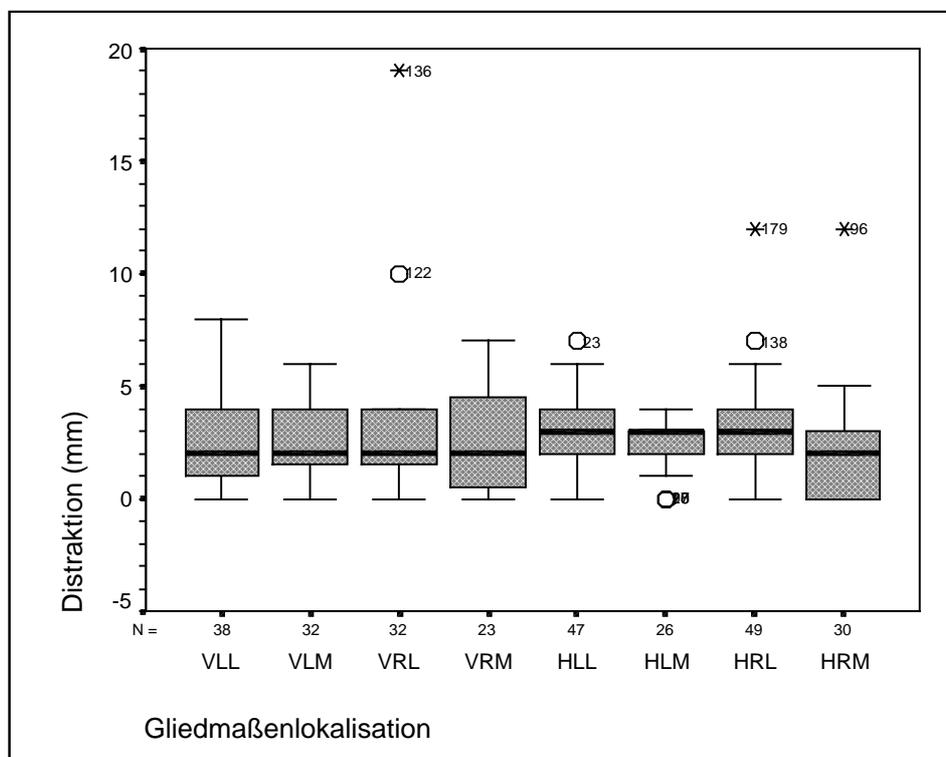
Tab. 10: Verteilung der gedeckten, distalen Griffelbeinfrakturen (n = 281 bzw. 43)



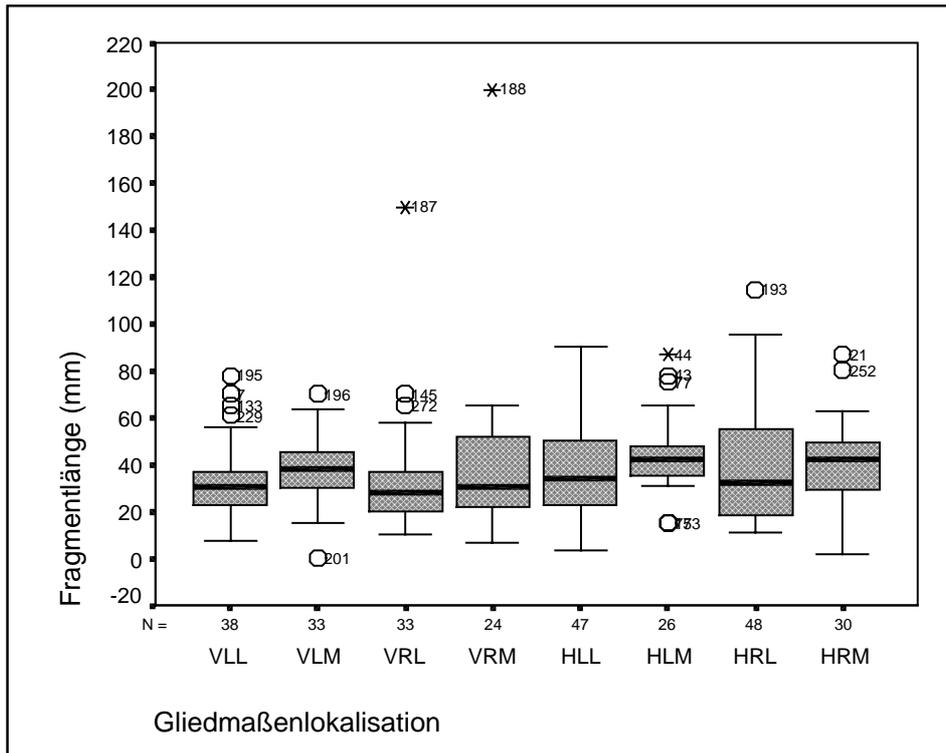
Diagr. 7: Distraction am Frakturspalt bezogen auf alle Gliedmaßen (n = 41 bzw. 274 Frakturen)

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Gruppe der Traber, weil das Untersuchungsmaterial der übrigen Rassen für eine Untergliederung zum Zwecke gezielter Fragestellungen jeweils zu klein ist. Da aufgrund von teilweise unvollständigen Krankenakten oder ungünstigem Projektionswinkel bei der Röntgentechnik nicht stets alle Parameter beim einzelnen Fall erfasst werden konnten, tritt eine geringe Variation in den absoluten Fallzahlen auf.

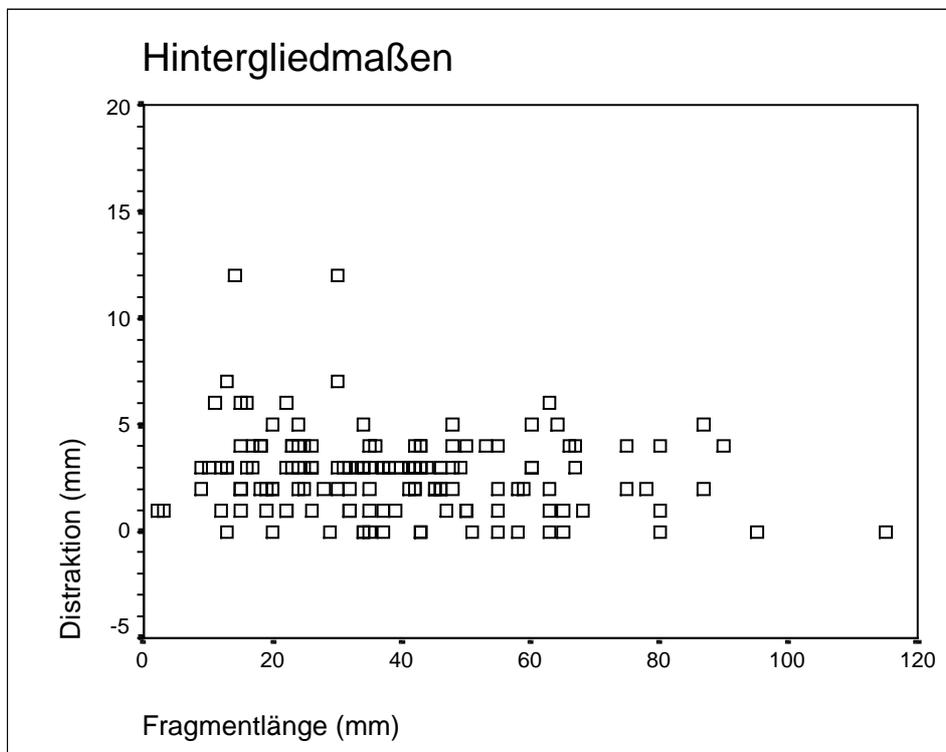
Beim Vergleich der einzelnen Gliedmaßen hinsichtlich des Ausmaßes der Distraction lässt sich erkennen, dass an den Hintergliedmaßen auf der lateralen Seite die Messwerte im oberen Quartil höher liegen als auf der medialen (Diagr. 8). Die Bereiche, in denen die Messwerte für die Fragmentlänge an den Hintergliedmaßen liegen, verhalten sich hierzu umgekehrt (Diagr. 9). Daher wurde geprüft, ob an den Hintergliedmaßen ein überzufälliger Zusammenhang zwischen der Fragmentlänge und dem Ausmaß der Distraction am Frakturspalt bestand (Diagr. 10), was nicht gezeigt werden konnte. Allerdings ist bezogen auf alle Gliedmaßen ein unterschiedliches Verhalten der verschiedenen Lokalisationen der Griffelbeinfraktur zu beobachten. Frakturen des Knöpfchens zeigen deutlich mehr Distraction als solche des Schaftes ($p < 0,05$) (Diagr. 11).



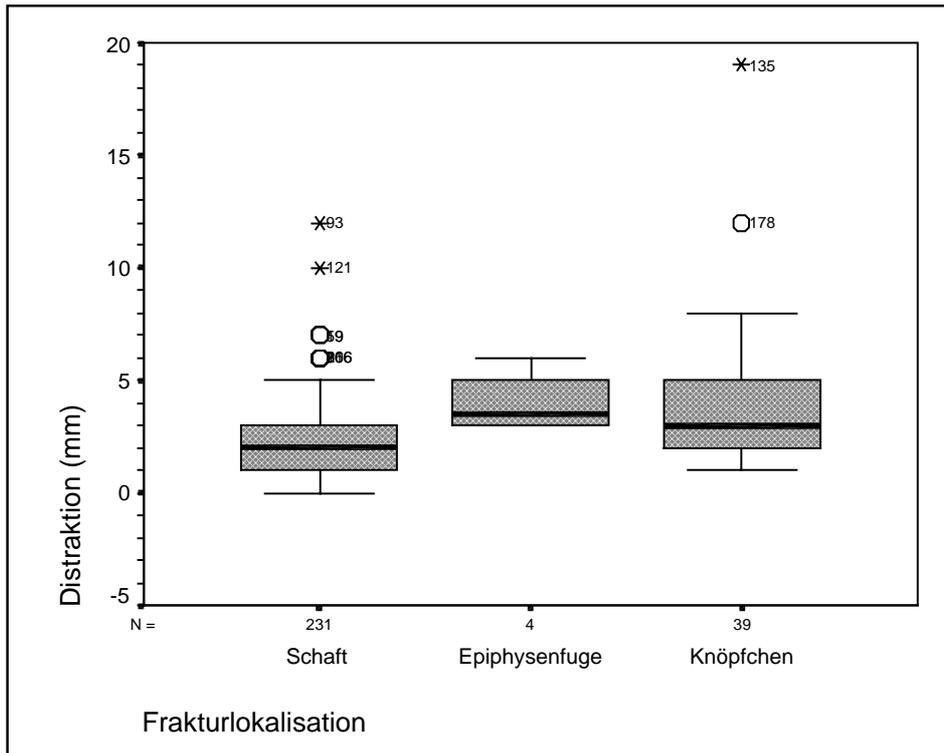
Diagr. 8: Verteilung der Distraction am Frakturspalt (n = 277 Frakturen)



Diagr. 9: Verteilung der Fragmentlänge (n = 279 Frakturen)



Diagr. 10: Distraction bei unterschiedlicher Fragmentlänge

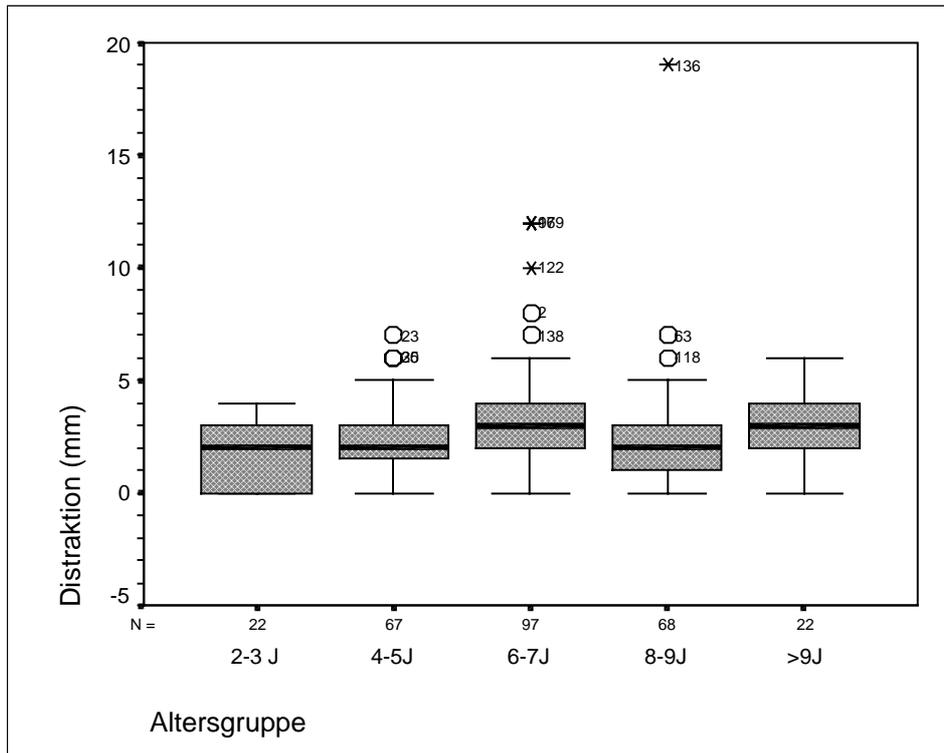


Diagr. 11: Distraction der verschiedenen Frakturformen (n = 274 Frakturen)

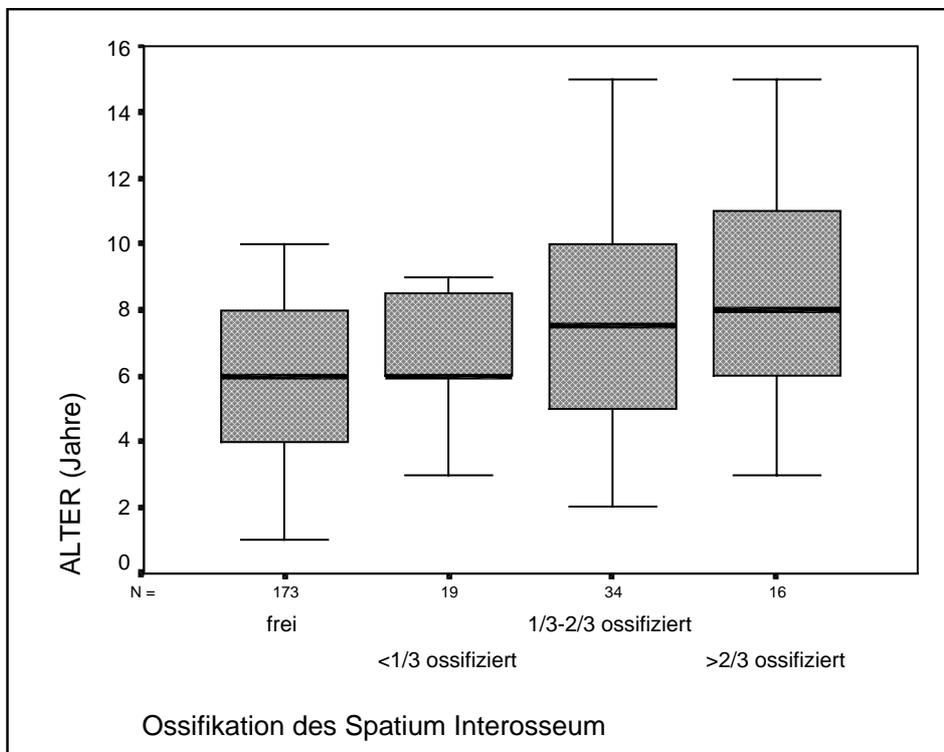
Betrachtet man die Pferde verschiedenen Alters, ist zu erkennen, dass bei den 6- bis 7-jährigen Trabern die meisten Frakturen vorliegen (Tab. 11) und höhere Distraktionswerte zu erfassen sind, als bei 2- bis 3-jährigen zu Beginn ihres Einsatzes als Rennpferd. Diese Entwicklung setzt sich bei den älteren Pferden jedoch nicht fort (Diagr. 12). Weiterhin sind Pferde, die mindestens ein Drittel des Spatium interosseum verknöchert haben deutlich älter als solche ohne Anzeichen einer Ossifikation in diesem Bereich ($p < 0,05$) (Diagr. 13). An Griffelbeinen mit ausgeprägter Ossifikation im Spatium interosseum ($> 2/3$ ossifiziert) findet man deutlich geringere Distraktionswerte des Frakturspaltes als bei solchen, die frei von Verknöcherung an dieser Stelle sind ($p < 0,05$) (Diagr. 14), und häufiger eine unregelmäßige Ausprägungsform des Griffelbeinknöpfchens als eine regelmäßige aufweisen (Diagr. 15).

Tab. 11: Alter bei Auftreten der Griffelbeinfraktur (n = 276 Frakturen)

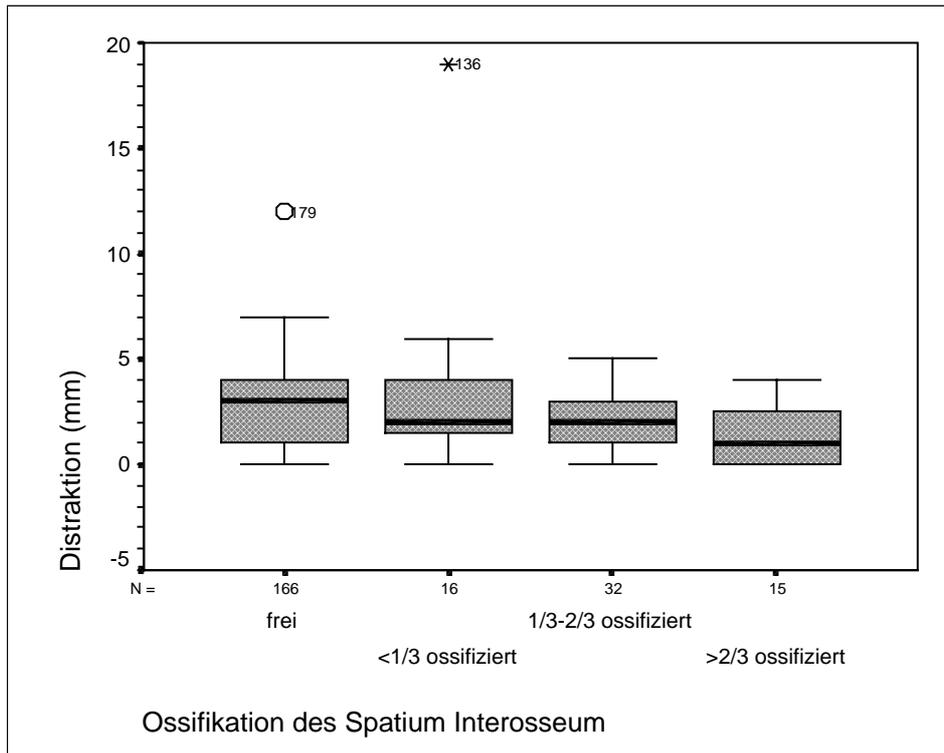
Alter	2-3 J	4-5 J	6-7 J	8-9 J	> 9 J	gesamt
n	22	67	97	68	22	276
%	8	24,3	35,1	24,6	8	100



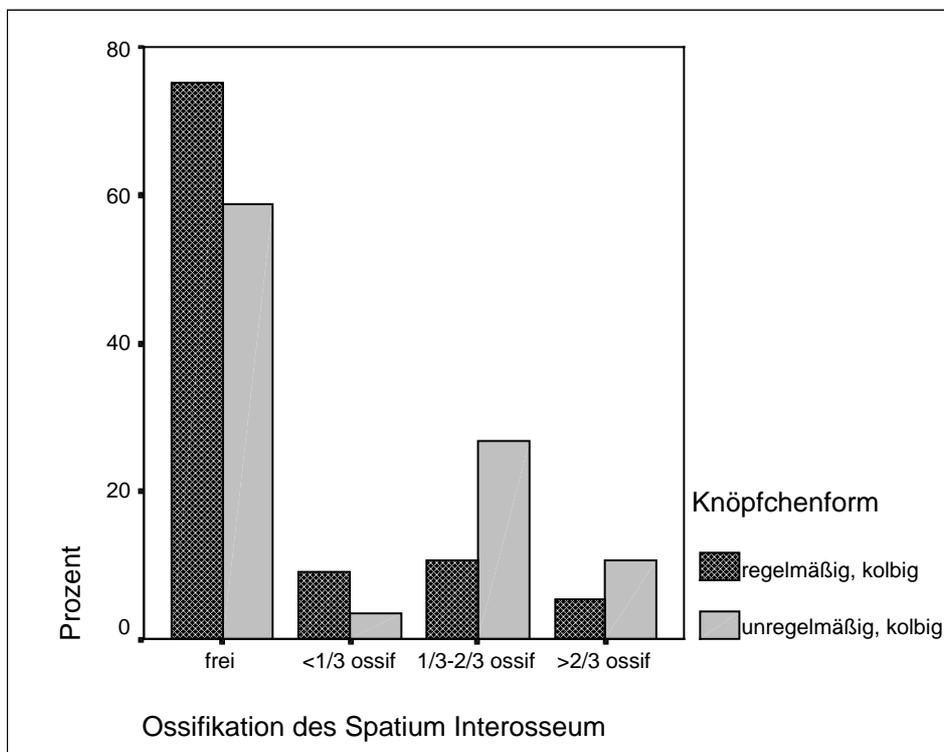
Diagr. 12: Distraction der verschiedenen Altersgruppen (n = 276 Frakturen)



Diagr. 13: Alter bei unterschiedlicher Ossifikation im Spatium interosseum (n = 242 Frakturen)

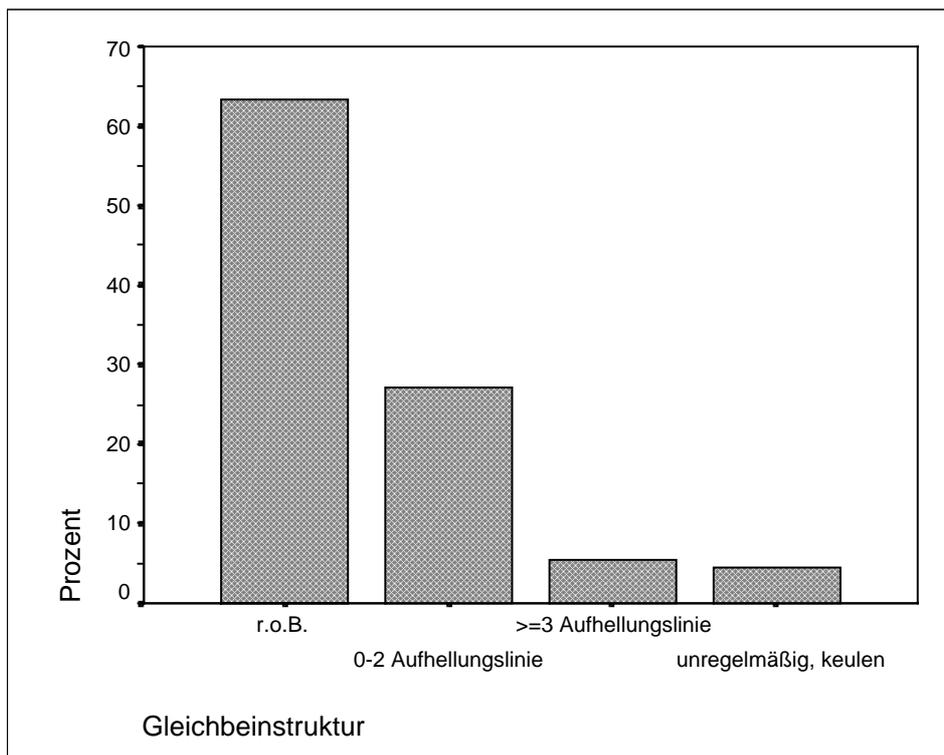


Diagr. 14: Distraction bei unterschiedlicher Ossifikation im Spatium interosseum (n = 229 Frakturen)

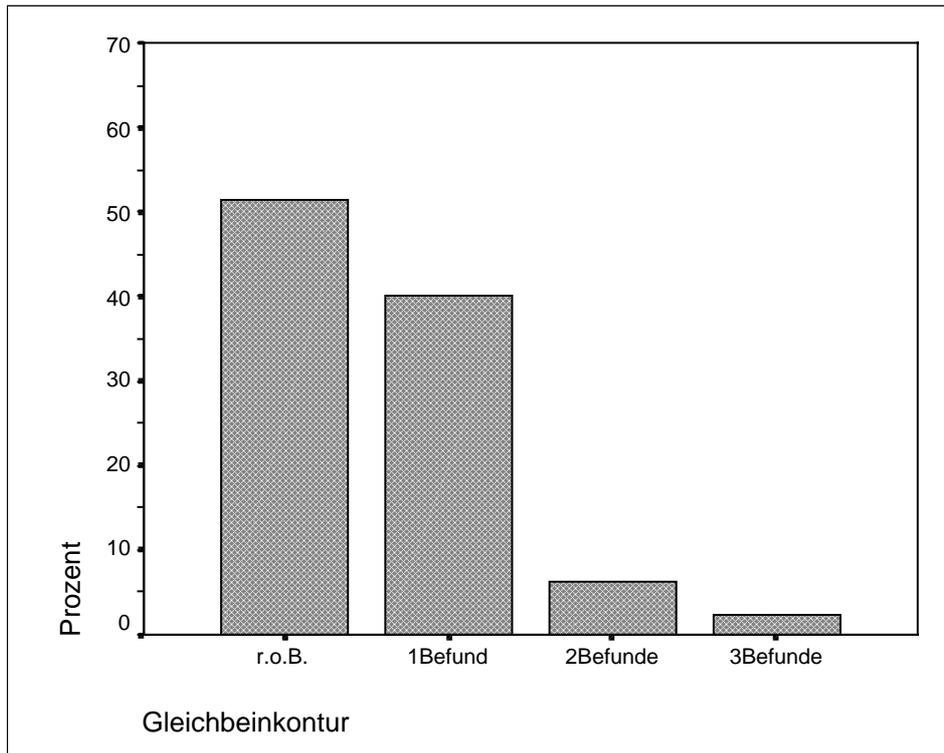


Diagr. 15: Griffelbeinknöpfchenform bei unterschiedlicher Ossifikation im Spatium Interosseum (n = 242 Frakturen)

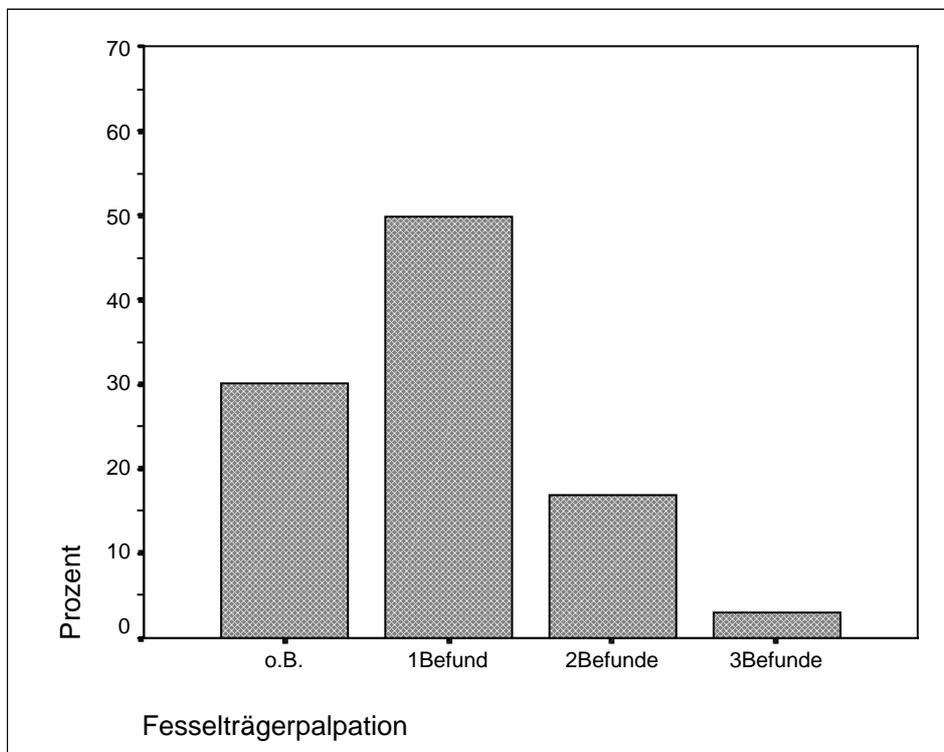
Röntgenologische Veränderungen am Fesseltrageapparat sind bei einem Drittel der Fälle als Auflockerung der Gleichbeinstruktur (Diagr. 16) und bei der Hälfte der Fälle in Form einer Unregelmäßigkeit der Gleichbeinkontur (Diagr. 17) zu erheben. Bei der Gleichbeinstruktur wird die Anzahl der Aufhellungslinien erfasst. Den höchsten Grad stellen unregelmäßige, keulenförmige Texturauflösungen der Knochen trabekel dar. An der Gleichbeinkontur werden die Ansatzstellen des M. interosseus medius, des Fesselringbandes und der distalen Gleichbeinbänder hinsichtlich Zubildungen beurteilt und die Anzahl der Befunde summiert. Bei der klinischen Sehnenuntersuchung können in zwei Drittel der Fälle Befunde erhoben werden (Diagr. 18). Es ist eine Schmerzhaftigkeit des Körpers des M. interosseus medius, eines seiner Schenkel, beider Schenkel oder eine Kombination dieser Befunde anzutreffen und deren Anzahl festzustellen.



Diagr. 16: Häufigkeit von Gleichbeinstrukturbefunden (n = 224 Frakturen)

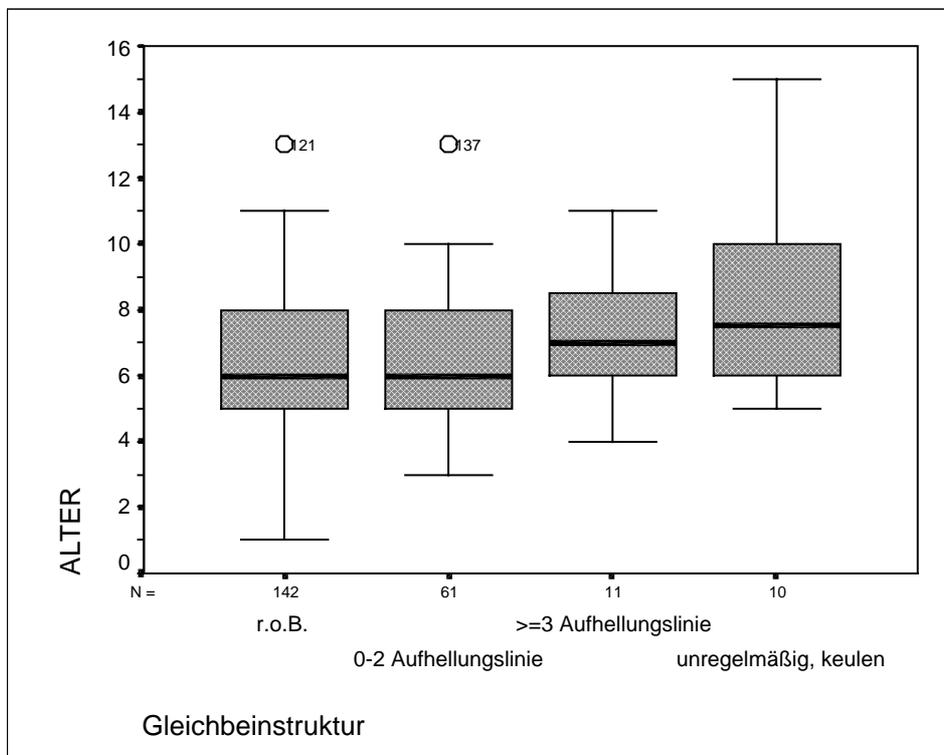


Diagr. 17: Häufigkeit von Gleichbeinkonturbefunden (n = 224 Frakturen)

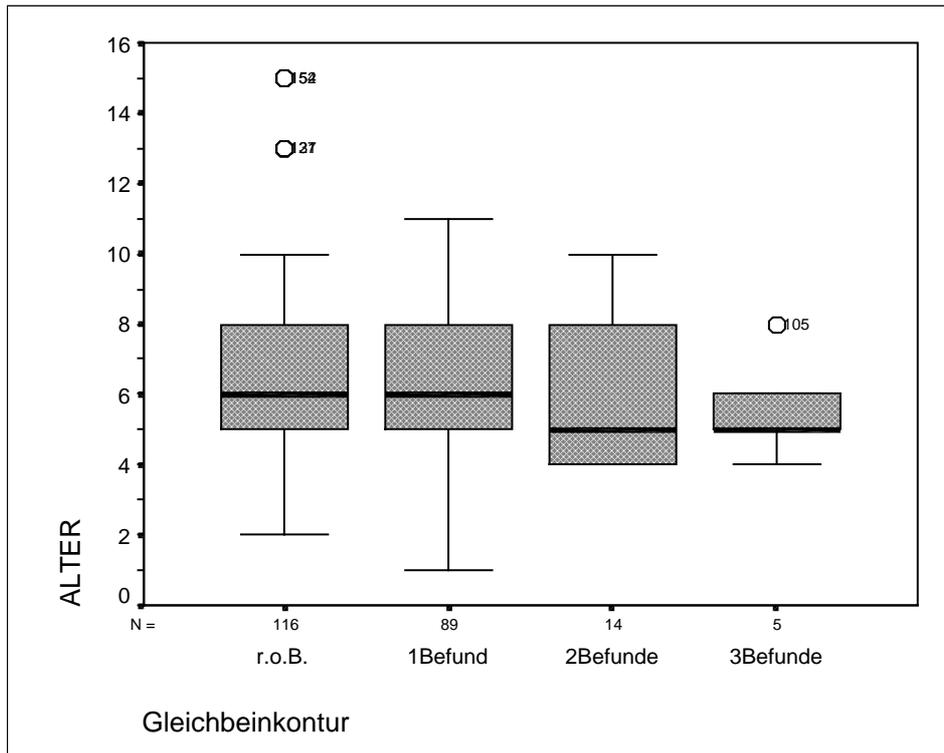


Diagr. 18: Häufigkeit von Palpationsbefunden am M. interosseus medius (n = 224 Frakturen)

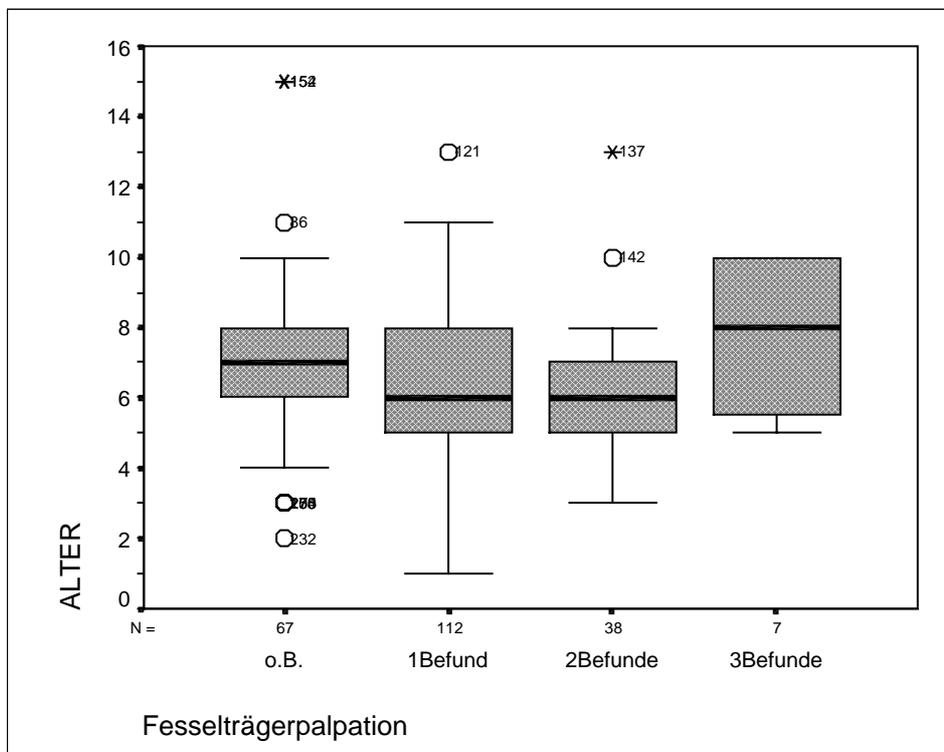
Bei der Betrachtung der Befunde am Fesseltrageapparat bezogen auf das Alter der Pferde (Diagr. 19 bis 21) und das Ausmaß der Distraktion am Frakturspalt (Diagr. 22 bis 24) kann ein deutlicher Altersunterschied zwischen röntgenologisch unauffälligen Pferden und solchen mit unregelmäßigen, keulenförmigen Strukturauflösungen am Gleichbein erfasst werden ($p < 0,05$). Außerdem fällt ein deutlicher Unterschied in der Distraktion zwischen Frakturen bei klinisch unauffälligem M. interosseus medius und solchen bei einem oder mehreren begleitenden Palpationsbefunden am M. interosseus medius auf ($p < 0,05$). Weitere überzufällige Zusammenhänge lassen sich nicht herausstellen.



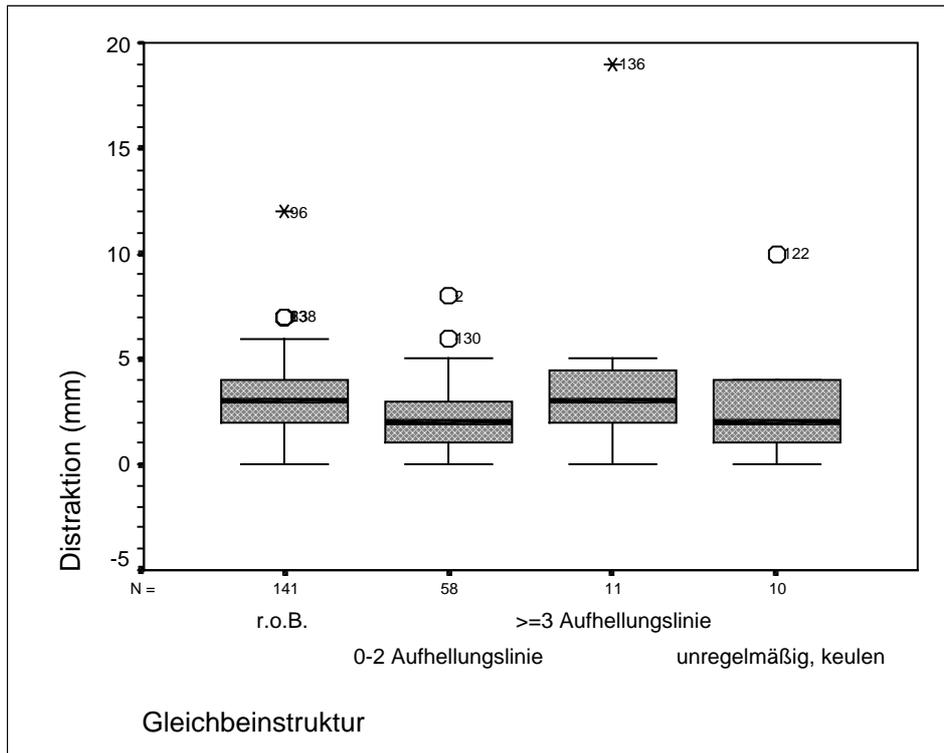
Diagr. 19: Alter bei unterschiedlichen Gleichbeinstrukturveränderungen (n = 224 Frakturen)



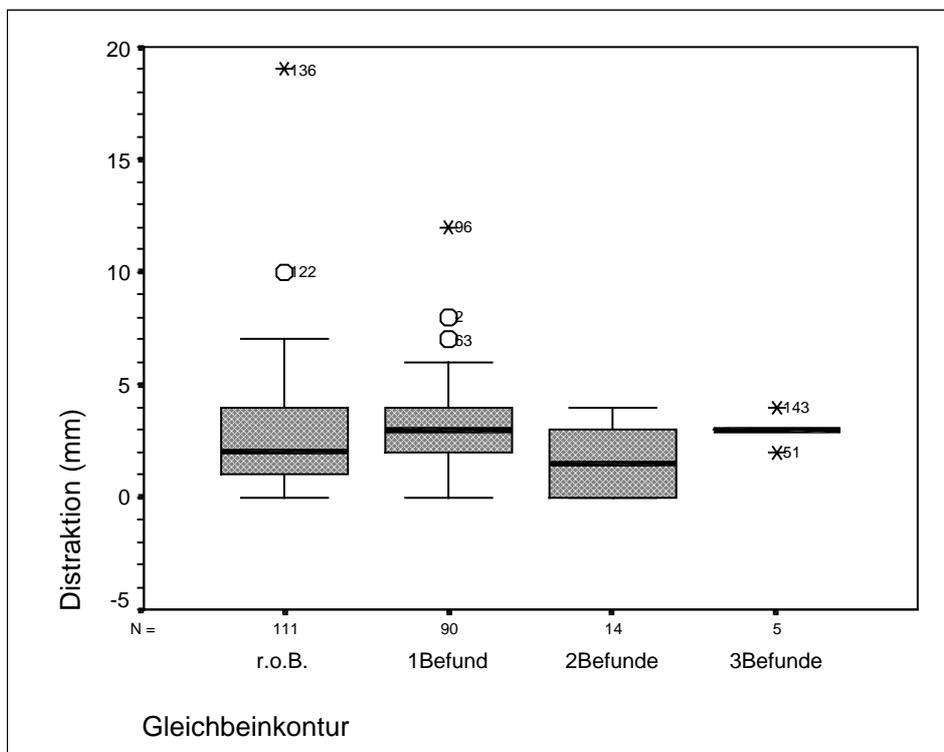
Diagr. 20: Alter bei unterschiedlichen Gleichbeinkonturveränderungen (n = 224 Frakturen)



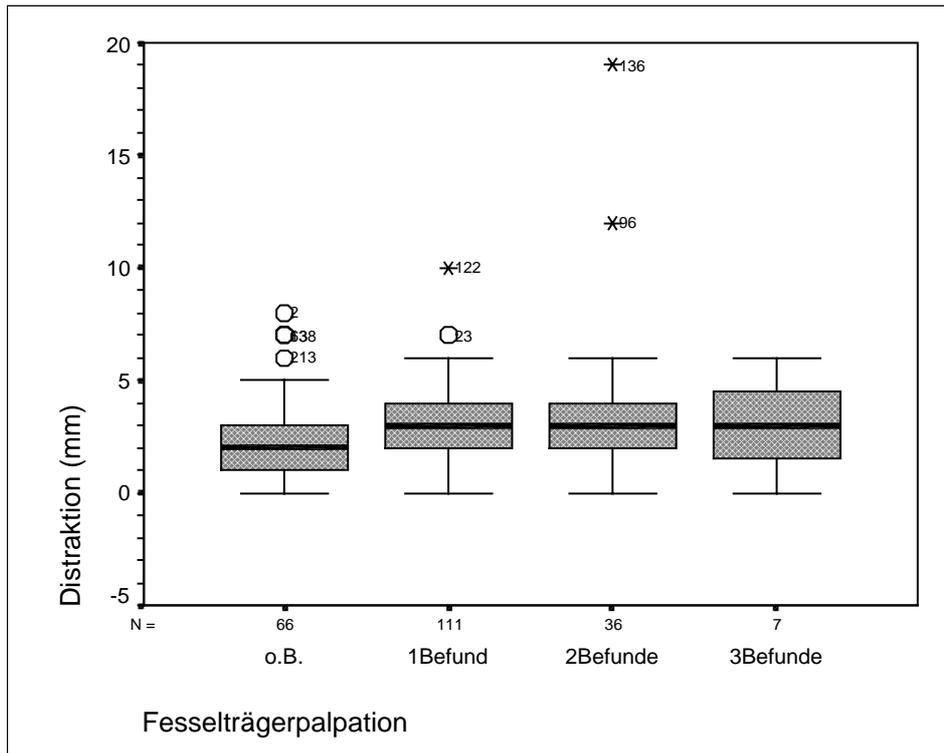
Diagr. 21: Alter bei unterschiedlichen Palpationsbefunden am M. interosseus medius (n = 224 Frakturen)



Diagr. 22: Distraction bei unterschiedlichen Gleichbeinstrukturveränderungen (n = 220 Frakturen)



Diagr. 23: Distraction bei unterschiedlichen Gleichbeinkonturveränderungen (n = 220 Frakturen)



Diagr. 24: Distraction bei unterschiedlichen Palpationsbefunden am M. interosseus medius (n = 220 Frakturen)

4.3. in vitro Versuche zur Distractionstheorie

Beim Vergleich der auf verschiedene Weise gewonnenen Messwerte für die Distraction der Frakturenden konnte kein Unterschied festgestellt werden. Die direkt auf der Skala im Röntgenbild abgelesenen Werte waren mit den am Frakturspalt gemessenen und durch den Vergrößerungsfaktor 4 dividierten Werten identisch. Somit konnte ein Fehler in der Methodik bei der Bestimmung der Messwerte ausgeschlossen werden. Um die Messungen der verschiedenen Gliedmaßen vergleichen zu können, wurde von den Messwerten der Phasen 2 bis 4 der Wert der Phase 1 subtrahiert. Der Messwert der Phase 1 wurde als Referenzwert gleich „0“ gesetzt, dadurch wurde die Erweiterung des Frakturspaltes unabhängig von seiner ursprünglichen Größe bestimmt.

Die 8 Gliedmaßen des Vorversuches, deren Fasziensätze am Griffelbeinknöpfchen vor der Versuchsserie durchtrennt wurden, zeigten in den ersten drei Phasen keinerlei Veränderung am künstlichen Frakturspalt. Bei maximaler Belastung in Phase 4 konnten Erweiterungen der

Frakturlücke um maximal 1 mm beobachtet werden. Der Median der Messwerte lag medial bei 0,5 mm (Werte von 0,25 bis 1 mm) und lateral bei 0,6 mm (Werte von 0 bis 1 mm).

Bei den 36 Gliedmaßen des Hauptversuches konnte eine Erweiterung des Frakturspalt bei ansteigender Belastung teilweise bereits in Phase 2, regelmäßig jedoch ab Phase 3 beobachtet werden. Die maximale Distraktion der Fraktarenden kam dann bei maximaler Belastung in Phase 4 zustande (Diagr. 25 bis 32). Bei der abschließenden Röntgenaufnahme im entlasteten Zustand lagen wieder geringere Messwerte am Frakturspalt vor, die allerdings stets größer waren als die Ausgangswerte in Phase 1.

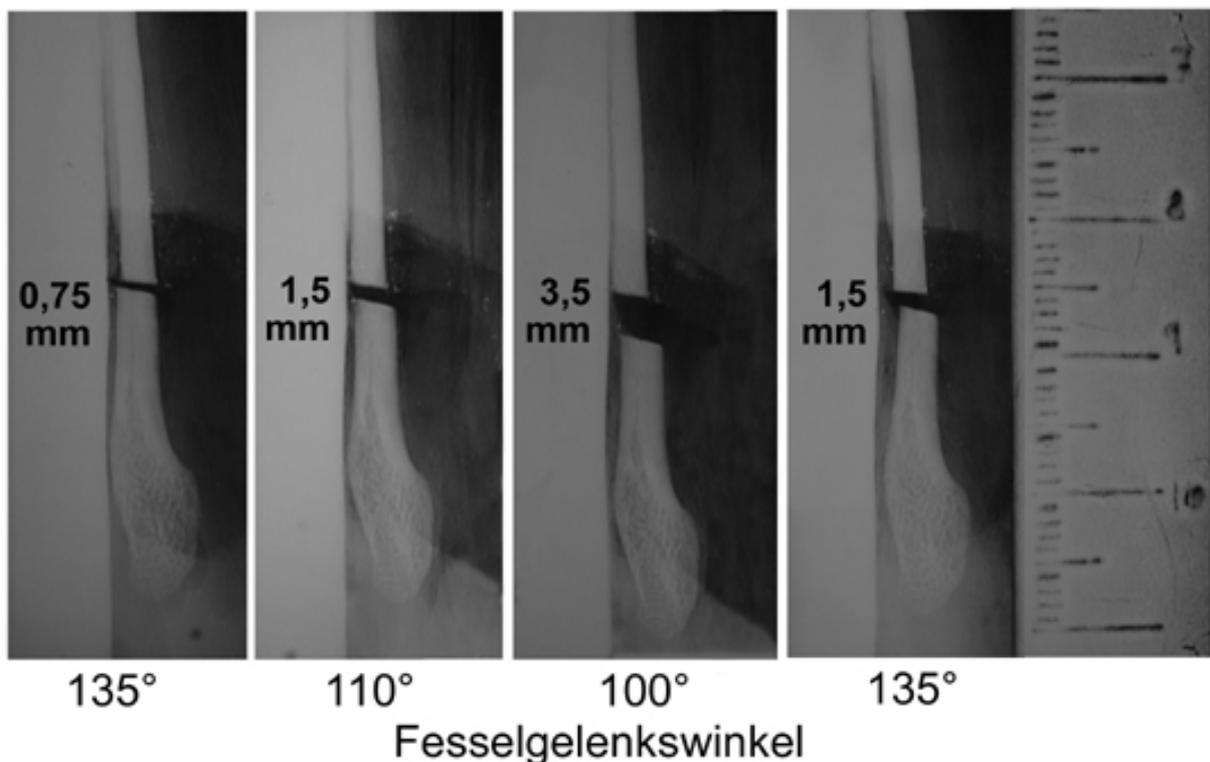
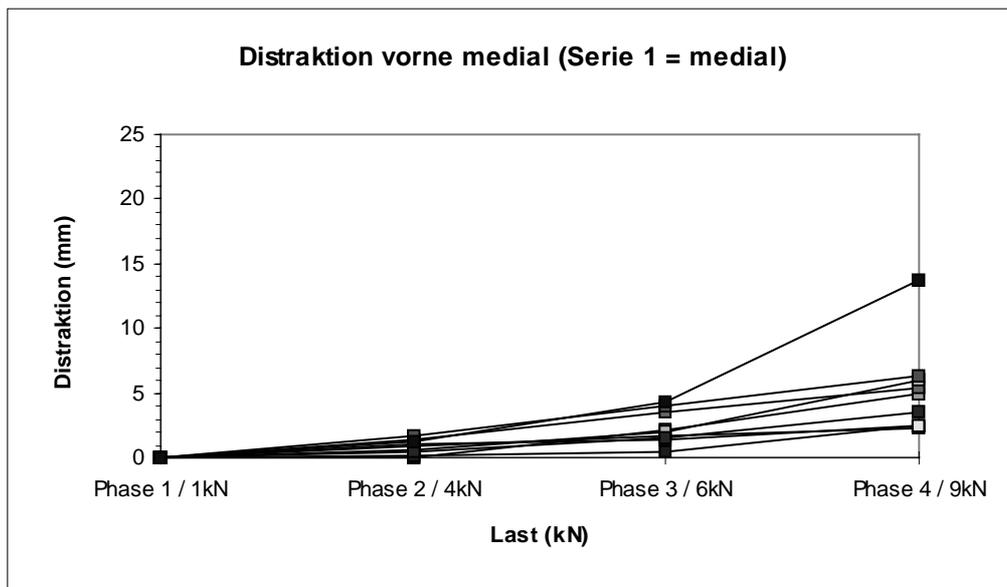


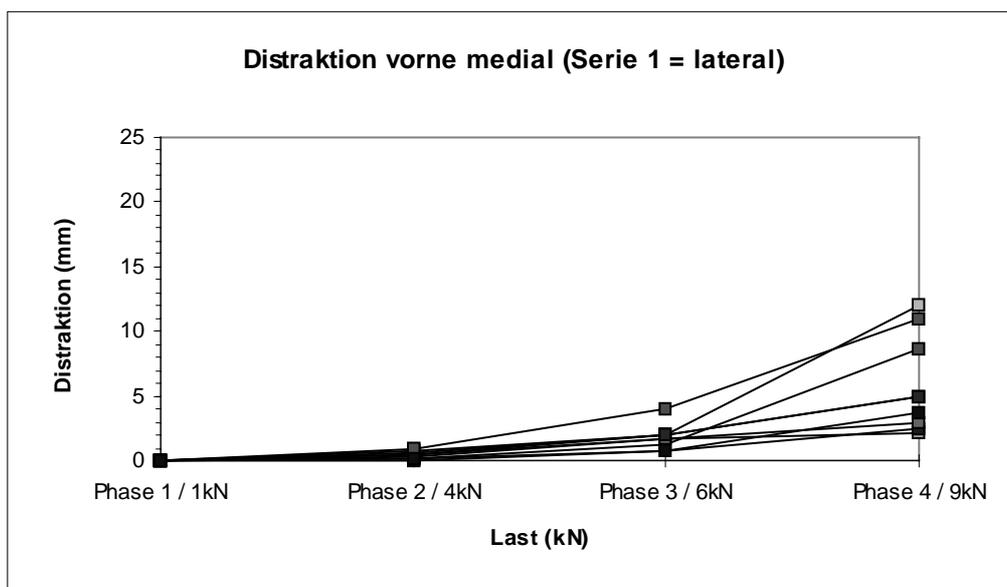
Abb. 13: Belastungsversuch nach künstlich erzeugter Griffelbeinfraktur

Ein Einfluss der Versuchsanordnung auf die Ergebnisse lässt sich erkennen, wenn man die Messwerte danach aufgliedert, ob die entsprechende Seite zuerst untersucht wurde oder erst als zweite Serie. An den vorderen und vor allem den hinteren lateralen Griffelbeinen waren viel größere Distraktionswerte zu erheben, wenn die erste Versuchsserie auf der gegenüberliegenden, medialen Seite vorgenommen wurde. Auch an den hinteren medialen Griffelbeinen

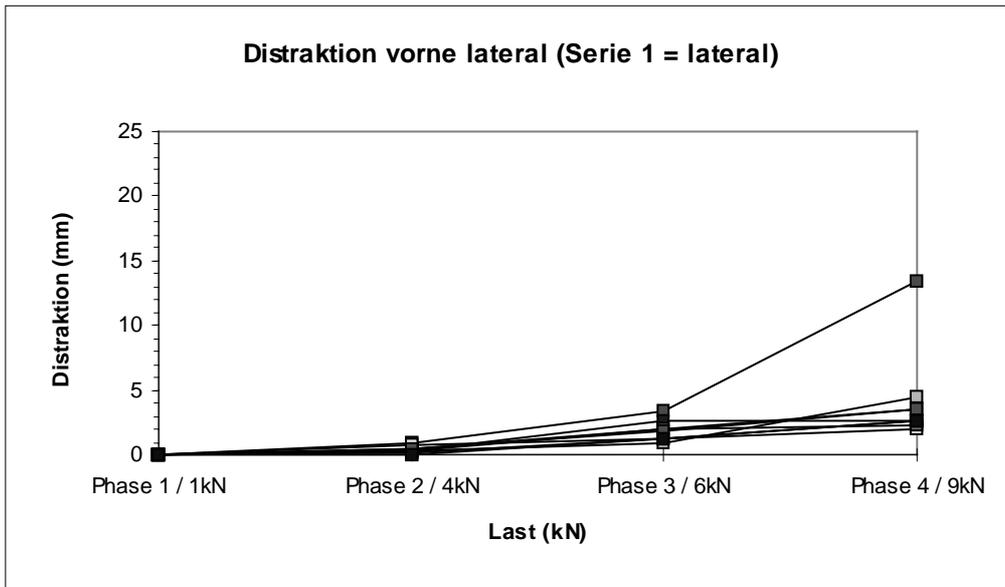
lässt sich, wenn auch weniger stark ausgeprägt, ein solches Verhalten erkennen. An allen Lokalisationen gilt jedoch, dass die Bereiche der Messwerte auf der Seite, die als zweite Serie untersucht wurde, insgesamt höher lagen (Tab. 12 und Diagr. 33 bis 36). Diese Beobachtung ist an den hinteren Gliedmaßen deutlicher als an den vorderen (Diagr. 37 u. 38).



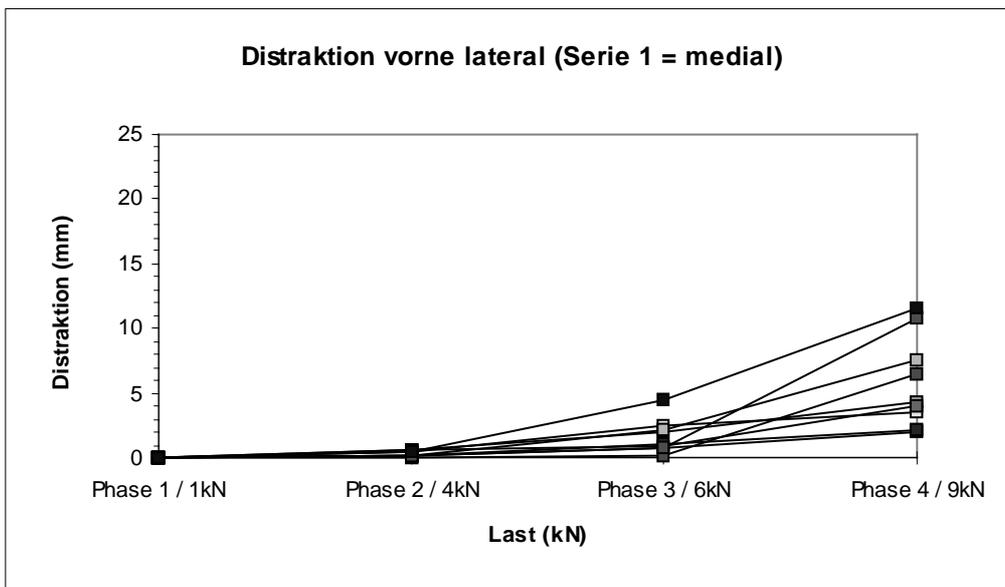
Diagr. 25: Einzelverläufe der Distraction am Griffelbein vorne medial (1. Serie = medial)
(n = 9 Gliedmaßen)



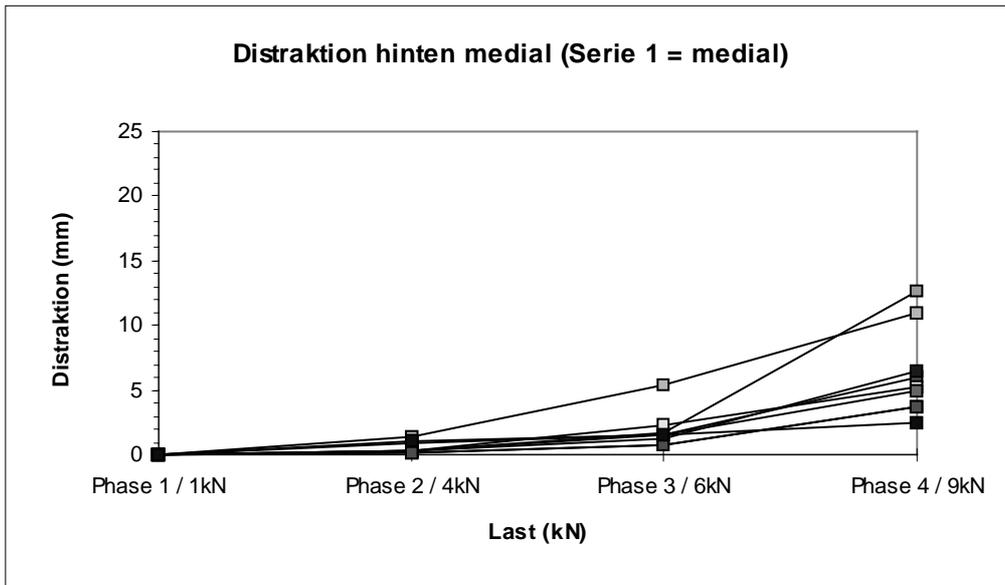
Diagr. 26: Einzelverläufe der Distraction am Griffelbein vorne medial (1. Serie = lateral)
(n = 9 Gliedmaßen)



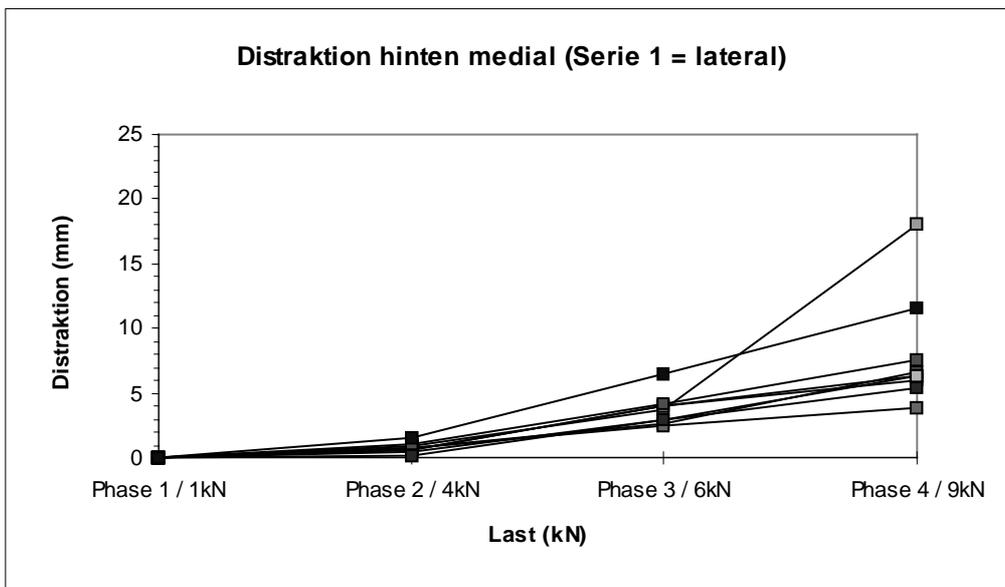
Diagr. 27: Einzelverläufe der Distraktion am Griffelbein vorne lateral (1. Serie = lateral)
(n = 9 Gliedmaßen)



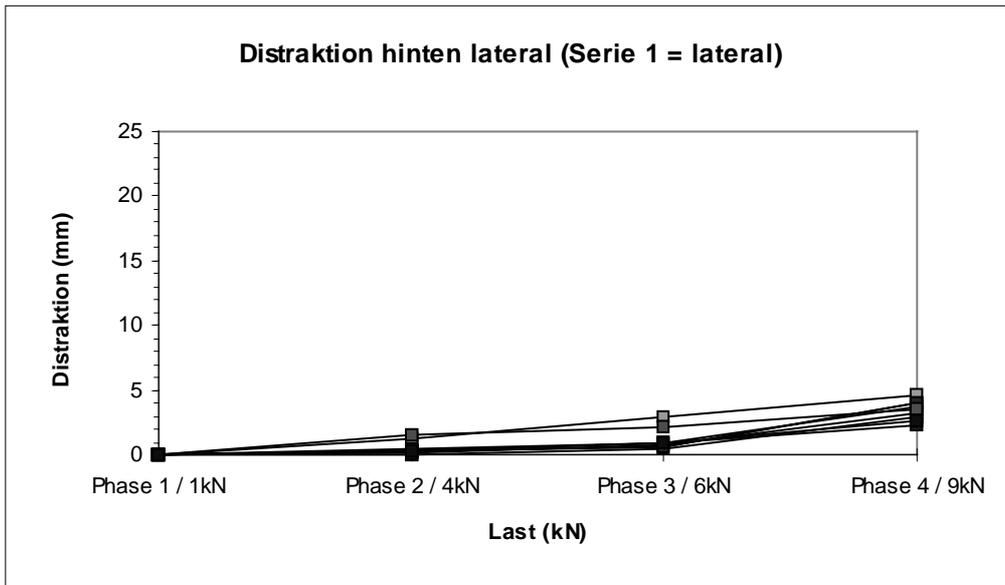
Diagr. 28: Einzelverläufe der Distraktion am Griffelbein vorne lateral (1. Serie = medial)
(n = 9 Gliedmaßen)



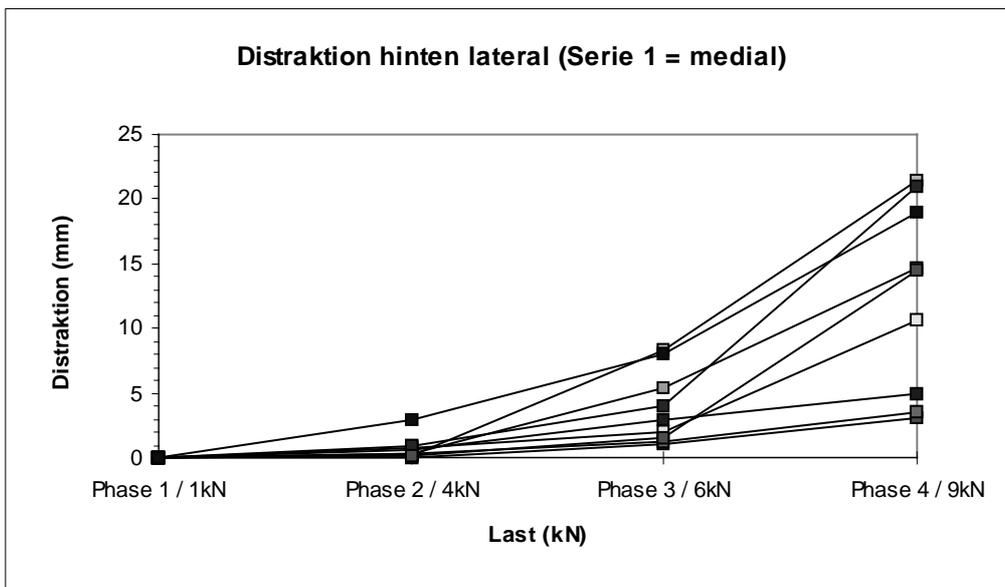
Diagr. 29: Einzelverläufe der Distraktion am Griffelbein hinten medial (1. Serie = medial)
(n = 9 Gliedmaßen)



Diagr. 30: Einzelverläufe der Distraktion am Griffelbein hinten medial (1. Serie = lateral)
(n = 9 Gliedmaßen)



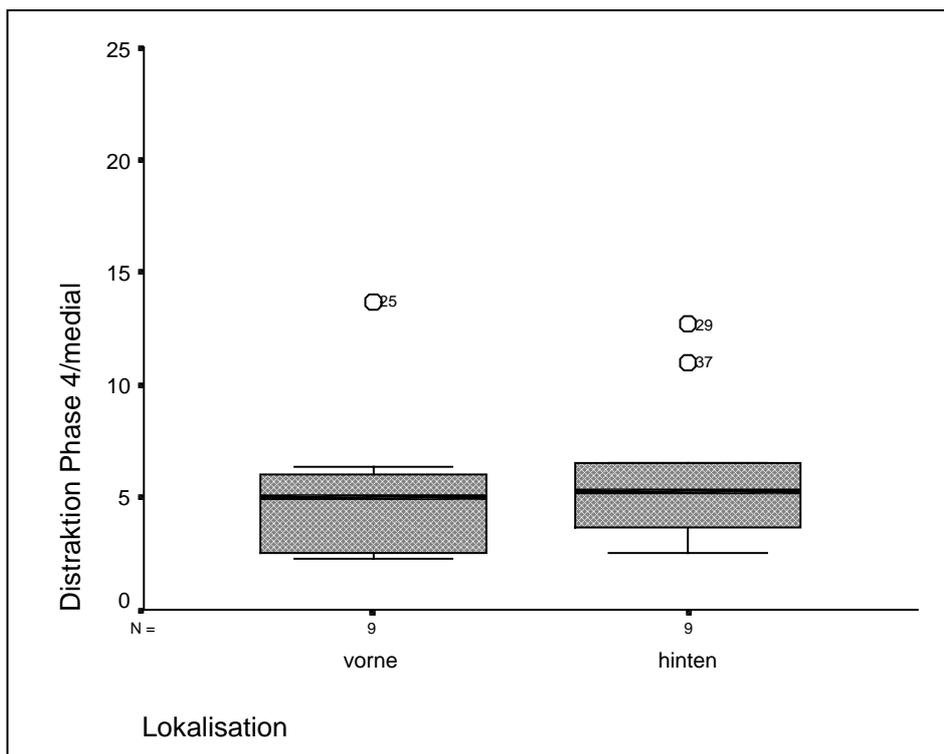
Diagr. 31: Einzelverläufe der Distraction am Griffelbein hinten lateral (1. Serie = lateral)
(n = 9 Gliedmaßen)



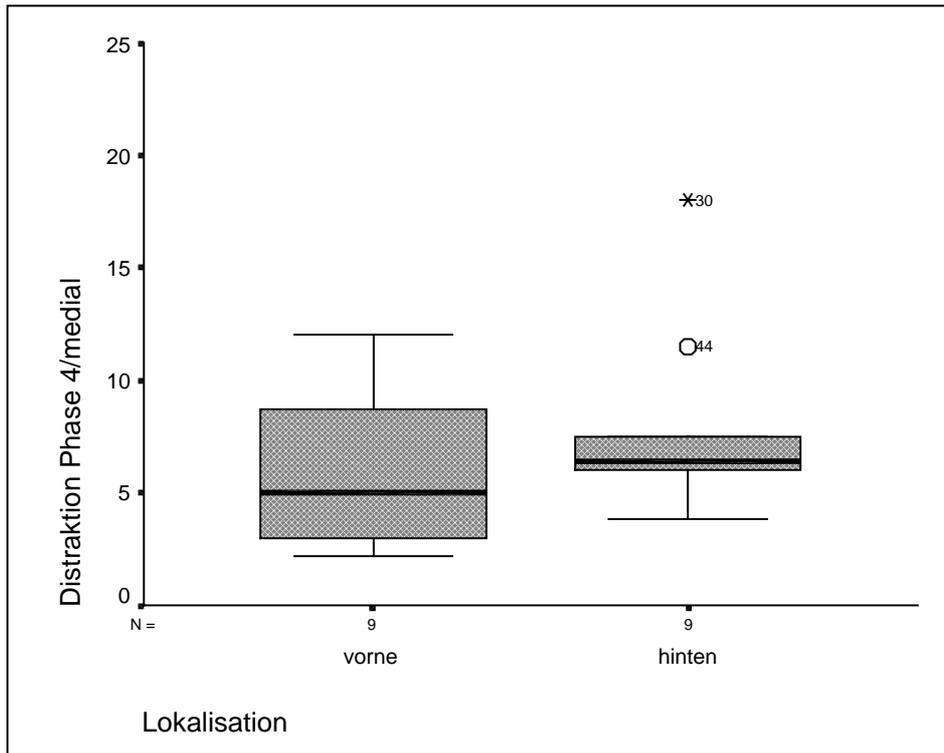
Diagr. 32: Einzelverläufe der Distraction am Griffelbein hinten lateral (1. Serie = medial)
(n = 9 Gliedmaßen)

	1. Serie			
	vorne medial	vorne lateral	hinten medial	hinten lateral
Median	5	2,7	5,3	3,5
Quartile	2,45 - 6,2	2,5 - 3,95	3,7 - 8,75	2,85 - 4
	2. Serie			
Median	5	4,3	6,4	14,5
Quartile	2,7 - 9,85	2,8 - 9,15	5,7 - 9,5	4,25 - 20

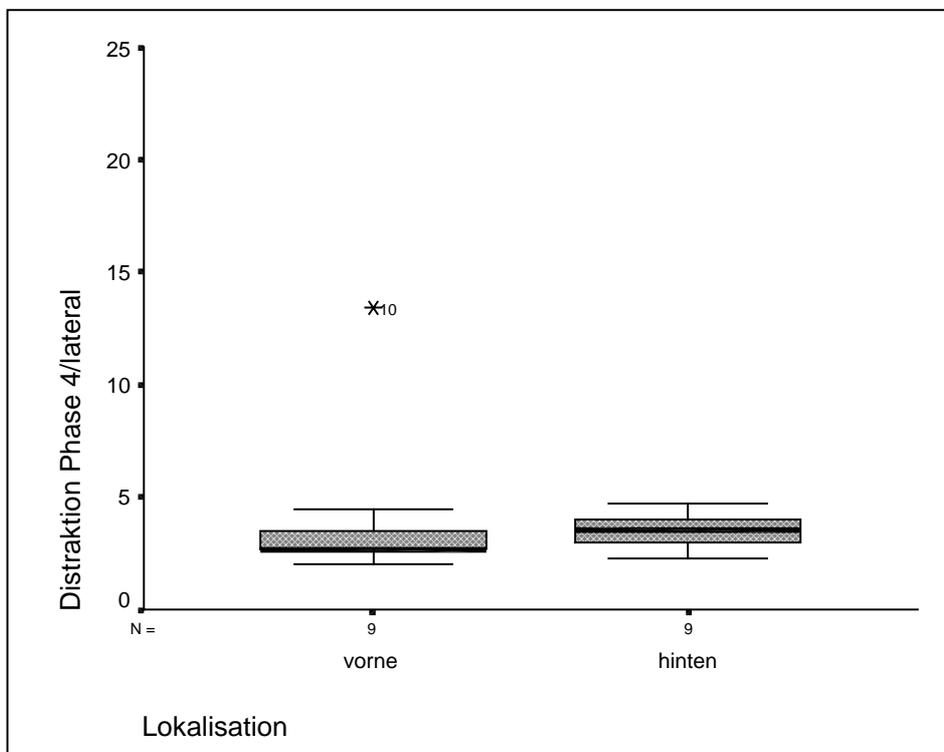
Tab. 12: Mediane sowie obere und untere Quartile der Distractionswerte in Phase 4 der verschiedenen Lokalisationen (n = 36 Gliedmaßen)



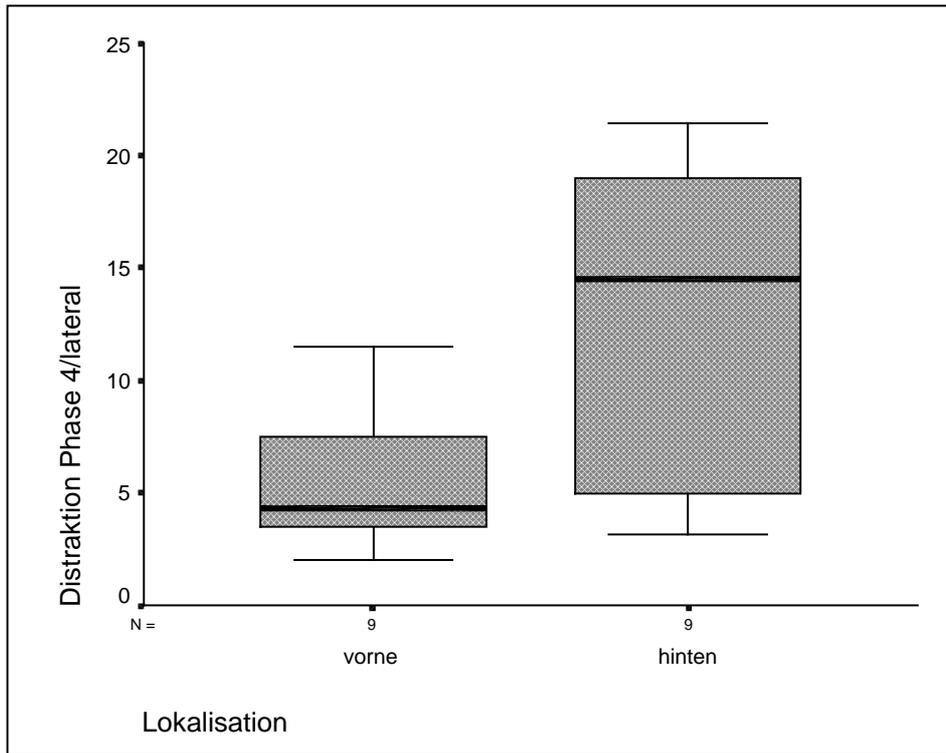
Diagr. 33: Distractionswerte am medialen Griffelbein in Phase 4 (1. Serie = medial) (n = 18 Gliedmaßen)



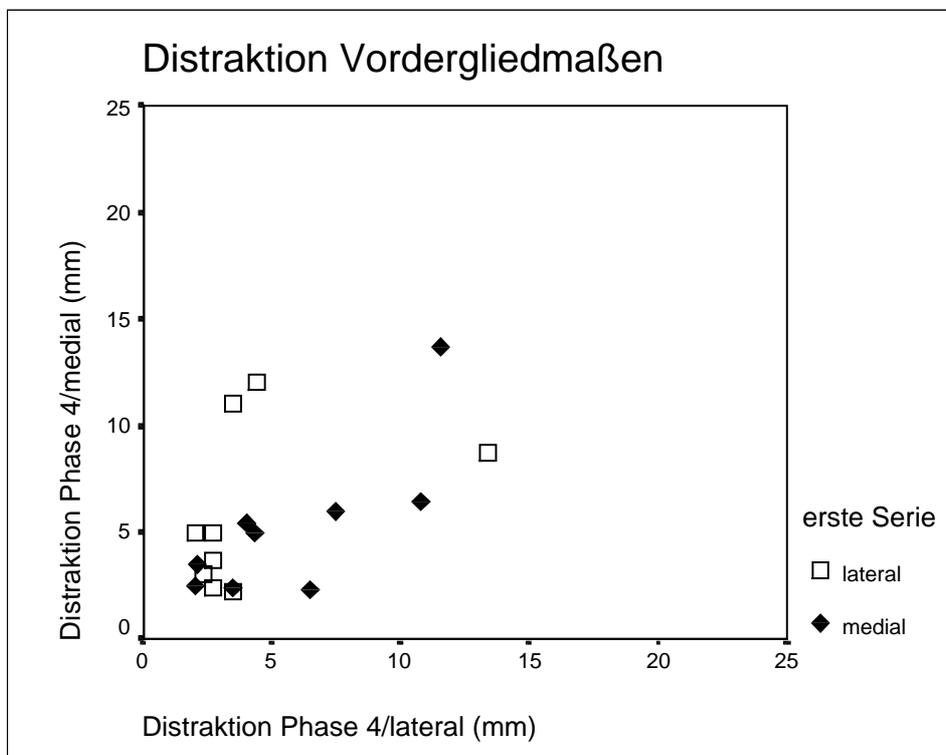
Diagr. 34: Distractionswerte am medialen Griffelbein in Phase 4 (1. Serie = lateral)
(n = 18 Gliedmaßen)



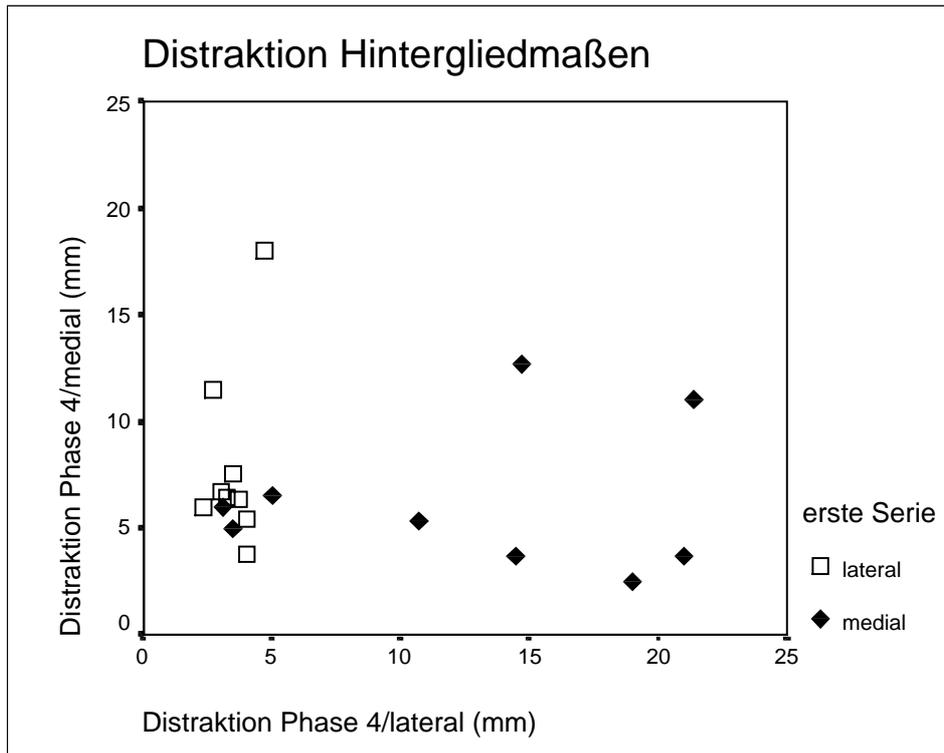
Diagr. 35: Distractionswerte am lateralen Griffelbein in Phase 4 (1. Serie = lateral)
(n = 18 Gliedmaßen)



Diagr. 36: Distractionswerte am lateralen Griffelbein in Phase 4 (1. Serie = medial) (n = 18 Gliedmaßen)



Diagr. 37: Distractionswerte an den Vordergliedmaßen in Phase 4 (n = 18 Gliedmaßen)



Diagr. 38: Distractionswerte an den Hintergliedmaßen in Phase 4 (n = 18 Gliedmaßen)

Betrachtet man die Fälle mit den höchsten Distractionswerten in Phase 4, so sind dies häufig Präparate, an denen äußerlich eine Beschädigung des Fesseltrageapparates im Zuge des Versuches wahrgenommen werden konnte.

Von 36 untersuchten Gliedmaßen konnte makroskopisch in 16 Fällen ein Elastizitätsverlust des M. interosseus medius bis hin zum Niederbrechen beobachtet werden. Dabei kam es in 6 Fällen (2x vorne / 4x hinten) während der 2. Versuchsserie und in 4 Fällen (3x vorne / 1x hinten) bereits während der 1. Versuchsserie zum kompletten Niederbrechen. Von den 6 Fällen hatten 5 der Gliedmaßen bei der 2. Serie Distractionswerte von > 10 mm (10,8 - 21,4 mm) und 3 Gliedmaßen bereits Werte von > 10 mm (11 - 13,4 mm) in der 1. Serie. Von den 4 Fällen konnten bei 3 Gliedmaßen Werte von > 10 mm (11 - 19 mm) in der 2. Serie und bei einer Gliedmaße ein Wert von 13,7 mm in der 1. Serie gemessen werden. Das Bild einer plastischen Deformation des M. interosseus medius bei Erhalt der Sehnenstruktur zeigten jeweils 3 Fälle während der 2. (1x vorne / 2x hinten) und 1. (2x vorne / 1x hinten) Versuchsserie. In diesen beiden Gruppen konnte bei je einer Gliedmaße ein Wert von > 10 mm (10,7 / 12 mm) gemessen werden. Bei den übrigen 20 Fällen konnte kein Elastizitätsverlust des M. interosseus medius im Zuge der Versuche festgestellt werden. Zwei dieser Gliedmaßen (2x hinten) zeigten

allerdings auch Werte von > 10 mm (11,5 / 14,5) bei der 2. Serie. Die Messwerte der übrigen Fälle lagen zwischen 2 und 10 mm.

Auch an der natürlich entstandenen doppelten Griffelbeinfraktur, die proximal in Form einer elefantenfußartigen Pseudarthrose und distal als Defektpseudarthrose abgeheilt war, kann man das Phänomen der Distraktion am Frakturspalt beobachten (Abb. 14). Der distale Bruchspalt erweitert sich unter Belastung von 2,25 mm auf 3,75 mm. Trotz einer anzunehmenden bindegewebigen Überbrückung der Defektlücke vergrößert sich diese um $\frac{2}{3}$ ihrer ursprünglichen Größe. Verbringt man die Gliedmaße schließlich in maximale Hyperflexion im Fesselgelenk, werden die Knochenenden der Pseudarthrose näher zusammengeschoben als sie sich bei einem Fesselgelenkwinkel in der Standposition befanden.

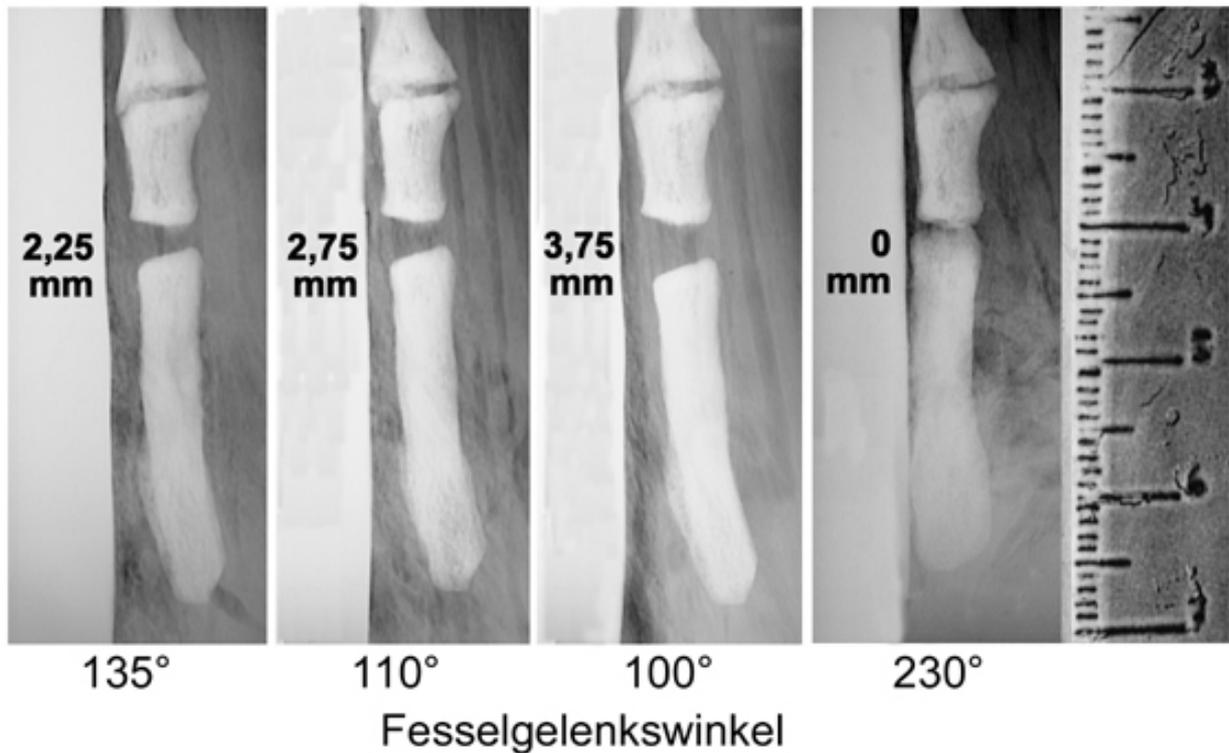


Abb. 14: Belastungsversuch einer natürlich entstandenen Griffelbeinfraktur

Die Überprüfung der Beziehung zwischen dem Ausmaß der Distraktion am künstlich erzeugten Frakturspalt und den Faktoren Hufwinkel und Gliedmaßenstellung der Präparate sowie Länge der erzeugten Fragmente erbrachte am untersuchten Material keine überzufälligen oder aber subjektiv auffälligen Zusammenhänge.

4.4. in vitro Versuche zur Deviationstheorie

Zunächst wurden die Übersichtstomogramme der Präparate angefertigt, um die Schnittebenen für das Abscannen der distalen Griffelbeinregion exakt planen zu können (Abb. 15). Die Gliedmaßen befanden sich dabei in maximaler Hyperextension, in ihrer physiologischen Standposition oder in maximaler Hyperflexion. Die jeweils auf exakt gleicher Höhe gewonnenen Schnittbilder wurden nebeneinander gestellt. Nun konnte der phasenabhängige Abstand zwischen den Griffelbeinen bestimmt werden (Abb. 16).

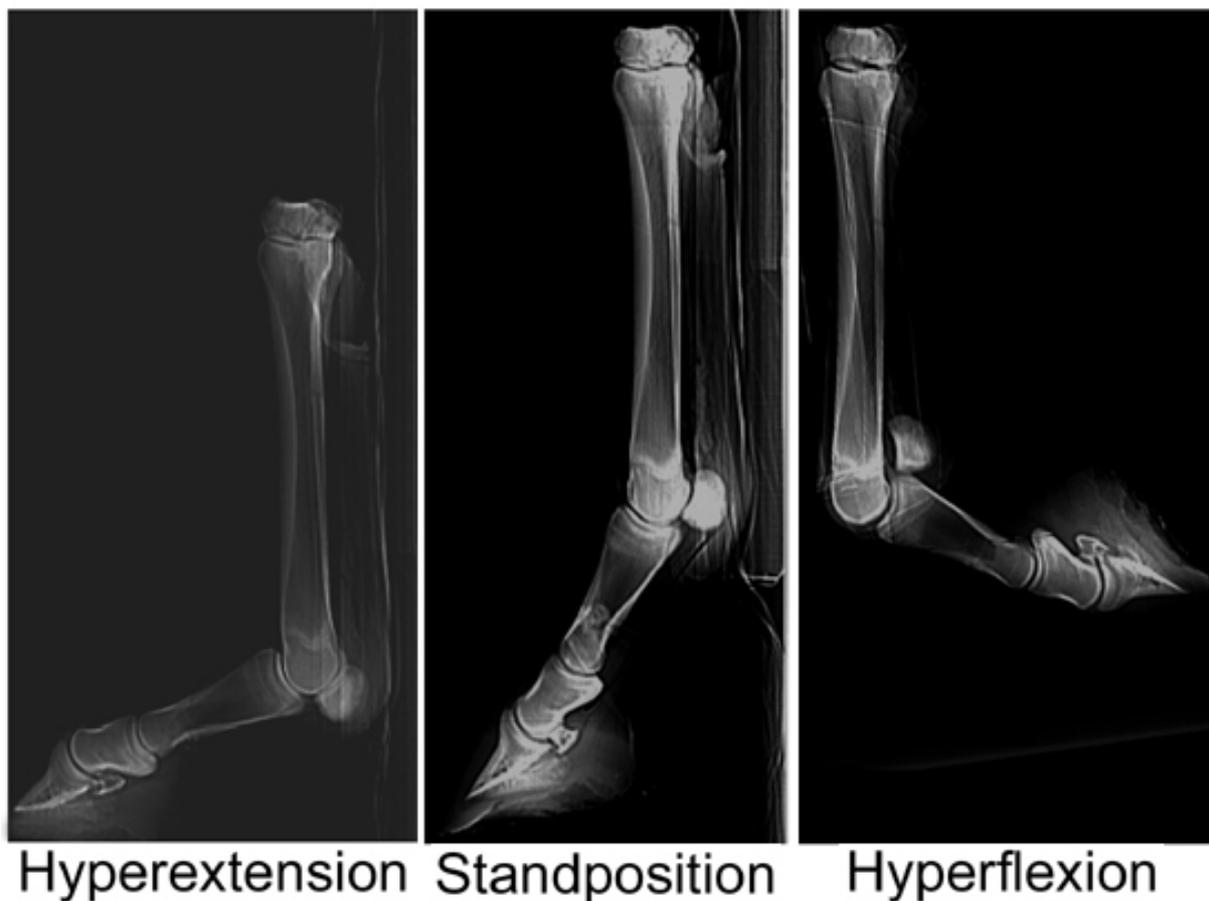


Abb. 15: Übersichtstomogramm der in verschiedenen Positionen eingefrorenen Präparate

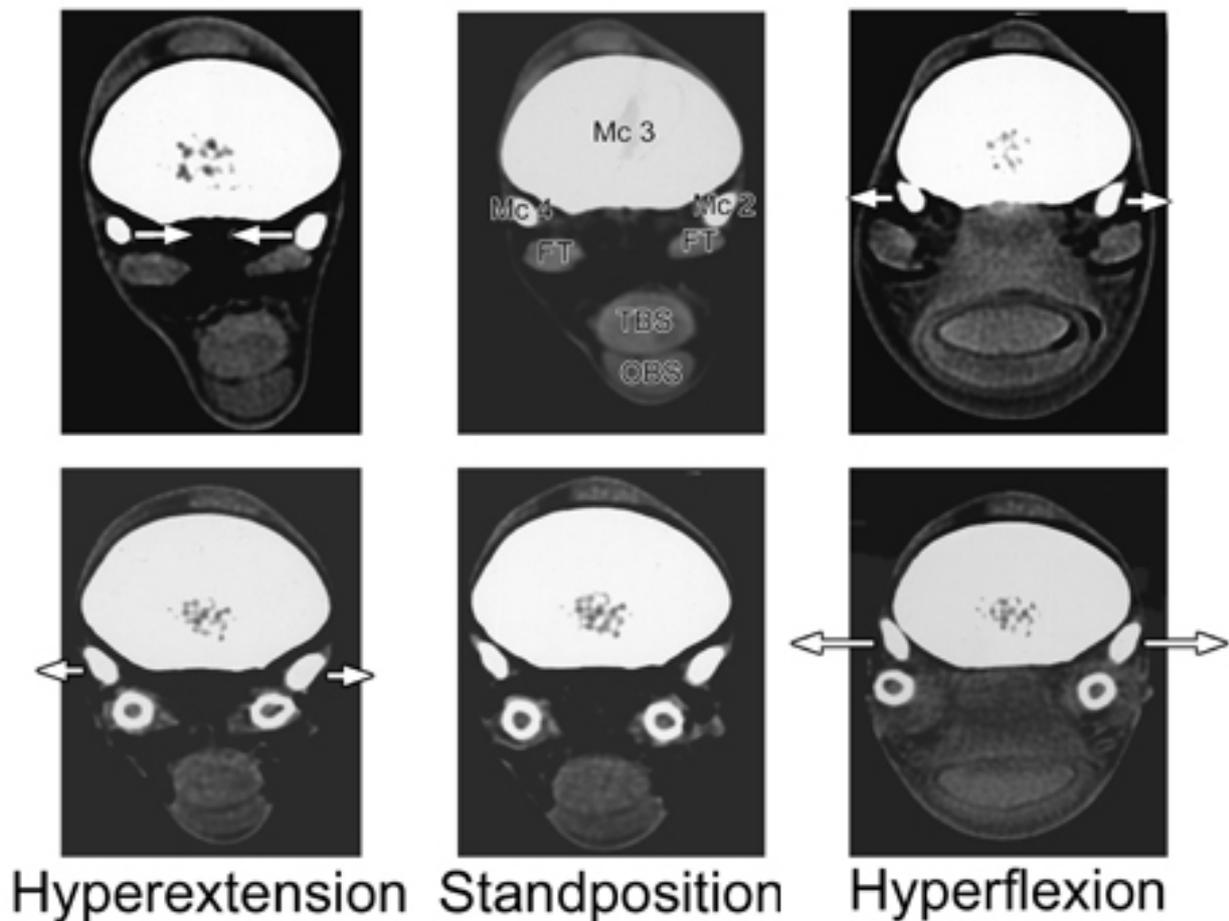


Abb. 16: CT-Schnittserien bei unveränderten (obere Reihe) und verdickten (untere Reihe) Schenkeln des M. interosseus medius

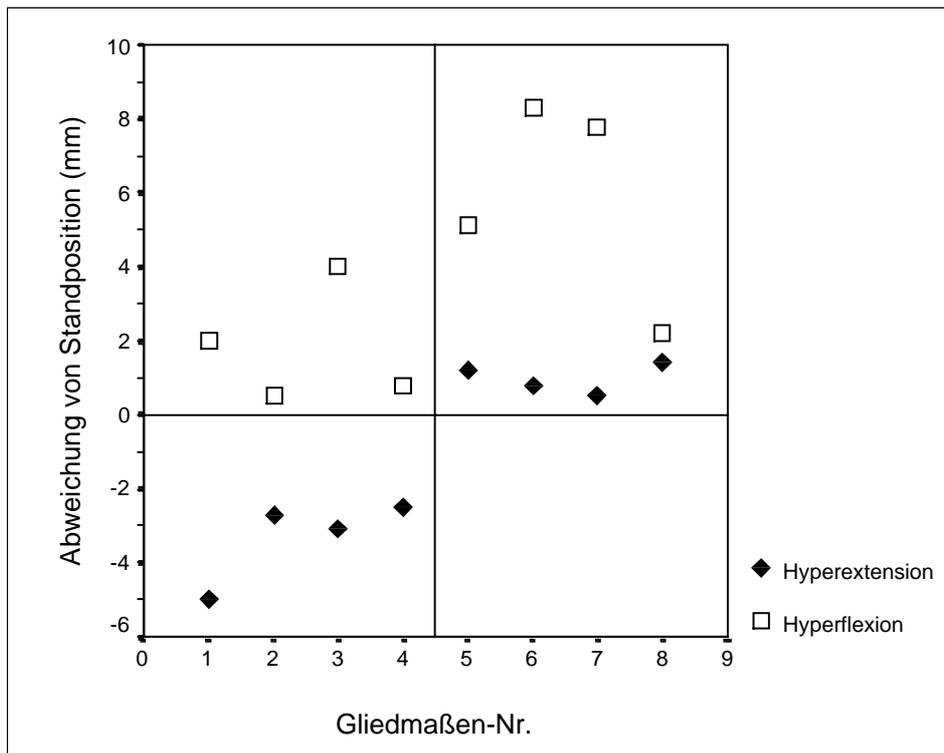
Die Gliedmaßen der beiden Gruppen zeigten hinsichtlich der Abweichung ihrer Griffelbeine von der Ruhestellung sowohl im Ausmaß und als auch in der Richtung ein unterschiedliches Verhalten (Tab. 13 u. 14). Ohne Manipulation am M. interosseus medius reagierten die Präparate auf das Verbringen in die maximale Stützbeinphase mit einer deutlichen Annäherung der Griffelbeinenden (MW: - 3,3 mm) und ließen bei der maximalen Beugung im Fesselgelenk ein leichtes Auseinanderweichen der Griffelbeine erkennen (MW: + 0,98 mm). Die Gliedmaßen mit künstlich verdickten Schenkeln des M. interosseus medius verhielten sich hiervon verschieden. Die maximale Hyperextension führte zu einem leichten Auseinanderweichen (MW: + 1,8 mm) und die maximale Hyperflexion zu einem deutlichen Spreizen der Griffelbeinenden (MW: + 5,85 mm) (Diagr. 39).

		Hyperextension			
Gliedmaßen-Nr.		Distanz MP 1	Distanz MP 2	Distanz MP 3	MW Dist.MP 1-3
FT o.B.	1	- 2,7	- 6,3	- 5,9	- 5
	2	- 3,4	- 2,3	- 2,3	- 2,7
	3	- 3,2	- 3	- 3	- 3,1
	4	- 2,7	- 2,5	- 2,3	- 2,5
FT m. UV	5	2,3	1,4	- 0,2	1,2
	6	1,5	0,4	0,6	0,8
	7	1	0,3	0,2	0,5
	8	1,5	1,5	1,2	1,4

Tab. 13: Abweichung der Griffelbeine von der Ruhestellung bei Hyperextension
(n = 8 Gliedmaßen)

		Hyperflexion			
Gliedmaßen-Nr.		Distanz MP 1	Distanz MP 2	Distanz MP 3	MW Dist.MP 1-3
FT o.B.	1	0,5	2,4	3	2
	2	0,8	0,3	0,3	0,5
	3	3,8	4,1	4,2	4
	4	1,1	0,6	0,8	0,8
FT m. UV	5	7	3,7	4,5	5,1
	6	9	7,6	8,2	8,3
	7	8,9	7,8	6,7	7,8
	8	2,3	2,5	1,7	2,2

Tab. 14: Abweichung der Griffelbeine von der Ruhestellung bei Hyperflexion
(n = 8 Gliedmaßen)



Diagr. 39: Belastungsabhängige Bewegung der Griffelbeine aus ihrer Ruhestellung (n = 8 Gliedmaßen)

Betrachtet man die räumliche Beziehung des M. interosseus medius zu den Griffelbeinen, so ist festzuhalten, dass bei Fällen mit einer Annäherung der freien Griffelbeinenden während der Hyperextension eine direkte Berührung eintrat und an Präparaten, die ein deutliches Spreizen der Griffelbeine während der Hyperflexion erkennen ließen, ein Kontakt der beiden Strukturen ausbleiben konnte. Die Schenkel des M. interosseus medius lagen dann abaxial und palmar der Griffelbeine.

Ein Einfluss des Hufwinkels oder der Gliedmaßenstellung auf das Ausmaß oder die Richtung der Bewegung der freien Griffelbeinenden konnte am untersuchten Material nicht gezeigt werden.

4.5. **in vitro Versuche mittels Niederbrechen**

Die von BUKOWIECKI et al. (1987) beschriebene Beobachtung einer Griffelbeinfraktur, welche in Begleitung eines Niederbrechens im Fesseltrageapparat eintritt, konnte bestätigt werden. Von den 8 Gliedmaßen mit unveränderter Fascia digiti zeigten 5 Gliedmaßen an insgesamt 6

Griffelbeinen das Bild einer Abrissfraktur des Griffelbeines. Keines der Präparate mit durchschnittener Fascia digiti wies diesen Befund auf (Tab. 14). Die Präparate zeigten dabei das klinische Erscheinungsbild eines Niederbrechens (Abb. 17). In allen Fällen war eine Zusammenhangstrennung des M. interosseus medius mit distaler Verlagerung der Gleichbeine die Folge (Abb. 18). Eine Fraktur der Gleichbeine kam nicht zustande.

Anzahl		Griffelbeinfraktur				Gesamt
		nein	medial	lateral	lateral u. medial	
Faszie	nein	8				8
intakt	ja	3	1	3	1	8
Gesamt		11	1	3	1	16

Tab. 15: Häufigkeit einer spontanen Griffelbeinfraktur nach einmaliger Belastung (n = 8 Gliedmaßen)



Abb. 17: Klinisches Bild eines Niederbrechens (Foto: Prof. Dr. B.W. Hertsch)



Abb. 18: Tangentiale Röntgenaufnahme vor und nach Belastung bis zum Niederbrechen

5 DISKUSSION

In den Lehrbüchern der Orthopädie des Pferdes ist eine uneinheitliche Darstellung zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur, beschrieben. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Klärung der Ursachen und der Vorgänge, die zu diesem Krankheitsbild führen können, zu leisten. Dabei gilt dem Zusammenhang zwischen einer intensiven und regelmäßig wiederkehrenden Belastung des Fesseltrageapparates und der Erkrankung des distalen Griffelbeinabschnittes besondere Aufmerksamkeit. Die in der anatomischen Literatur teilweise sehr unterschiedlich beschriebenen Weichteile, die einen Bezug zum distalen Griffelbein haben und ihr Einfluss auf das regelmäßig zu beobachtende Phänomen der Distraction der Frakturenenden sollen untersucht werden.

5.1. Anmerkungen zu Material und Methoden

Für die anatomischen Präparationen und die in vitro-Versuche wurden Gliedmaßen von Schlachtpferden verwendet, die im Vorder- oder Hinterfußwurzelgelenk abgetrennt waren. Haut und Huf waren ansonsten unverändert. DE MOOR et al. (1984) entfernen vor ihren Versuchen die Haut, um die Adspektion der seitlichen Bewegungen der Griffelbeine unter Belastung zu ermöglichen. Die Gliedmaße mit vorberichtlich bekannter Griffelbeinfraktur bleibt vor dem Belastungsversuch unverändert. BUKOWIECKI et al. (1987) enthäuten die von ihnen untersuchten Gliedmaßen ebenfalls, setzen sie aber zusätzlich noch im Krongelenk ab und entfernen die oberflächliche und die tiefe Beugesehne. Diese Manipulationen an den Weichteilstrukturen der Gliedmaßen kann als ursächlich für die unterschiedlichen Interpretationen der Autoren angesehen werden, worauf später noch eingegangen wird.

Zur Belastung der Gliedmaßen wurde eine mechanische Presse konstruiert, die dem von NEUBERTH (1990) beschriebenen Belastungsgerät nachempfunden wurde. BUKOWIECKI et al. (1987) hingegen verwenden eine elektronisch gesteuerte Zug-Druck-Testmaschine (Fa. Tinius Olsen, Göteborg, Schweden), welche jedoch keine schnellen Belastungszyklen ausführen kann. Daher liegt die Dauer einer Versuchsserie bei 4 bis 5 Minuten. Trotz einer instrumentell weniger aufwendigen Methodik konnte im Distractionsexperiment der vorliegenden Arbeit ein schnellerer Versuchsablauf erreicht werden. Eine Versuchsserie mit der Anfertigung von 4 Röntgenaufnahmen konnte in 2 bis 3 Minuten vollzogen werden. DE MOOR et al. (1984)

führen ihre Versuche ebenfalls mit einer nur langsam arbeitenden Belastungspresse durch, geben jedoch keine detaillierten Schilderungen zu deren Aufbau.

Bedingt durch die Verwendung einer mechanischen Presse und eines hydraulischen Wagenhebers müssen die Versuchsbedingungen als nicht natürlich angesehen werden, da die Kraftübertragung auf die Gliedmaße wesentlich langsamer erfolgt, als unter Verhältnissen *in vivo*. In Anlehnung an KINGSBURY et al. (1978) ist jedoch davon auszugehen, dass eine Übertragung der Beobachtungen von *in vitro*-Versuchen auf natürliche Verhältnisse durchaus berechtigt ist, sofern es im Versuch zu keiner plastischen Deformation des Sehnenapparates kommt. Dies kann bei langsamer und langandauernder Kraftanwendung auf die Versuchsgliedmaße der Fall sein. In diesen Untersuchungen kam eine servo-hydraulische Hochgeschwindigkeitspresse (Instron, Canton, MA, U.S.A.) zum Einsatz, so dass ein versuchsbedingter Elastizitätsverlust nur ein Mal eintrat. Aus diesem Grunde ist der Wechsel der Seite, mit der im Distraktionsversuch der vorliegenden Arbeit begonnen wurde, als Vorkehrung gegen eine Fehlbewertung der Ergebnisse von großer Bedeutung.

Bei den *in vitro*-Versuchen wurden die Parameter für die Belastung der Gliedmaßen gemäß den Angaben in der Literatur gewählt. Legt man die Ergebnisse von GEARY (1975) und SCHRYVER et al. (1978) zugrunde, so kann man die maximal einwirkende, vertikale Hufkraft für den Schritt (72 m/min) mit dem 0,6-fachen, für den Trab (174 m/min) mit dem 0,9-fachen und für den Galopp (840 m/min) mit dem 1,7-fachen des Körpergewichtes veranschlagen. Pferde mit einem Körpergewicht von 400 - 500 kg erfahren somit in der entsprechenden Gangart eine momentane Spitzenbelastung ihrer distalen Gliedmaßen von 2,4 - 2,9 kN, 3,5 - 4,4 kN bzw. 6,7 - 8,3 kN. Die im Distraktionsversuch angewandte, steigende Kraft von 1, 4, 6 und 8 - 9 kN kann daher in Phase 2 mit einer Belastung im langsamen Trab und in Phase 3 und 4 mit einer Belastung im schnellen Galopp verglichen werden. Als zweite Möglichkeit, um die natürlichen Verhältnisse und die Versuchsbedingungen miteinander zu vergleichen, dient der dorsale Fesselgelenkwinkel. Für den Trab (480 m/min) zeigen QUDDUS et al. (1978) eine Abnahme von 165° auf 135°, JOHNSTON et al. (1995) und JOHNSTON et al. (1996) bei höherem Tempo (660 m/min) sogar eine Verringerung von 160° auf bis zu 100°. Im Galopp (840 m/min) finden GEARY (1975) und KINGSBURY et al. (1978) eine Abnahme bis auf 104°. Auf dieser Basis können die Winkeländerungen in Phase 2 des Distraktionsversuches (130 - 140°) mit einer Belastung im zügigen Trab und die der Phasen 3 und 4 (115 - 125° bzw. 100 - 110°)

mit einer Belastung im Rennt Trab oder schnellem Galopp verglichen werden. Eine direkte Gleichsetzung der Messergebnisse, die anhand von isolierten Gliedmaßen in einer statischen Versuchsanordnung erhoben werden, mit den Beobachtungen unter natürlichen Verhältnissen muss jedoch unterbleiben, da ein Einfluss der unphysiologischen Belastungsdauer mit maximalen Kraftwerten auf den elastischen Sehnen- und Bandapparat angenommen werden muss.

Da sich das Phänomen der Distraction der Frakturenenden am klinischen Patienten lediglich im Bereich weniger Millimeter bewegt, wurde zur Versuchsdokumentation der Feinfocus-Vergrößerungs-Röntgentechnik der Vorzug gegenüber der konventionellen Radiographie gegeben. Die Deckungsgleichheit der am vergrößerten Objekt gemessenen und anschließend durch den Vergrößerungsfaktor dividierten Werte mit denen, die auf dem gleichzeitig mit dem Objekt vergrößerten Maßstab abzulesen waren, zeigt die Genauigkeit der Methodik. DE MOOR et al. (1984) können das Distractionphänomen an einer Gliedmaße eines Pferdes, das aufgrund einer Tendopathie des M. interosseus medius euthanasiert wurde und am benachbarten Griffelbein eine gedeckte, distale Fraktur aufwies, ebenfalls im Belastungsexperiment zeigen. Sie verwenden jedoch die konventionelle Röntgentechnik.

Zur Untersuchung der Bewegung der Griffelbeine in seitlicher Richtung ist die Computertomographie besonders geeignet, da sie eine exakte Bestimmung der Position des jeweiligen Griffelbeins in Bezug zu den umliegenden anatomischen Strukturen erlaubt. Auf diese Weise war es möglich die belastungsabhängige Lageveränderung einer definierten Stelle des Griffelbeins exakt zu bestimmen. Die Manipulation der Gliedmaße durch das Einfrieren bis zum Zeitpunkt der Untersuchung kann als unbedeutend für das Versuchsergebnis angesehen werden. DIETZ et al. (1963) beschreiben ebenfalls die seitliche Bewegung des Griffelbeins während der Bewegung der Gliedmaße, machen jedoch keine Angaben zu Versuchen, welche ihre These untermauern. DE MOOR et al. (1984) stellen bei der Adspektion der Gliedmaßen während des Belastungsversuches eine Bewegung der Griffelbeine fest, können diese allerdings mittels Röntgenaufnahmen in dorso-palmarem Strahlengang nicht messen. Ein weiterer Vorteil der vorgestellten Untersuchung gegenüber den Methoden der anderen Autoren ist, dass die Gliedmaßenpräparate nicht enthäutet werden mussten und somit die am Griffelbein ansetzenden Weichteilstrukturen nicht zerstört wurden.

Die einmalige Überlastung des Fesseltrageapparates bis zum Niederbrechen führt in einigen Fällen der Versuche von BUKOWIECKI et al. (1987), DE MOOR et al. (1984) und ebenfalls der vorgestellten Arbeit zu einer Fraktur des distalen Griffelbeinabschnittes. Im Gegensatz zu BUKOWIECKI et al. (1987) wurden die Gliedmaßen in der vorliegenden Arbeit vor dem Versuch nicht enthäutet. DE MOOR et al. (1984) machen hierzu keine Angaben.

5.2. Anatomie der Regio metacarpi und metatarsi

Die von RUDERT (1901) aufgezeigte Längendifferenz zwischen dem medialen und dem lateralen Griffelbein, die von den übrigen Autoren des anatomischen Schrifttums im gleichen Sinne beschrieben wird, kann auch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Jedoch untersucht RUDERT (1901) mit 768 Gliedmaßen eine deutlich größere Anzahl an Präparaten und findet bei 52,5 % der Vordergliedmaßen das mediale und bei 44,5 % der Hintergliedmaßen das laterale Griffelbein als das längere vor. Vorne waren bei 39,5 % und hinten bei 32 % der Präparate die Verhältnisse umgekehrt, die übrigen Gliedmaßen wiesen Griffelbeine von gleicher Länge auf. In der eigenen Untersuchung kamen 84 Gliedmaßen zur Auswertung, wovon bei 62 % der Vordergliedmaßen das mediale und bei 58,8 % der Hintergliedmaßen das laterale Griffelbein länger ausgeprägt war. In 20 % der vorderen und 23,5 % der hinteren Gliedmaßen war der Befund umgekehrt und in den übrigen Fällen lag gleiche Länge vor. Ob allein die unterschiedliche Anzahl der untersuchten Präparate dafür verantwortlich ist, dass die Differenz zwischen medialer und lateraler Seite bei der vorliegenden Untersuchung mehr auffällt oder ob sich die heutigen Pferde tatsächlich von den durch RUDERT (1901) untersuchten unterscheiden, kann wegen der fehlenden Angaben zur Rasse in beiden Untersuchungen nicht beantwortet werden.

Der Ursprung der Mm. interosseus medialis und lateralis palmar bzw. plantar und axial der Griffelbeinköpfchen und ihr Verlauf in distaler Richtung entlang des Griffelbeinschaftes wurde an den präparierten Gliedmaßen übereinstimmend mit der Beschreibung im Schrifttum vorgefunden. Das Ausstrahlen ihrer Endsehnen in die obere dorsale Fesselbinde hinein beschreiben SCHMALTZ (1919 u. 1939) und KADLETZ (1931 u. 1932). Insbesondere KADLETZ (1932) liefert durch seine Arbeit sehr detaillierte Informationen durch Zeichnungen in verschiedenen Stadien der Präparation und ein sehr ausführliches Bänder- und Sehnenschema zum Aufbau der Pferdezehe. SCHMALTZ (1919) bietet ebenfalls mehrere Ansichten der Präparation.

Der konkrete Zusammenhang zwischen der Endsehne des rudimentären Zwischenknochenmuskels und der oberen dorsalen Fesselbinde ist jedoch bei SCHMALTZ (1939) wesentlich klarer festgehalten. Von einer Beziehung zum Verbindungsschenkel des *M. interosseus medius* zur Strecksehne und zur Strecksehne selbst berichtet BARONE (1968). GRAHAME (1946) schildert lediglich das Enden der Struktur in der Nachbarschaft des Fesselgelenkes und DIETZ et al. (1963) machen hierzu überhaupt keine Angaben. Nur bei ZIETZSCHMANN und GRAU (1943) ist eine Verbindung der Endsehnen zum Sporn in Form einer Sporn-Griffelbeinsehne dargestellt. Diese Auffassung wird von KOCH und BERG (1992) sowie von SEIFERLE und FREWEIN (1992) übernommen, letztere sprechen jedoch von einem Sporn-Griffelbeinband. Das von SISSON (1975 b) und DE MOOR et al. (1984) beschriebene Auslaufen der Sehnenfasern in der Fazie auf Höhe des Fesselgelenkes, wird durch die vorliegende Untersuchung bestätigt. SISSON (1975 b) bezieht sich allerdings auf die Abbildung von SCHMALTZ (1919), in der das Enden in der oberen dorsalen Fesselbinde dargestellt wird. DE MOOR et al. (1984) fügen ihrer Schilderung keine Abbildung hinzu. Die distalen Endsehnen der *Mm. interosseus medialis* und *lateralis* aller 84 untersuchten Gliedmaßen konnten eindeutig und auf stets gleiche Weise verfolgt werden. Dies war jedoch nur möglich nach vorsichtiger Identifikation der Faszienstrukturen im Bereich des Fesselgelenkes bei schichtweiser Präparation. Nach der Entfernung der oberflächlichen Schicht der *Fascia digiti* folgt als nächstes deren tiefe Schicht. Unter dieser kann man im Bereich des Griffelbeinschaftes die dünnen Endsehnen durchschimmern sehen. Durch Einschneiden der tiefen Faszien-schicht in Längsrichtung legt man die Endsehne frei und kann sie nun distal verfolgen. Hat man die tiefe Faszie im Bereich zwischen dem Griffelbein und dem proximalen Fesselbein bei der Präparation nicht zerstört, ist unter ihr der weitere distale Verlauf der Endsehnen des Zwischenknochenmuskels zu erahnen. Die feine Verflechtung der sehr dünnen Faserchen dieser Endsehnen und der inneren Anteile der tiefen Schicht der *Fascia digiti* kann nur beobachtet werden, wenn man letztere scharf vom Griffelbeinknöpfchen trennt und distal wegklappt. Dann wird jedoch das distale Ende der *Mm. interosseus medialis* bzw. *lateralis* klar sichtbar und eindeutig von der weiter in der Tiefe folgenden oberen dorsalen Fesselbinde abgrenzbar. Die auch von SCHMALTZ (1939) gezeichnete und von DE MOOR et al. (1984) beschriebene bindegewebige Verbindung zwischen der Endsehne und dem Griffelbeinknöpfchen ließ sich ebenfalls darstellen. Das an dieser Stelle gefundene Weichteilpolster, aus welchem sich beim Anschnitt seröse Flüssigkeit entleerte, wurde in der bisherigen Literatur nicht beschrieben. Diesem scheint die Funktion eines Gleitschutzes für die bewegliche Endsehne der *Mm.*

interosseus medialis bzw. lateralis beim Vorbeigleiten am starren Griffelbeinknöpfchen zuzukommen. Seine Aufgabe ist daher die eines Schleimbeutels. Histologische Untersuchungen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt, könnten aber möglicherweise zur weiteren Klärung hilfreich sein.

In den meisten Beschreibungen der distalen Griffelbeinregion wird auf die Faszienverhältnisse nicht näher eingegangen. Dies führt, wie anhand der rudimentären Mm. interosseus medialis bzw. lateralis bereits zu sehen war, häufig zu widersprüchlichen Angaben in der Literatur. FREWEIN (1967) liefert für die Mittelfußregion eine exakte Darstellung der Fascia metacarpi palmaris und beschreibt deren Aufspaltung in ein schwächeres, oberflächliches und ein stärkeres, tiefes Blatt auf Höhe des Fesselgelenkes. Ein Bezug zu knöchernen Ansatzpunkten wie dem Griffelbeinknöpfchen wird dabei nicht angesprochen. Jedoch hebt der Autor die auffällige Wandstärke der tiefen Faszien-schicht hervor, wodurch für die distal ziehenden Leitungsbahnen ein Kanal zwischen der oberflächlichen und tiefen Schicht der Fascia digiti auch bei Bewegung des Fesselkopfes offengehalten wird. Auch SEIFERLE und FREWEIN (1992) äußern sich nicht zu einer Verbindung zwischen der Faszie und dem Griffelbeinknöpfchen. Sie unterscheiden ebenfalls ein schwaches, oberflächliches und ein kräftiges, tiefes Blatt, welches auf der Palmarseite zum Fesselringband und zur vierzipfeligen Fesselplatte verstärkt ist. Die Faszienverstärkung auf der Dorsalseite wird von KÖHLER (1903) als platter Sehnenzug benannt. Die Beschreibung stimmt mit der Lage der oberen dorsalen Fesselbinde überein, wobei der Autor diesen Begriff nicht verwendet. Das proximale Ende dieser Faszienverstärkung zeichnet er am Hinterrand des Griffelbeinknöpfchens, welches selbst aber frei stehend und unabhängig vom umliegenden Bindegewebe dargestellt ist. DENOIX (1996) hebt in seinen Abbildungen die vom palmaren Karpus kommende Verstärkung der Fascia metacarpi palmaris hervor. Sie zieht medial und lateral schräg von proximal an den Griffelbeinschaft bis zu dessen Mitte. Der distale Abschnitt des Griffelbeines wird von ihr nicht erreicht. ROONEY (1969) nimmt auf diese Faszienverstärkung ebenfalls Bezug und sieht in ihr die auslösende Struktur für eine distale Griffelbeinfraktur an den Vordergliedmaßen. In seiner Schemazeichnung zur Theorie über den mechanischen Prozess einer Griffelbeinfraktur zeichnet er den Verlauf der Faszie bis ans distale Ende des Griffelbeines und stellt die deutliche Auslenkung des Griffelbeinknöpfchens aus seiner Ruheposition bei Hyperextension im Karpus dar. Für die Abläufe, die an den Hintergliedmaßen zu einer distalen Griffelbeinfraktur führen, bietet er allerdings keine Erklärung.

DE MOOR et al. (1984) entdecken während ihrer in vitro Versuche zur abaxialen Bewegung der distalen Griffelbeine unter Belastung eine ihnen bislang unbekannte Bindegewebsstruktur, welche sie als ein Band interpretieren, das am Griffelbeinknöpfchen inseriert und distal zieht. Diese Struktur sei stets anzutreffen und könne besonders deutlich bei Hyperextension des Fesselgelenkes gesehen werden. Die Autoren benennen die Struktur als distales Griffelbeinband. BUKOWIECKI et al. (1987) und BRAMLAGE et al. (1989) beschreiben diese Struktur ebenfalls. Die Gliedmaßen ihrer Studie zur Belastbarkeit des Fesseltrageapparates wurden, wie auch bei DE MOOR et al. (1984) enthäutet, und zusätzlich waren die oberflächliche und tiefe Beugesehne entfernt. Mit zunehmender Belastung des Gliedmaßenpräparates in der Presse stellte sich dann am Griffelbeinknöpfchen ein kleiner, bandartiger Bindegewebsstrang dar, der sein distales Ende in der Region der abaxialen Gleichbeine hatte. DE MOOR et al. (1984) sehen in diesen Bindegewebssträngen die Auslöser für das nach einem gedeckten, distalen Griffelbeinbruch regelmäßig zu beobachtende Phänomen der Distraction der Frakturenenden und in Übereinstimmung mit BUKOWIECKI et al. (1987) und BRAMLAGE et al. (1989) die eigentliche Ursache für das Zustandekommen der Fraktur. Das Krankheitsbild ist somit als eine belastungsabhängige Abrissfraktur des Griffelbeines an seiner dünnsten Stelle zu erklären.

Bereits bei OELKERS (1907) findet diese Bindegewebsstruktur Erwähnung. Er spricht jedoch von einem kräftigen Sehnenzug, welcher am Griffelbeinknöpfchen inseriert und sich entlang des benachbarten Schenkels des M. interosseus medius distal ausbreitet. Seine Fasern können mit denen des M. interosseus medius verwoben sein. Auf diese Weise verstärkt, breitet sich dieser Sehnenzug fächerförmig distal aus und liegt der Seitenfläche des Fesselgelenkes als breite Bindegewebsplatte auf. Schließlich verbindet sich dieser Sehnenzug dorsal mit der Strecksehne, in deren Fixation OELKERS (1907) seine anatomische Funktion sieht.

Diese von OELKERS (1907), DE MOOR et al. (1984), BUKOWIECKI et al. (1987) und BRAMLAGE et al. (1989) auf verschiedene Weise beschriebene Bindegewebsstruktur konnte auch an den Gliedmaßen der vorliegenden Studie gefunden werden. Die zum Griffelbeinknöpfchen ziehenden Faserzüge konnten allerdings in allen Fällen der tiefen Schicht der Fascia digiti zugeordnet werden. Im palmaren Bereich der distalen Röhre und des Fesselgelenkes wurde der Verlauf der Faszie wie von FREWEIN (1967) beschrieben, vorgefunden. So ließ sich die tiefe Schicht der Faszie, nachdem sie die oberflächliche und die tiefe Beugesehne umschlossen hat, an deren vorderen Rand in die Tiefe verfolgen. Nach Hervortreten aus dem

Spalt zwischen der tiefen Beugesehne und dem M. interosseus medius kommt es jedoch auf Höhe des distalen Griffelbeinendes zu einer festen Verbindung der tiefen Faszien- schicht mit dem Griffelbeinknöpfchen, in dessen porenreiches Knochengewebe die Faszienfasern inserieren. Diese Darstellung ist weder bei FREWEIN (1967) noch bei einem anderen Autor des anatomischen Schrifttums zu finden. Dabei müsste bereits die am mazerierten Knochen auffällige poröse Struktur des Griffelbeinknöpfchens und seine sehr variable Ausgestaltung bei verschiedenen Präparaten Anlass genug sein, nach der Insertion einer Bindegewebsstruktur zu forschen. Andernfalls müsste das Griffelbeinknöpfchen, hätte es keinen Bezug zum umliegenden Bindegewebe, eine glatte, kompakte Knochenoberfläche wie der freiliegende Griffelbeinschaft aufweisen. Im Bereich des mittleren Röhrlbeins setzt sich die tiefe Schicht der Faszie der Seitenkante des M. interosseus medius und dem Griffelbeinschaft locker anliegend dorsal fort, um im weiteren Verlauf dem Röhrlbein und der Strecksehne aufzuliegen. Vom Griffelbeinknöpfchen distal ziehend nimmt die tiefe Faszien- schicht einen fächerförmigen Verlauf und wird dadurch zu der von OELKERS (1907) beschriebenen breiten Bindegewebsplatte. Durch die Vereinigung der lateralen und medialen Anteile der tiefen Faszien- schicht im Bereich der Gleichbeine und der Fesselbeuge entsteht somit das Bild einer tragegürtähnlichen Aufhängung für den Fesselkopf. Selbst wenn der dünnen, tiefen Schicht der Zehenfaszie wohl kaum eine tragende Rolle für die Fessel zufallen kann, so wird durch die exakte Darstellung der Anatomie doch die funktionelle Abhängigkeit des Griffelbeines zur Gleichbein- und Fesselgelenksregion deutlich. Auf diese Weise lässt sich auch die Beobachtung von OELKERS (1907) erklären, auf die sich auch DIETZ et al. (1963) berufen, dass sich krankhafte Prozesse des Fesseltrageapparates auf die Griffelbeine fortsetzen können. Bei sorgfältiger Präparation der Faszien- schichten kann auch der von FREWEIN (1967) beschriebene Kanal für die Leitungsbahnen der distalen Zehe in der Gleichbeinregion vorgefunden werden. In der konkaven abaxialen Fläche der Gleichbeine bilden die tiefe und oberflächliche Schicht der Zehenfaszie ein Kompartiment, durch das die Gefäße und Nerven der Zehe geschützt distal ziehen können. Möglicherweise ist die feste Struktur der tiefen und die eher lockere Bauweise der oberflächlichen Schicht der Faszie und ihre gegenseitige Verschiebbarkeit dafür verantwortlich, dass die Leitungsbahnen bei den starken Bewegungen des Fesselgelenkes nicht beschädigt werden.

Die Ursache für die voneinander sehr abweichende Darstellung und Benennung der Weichteile der distalen Griffelbeinregion ist in dem unterschiedlichen Vorgehen bei der Präparation und

der verschiedenen Zielrichtung der genannten Autoren zu sehen. FREWEIN (1967) beschreibt die Faszienvhältnisse vom rein anatomischen Standpunkt aus und schenkt einem Bezug zum Griffelbeinknöpfcchen mit der orthopädisch relevanten Folge einer distalen Griffelbeinfraktur keine Beachtung. DE MOOR et al. (1984) entdecken zwar in ihrer klinisch-experimentellen Studie zur Ursache der distalen Griffelbeinfraktur die für die Pathogenese entscheidende Struktur, bleiben aber eine exakte, anatomische Zuordnung schuldig und erfinden stattdessen den Begriff des distalen Griffelbeinbandes. Der Grund für diese ungenaue und unzutreffende Beschreibung ist in der zu Versuchsbeginn vorgenommenen, kompletten Enthäutung der Präparate zu suchen. Noch drastischer gehen BUKOWIECKI et al. (1987) und BRAMLAGE et al. (1989) vor, die auch noch das Beugesehnenpaktet entfernen und die Gliedmaßen zusätzlich im Krongelenk absetzen. Zwar entdecken bereits diese Autoren, eher als Nebenergebnis ihrer Untersuchung zur Belastbarkeit des Fesseltrageapparates, die für die Pathogenese der distalen Griffelbeinfraktur entscheidende Struktur, können aber aufgrund der radikalen Präparation der Gliedmaßen keine exakte anatomische Zuordnung mehr vornehmen. Stattdessen beschreiben sie rudimentäre bandartige Weichteilverbindungen zwischen dem Griffelbein und dem Fesseltrageapparat. Und genau diese Weichteilstrukturen beschreibt bereits OELKERS (1907) als platten Sehnenzug, der für eine Fortleitung von Krankheitsprozessen der Gleichbeinregion auf das Griffelbein verantwortlich ist. Da sich seine Arbeit aber vorwiegend mit dem Komplex der Überbeine der mittleren und proximalen Region des Griffelbeins befasst, unterbleibt auch hier eine detailgenaue Studie dieser Weichteilstrukturen. Allerdings weist der Autor auf die teilweise sehr unterschiedliche Stärke der Ausprägung dieser Bindegewebszüge in seinem Untersuchungsgut hin, ohne jedoch nähere Angaben zu machen. Bei den Gliedmaßen der vorliegenden Arbeit ließ sich die Fascia digiti an der medialen Seite der Vordergliedmaßen stärker vorfinden als lateral. Anhand der untersuchten Präparate kann jedoch kein Zusammenhang zwischen dieser Beobachtung und der Zehenachsen- oder Hufkonformation aufgezeigt werden. Inwieweit die starke Ausprägung der zum vorderen, medialen Griffelbein ziehenden Fascia digiti ein funktionell anatomischer Hinweis für eine Mehrbelastung dieses Griffelbeins verglichen mit den übrigen ist, könnte möglicherweise durch die Untersuchung einer größeren Anzahl von Gliedmaßen geklärt werden. Während der Vorversuche für die anatomische Untersuchung der vorliegenden Arbeit zeigte sich rasch, dass eine extrem vorsichtige, vorwiegend stumpfe und schichtweise vorgenommene Präparationsweise erforderlich ist, um die dünnen Faszien-schichten der Zehe darstellen und gegeneinander abgrenzen zu können. Jedes zu grobe Vorgehen führt unweigerlich zur Beschädigung der

dünnen Bindegewebsschichten und zu Artefakten. So lässt sich auch nachvollziehen, wie beispielsweise ZIETZSCHMANN und GRAU (1943) ein Sporn-Griffelbein-Band beschreiben konnten. Bei zu scharfer Präparation durchtrennt man sehr leicht die Fortsetzung der tiefen Schicht der Fascia digiti zur Dorsalseite des Fesselgelenkes und zu der Stelle, wo sie proximal der Gleichbeine zwischen dem M. interosseus medius und der tiefen Beugesehne in der Tiefe verschwindet, so dass ein Faserbündel stehen bleibt, das am Griffelbeinknöpfchen fest verankert ist und, je nach Präparation, strangartig oder fächerförmig palmarodistal in die Region der Gleichbeine und des Sporns zieht. Auf diese Art kommt eine isolierte Weichteilstruktur zustande, die sich bei Hyperextension im Fesselgelenk deutlich anspannt und als „distales Griffelbeinband“ oder „Sporn-Griffelbein-Band“ missgedeutet werden kann. An den untersuchten Gliedmaßen konnte jedoch in jedem Fall eine Abgrenzung der Spornsehne zur tiefen Schicht der Fascia digiti vorgenommen werden, so dass eine direkte, anatomische Beziehung zwischen Griffelbein und Sporn widerlegt werden konnte.

Die Ansicht von OELKERS (1907) zum distalen Verlauf des Ligamentum metacarpeum interosseum kann durch die vorliegende Untersuchung bestätigt werden. Neben dem von ihm beschriebenen teilweise sehr variablen distalen Auslaufen der Faserzüge konnten feste Stränge des Zwischenknochenbandes, die weit distal an die hintere Röhreinkontur ziehen, dargestellt werden. Diese waren stets von der darüber liegenden, tiefen Faszienschicht zu unterscheiden. Bei zu wenig vorsichtiger Präparation der Faszie kann jedoch der Eindruck eines mehrteiligen vom Spatium interosseum und vom Griffelbeinknöpfchen ausgehenden und distal ziehenden Bindegewebsbündels entstehen. In einem solchen Faserbündel verliert sich dann noch der M. interosseus medialis bzw. lateralis, was die Darstellung vollends unübersichtlich werden lässt.

Zwei Einzelfälle der Präparationen der vorliegenden Arbeit können die Zusammenhänge der Weichteilstrukturen bei einer distalen Griffelbeinfraktur eindrucksvoll belegen. An den während der Untersuchung zufällig entdeckten Griffelbeinfrakturen konnte der rudimentäre M. interosseus medialis bzw. lateralis jeweils völlig isoliert vom Frakturort dargestellt werden. Er war weder in den Kallus einer abgeheilten Fraktur integriert, noch ließ sich ein Einfluss seiner Sehne auf das Verhalten der Frakturlücke einer nicht abgeheilten Griffelbeinfraktur während zunehmender Belastung der Gliedmaße in der mechanischen Presse ausmachen. Auch die zarte Ausprägung des Muskels und seiner Sehne war identisch mit den übrigen Gliedmaßen ohne eine Fraktur des distalen Griffelbeines. In Übereinstimmung mit OELKERS (1907), SISSON

(1975 b) sowie KOCH und BERG (1992) kann daher festgehalten werden, dass dem rudimentären M. interosseus medialis bzw. lateralis keinerlei funktionelle Bedeutung zukommt. Der gegenteiligen Behauptung von WISSDORF et al. (1998) und VERSCHOOTEN et al. (1984) über eine Zugwirkung dieses rudimentären Muskels auf das Griffelbein muss daher widersprochen werden, zumal letztere Autoren lediglich über dieselbe Studie wie DE MOOR et al. (1984) an anderer Stelle berichten, eine Beschreibung der tiefen Schicht der Fascia digiti mit dem Begriff des sogenannten „distalen Griffelbeinbandes“ jedoch gänzlich unterlassen. Es ist zu vermuten, dass in Ermangelung der exakten anatomischen Kenntnis der Weichteile im distalen Bereich des Griffelbeines auf die Mm. interossei medialis bzw. lateralis zur Erklärung des Distraktionsphänomens am Frakturspalt ausgewichen wurde. Weiterhin konnte in der vorliegenden Studie an den beiden Präparaten mit einer distalen Griffelbeinfraktur ein deutlicher Unterschied in der Ausprägung der Fascia digiti entdeckt werden. Bei der einen Gliedmaße war die tiefe Schicht der Faszie auf der Seite mit der Griffelbeinfraktur deutlich kräftiger, als auf der gesunden Seite. An der anderen Gliedmaße war die Faszie auf der Seite kräftiger, auf der eine Defektpseudarthrose mit deutlicher Distraction der Frakturrenden bei Belastung vorlag. Die Faszie war schwächer auf der gegenüberliegenden Seite, wo die Griffelbeinfraktur als Kallus abheilen konnte. Daraus kann abgeleitet werden, dass zwischen der Stärke der Fascia digiti und dem Ausmaß der auf das Griffelbein übertragenen Zugkraft bei Belastung der Gliedmaße ein direkter Zusammenhang besteht. Die Faszie zeigt demnach eine belastungsbedingte Hypertrophie. Um zu überprüfen ob die tiefe Faszien-schicht regelmäßig bei einer distalen Griffelbeinfraktur verdickt vorliegt oder ihre Stärkenzunahme der Schädigung des Griffelbeins vorausgeht, müsste eine größere Zahl an Gliedmaßen mit distaler Griffelbeinfraktur präpariert werden, was bei der vorliegenden Untersuchung nicht möglich war.

5.3. Röntgenologische und klinische Befunde

Das von BUTLER et al. (1993) beschriebene röntgenologische Erscheinungsbild der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur war auch im untersuchten Patientengut anzutreffen. Bei Betrachtung der verschiedenen Rassen fiel jedoch auf, dass sich bei Trabrennpferden eher eine Defektpseudarthrose einstellt und Griffelbeinfrakturen bei Warmblutpferden häufiger eine Kallusbildung durchlaufen um in Form einer reaktiven oder elefantenfußartigen Pseudarthrose, abzuheilen. Die Beobachtung von OELKERS (1907), dass Griffelbeinerkrankungen mit

Veränderungen der Strukturen des Fesseltrageapparates einhergehen, kann bestätigt werden. Sowohl Entzündungen des griffelbeinnahen M. interosseus medius, wie sie von DIETZ et al. (1963), JONES und FESSLER (1977), BOWMAN et al. (1982) und DE MOOR et al. (1984) häufig angetroffen werden als auch degenerative Veränderungen der Gleichbeine wie sie O'BRIEN et al. (1971), MORGAN (1973) und HARDY et al. (1991) beschreiben, lagen bei den Patienten der vorliegenden Untersuchung regelmäßig vor. Auffällig war auch die sehr unterschiedliche Ausgestaltung des Griffelbeinknöpfchens.

Die Erkenntnis, dass insbesondere Trabrennpferde mit gedeckten, distalen Griffelbeinfrakturen vorgestellt werden, ist nicht neu. Bereits DANKS (1952) und KOCH (1959) sehen in dem Krankheitsbild eine der häufigsten Lahmheitsursachen und eine „Berufskrankheit“ des Trabers. NUMANS und WINTZER (1961) sowie STIHL (1968) halten allgemein in schnellen Gangarten intensiv beanspruchte Sportpferde für besonders gefährdet. Gewiss lag durch die Berliner Mauer ein Einfluss auf die Zusammensetzung des Patientengutes der vorliegenden Untersuchung vor. So gab es im ehemaligen West-Berlin eine große Population an Trabrennpferden, jedoch keinen Galopprennsport. Dies bringt bereits einen hohen Anteil an Trabern im Patientengut mit sich. Auf der anderen Seite berichtet auch CAMPE (1984) für die von ihm untersuchte Region von einem überproportionalen Anteil der Trabrennpferde bei den Patienten mit Griffelbeinfrakturen. Im selben Sinne äußern sich auch JONES und FESSLER (1977), BOWMAN et al. (1982) und DE MOOR et al. (1984). Weitere Angaben zu rassespezifischen Besonderheiten geben die Autoren jedoch nicht. In der vorliegenden Untersuchung waren die betroffenen Traber deutlich jünger als die Warmblutpferde und wiesen eine höheres Maß an Distraction der Frakturenden auf. Auch die Tatsache, dass distale Griffelbeinfrakturen beim Warmblüter häufig als reaktive Pseudarthrose mit Kallusbildung abheilen und beim Traber eher eine Defektpseudarthrose ohne jede Heilungstendenz entsteht, macht die stärkere Beanspruchung des Griffelbeines beim Rennpferd deutlich.

JONES und FESSLER (1977) legen ihrer Theorie zur Erklärung der distalen Griffelbeinfraktur zugrunde, dass das, bezogen auf die Rennrichtung, außen liegende Griffelbein der Hinterhand besonders beansprucht ist und daher am häufigsten bricht. Da in ihrem Untersuchungsgebiet die Rennen im Linkskurs gefahren werden, sind die rechten lateralen und linken medialen hinteren Griffelbeine bevorzugt betroffen. Auf die Tatsache, dass in ihrem Patientengut mehr Griffelbeinbrüche an den Vorder- als an den Hintergliedmaßen auftreten, gehen sie nicht ein.

Dieser grundsätzlichen Annahme kann aufgrund der vorliegenden Arbeit widersprochen werden. Die Trabrennpferde wurden im Untersuchungsgebiet vor 1973 im Links- und danach im Rechtskurs gefahren. Insgesamt waren etwas mehr hintere als vordere Gliedmaßen betroffen. Auffällig war jedoch ein deutlich vermehrtes Auftreten von distalen Frakturen an den lateralen Griffelbeinen beider Hintergliedmaßen, ohne dass dies jeweils das bezogen auf die Rennrichtung außen liegende Griffelbein gewesen wäre. Auch VERSCHOOTEN et al. (1984) finden an den hinteren, lateralen Griffelbeinen doppelt so viele Frakturen wie auf der medialen Seite, unabhängig von der Rennrichtung. BOWMAN et al. (1982) können dies nicht bestätigen, verfügen jedoch über geringere Fallzahlen, und hier sind die vorderen Griffelbeine der Traber häufiger betroffen als die hinteren, allerdings ist der Unterschied nicht so deutlich wie bei den Galoppfern. Bereits STIHL (1968) streicht heraus, dass bei Galoppfern und Springpferden zumeist die vorderen und bei Trabern meistens die hinteren Griffelbeine brechen.

Nicht nur das häufigere Auftreten von Frakturen lässt erkennen, dass die lateralen Griffelbeine der Hintergliedmaße bei den Trabern der vorliegenden Untersuchung höheren Belastungen ausgesetzt sind, als die medialen. Auch sind an dieser Stelle die höchsten Distractionswerte des Frakturspaltes zu beobachten. Die distalen Fragmente waren hier außerdem regelmäßig kürzer als auf der medialen Seite. Die Lokalisation der distalen Fraktur war allerdings auf jeder Höhe des frei stehenden Griffelbeinendes anzutreffen und nicht wie von DIETZ et al. (1963) behauptet, bevorzugt an der Stelle, wo das Griffelbein von seiner synosthotischen und daher unflexiblen Verbindung mit dem Röhrbein in seinen freien Abschnitt übergeht. Epiphysenlinien, wie sie von DIETZ et al. (1963) für diese Lokalisation des Griffelbeinschaftes beschrieben wurden, konnten im Untersuchungsgut ebenfalls nicht gefunden werden. Da auch im übrigen Schrifttum nie von Epiphysenfugen an dieser Stelle die Rede ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Autoren die Aufhellungslinien im Griffelbeinschaft mit unvollständigen Frakturen oder einem Mach'schen Phänomän vertauscht haben. Einige echte Epiphysenfugenfrakturen im Bereich des Griffelbeinknöpfchens konnten bei den untersuchten Patienten der vorliegenden Arbeit, entdeckt werden. Bei diesen lagen deutlich höhere Werte der Distraction vor als bei den Griffelbeinschaftfrakturen, was durch die geringe Größe des distalen Fragmentes und dessen Beweglichkeit, erklärbar ist. Diese Epiphysenfugenfrakturen hatten dadurch ein ganz anderes radiologisches Erscheinungsbild als die von ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955), HERTSCH et al. (1976) und BUTLER et al. (1993) beschriebenen Epi-

physenfugenlinien, die bei jungen Pferden bis zum Beginn des zweiten Lebensjahres angetroffen werden können.

Schließlich können am vorgestellten Untersuchungsgut altersbedingte Zusammenhänge abgelesen werden, die für die Erkrankung des Griffelbeines von Belang sind. Zunächst nimmt die Häufigkeit der distalen Griffelbeinfrakturen mit Intensivierung der Rennkarriere der Traber zu. Im selben Zeitraum entwickelt sich eine immer ausgedehntere Verknöcherung der Bandmassen im Spatium interosseum, wie sie bereits von OELKERS (1907), ZIETZSCHMANN und GRAU (1943), SISSON (1975 a) und NICKEL et al. (1992) beschrieben wurde. Eine hierdurch bedingte verminderte Flexibilität des distalen Griffelbeinabschnittes gegenüber bewegungsbedingten Einflüssen ist die Folge. Beim Betrachten der Distraktionswerte fällt auf, dass diese mit zunehmendem Alter der Patienten immer größer werden. Andererseits ist mit altersbedingter, fortschreitender Verknöcherung des Spatium interosseum immer weniger Distraction der Frakturenden zu beobachten. Allerdings findet man gleichzeitig immer unregelmäßigere Formen des Griffelbeinknöpfchens vor, je ausgedehnter das Spatium interosseum verknöchert ist. Diese an sich gegenläufigen Entwicklungen zeigen auf, wie mit ansteigendem Alter bzw. zunehmender Beanspruchung der Traber für Rennen die Belastungen auf das Griffelbein immer größer werden. Da auch die Befunde am M. interosseus medius und den Gleichbeinen altersgemäß und belastungsabhängig zunahmten, kann die Ansicht von OELKERS (1907) bestätigt werden, dass die Kräfte, die zur Überdehnung des Fesseltrageapparates führen, direkt auf das Griffelbein weitergeleitet werden. Die am untersuchten Patientenmaterial beobachtete und auch von BUTLER et al. (1993) beschriebene variable und unregelmäßige Ausprägung des Griffelbeinknöpfchens kann im Einklang mit der Begründung von OELKERS (1907) gesehen werden.

Somit legen diese Ergebnisse die Erkenntnis nahe, dass das Griffelbein Einflüssen unterworfen ist, die mit der Belastung des Fesseltrageapparates verbunden sind und untermauern, vor allem vor dem Hintergrund der Ergebnisse der anatomischen Untersuchung, die Distractionstheorie.

5.4. Ergebnisse der in vitro Versuche

Der Distraktionsversuch unter direktvergrößerungsradiographischer Dokumentation belegt einerseits durch die Vorversuche die Rolle der Fascia digiti, da sich nach deren Durchtrennung

keine wesentliche Erweiterung des künstlichen Frakturspaltes als Folge der Belastung der Gliedmaßenpräparate einstellte. Andererseits veranschaulicht der Hauptversuch das belastungssynchrone Verhalten des Frakturspaltes. Je größer die Last auf die Gliedmaße ist, desto weiter wird die Frakturlücke durch die Vermittlung der Fascia digiti auseinander gezogen. Die bei den natürlich entstandenen Griffelbeinfrakturen der Patienten der Klinik erhobenen Distractionswerte von 2 - 5 mm wurden im Versuch noch weit übertroffen. Behielten die Gliedmaßen ihre elastischen Eigenschaften, ließen sich Werte von 2 - 10 mm messen. Kam es jedoch zu einem Überschreiten der Belastbarkeit des Fesseltrageapparates und der übrigen Sehnenstrukturen mit nachfolgender plastischer Deformation oder sogar komplettem Niederbrechen der Gliedmaße, konnte eine Erweiterung des Frakturspaltes auf bis zu 20 mm gemessen werden. Da diese extrem hohen Werte anscheinend erst durch eine Schädigung des passiven Halteapparates der Gliedmaße möglich werden, können sie nicht direkt mit solchen von natürlich entstandenen Griffelbeinfrakturen verglichen werden. Durchweg erbrachte die zweite Belastungsserie höhere Messwerte als die erste. Vor allem an den hinteren lateralen Griffelbeinen konnten extreme Werte verzeichnet werden. Einerseits wird dadurch die Wichtigkeit des Wechsels der Seite, mit der ein Versuch an einer Gliedmaße begonnen wird, unterstrichen. Andererseits stellt sich die Frage, ob das hintere laterale Griffelbein den angreifenden Zugkräften in besonderer Weise ausgesetzt ist.

Auch DE MOOR et al. (1984) führen einen Distractionsversuch an einer Gliedmaße mit natürlich entstandener Griffelbeinfraktur durch und können eine Verbreiterung der Frakturlücke um fast das Doppelte durch eine Belastung von 4,9 kN erreichen. Angaben über absolute Messwerte machen die Autoren nicht. Anhand der dem Artikel beigefügten konventionellen Röntgenbilder, die allerdings vergrößert erscheinen, lässt sich eine ungefähre Distraction von 2 - 3 mm ablesen. Somit entspricht diese Beobachtung in etwa den Ergebnissen der klinisch-radiologischen Auswertung der vorliegenden Arbeit. Und selbst das Präparat mit einer alten, klinisch unauffälligen und in Form einer Pseudarthrose abgeheilten Griffelbeinfraktur zeigte im Versuch ein deutliches Distractionsphänomän der bindegewebig überbrückten Defektpseudarthrose.

Daher bestätigen die Beobachtungen des ersten Belastungsversuches die Distractionstheorie. Die für den Pathomechanismus entscheidende, anatomische Struktur ist die Fascia digiti. Darauf aufbauend bietet sich ein Vergleich der unter Versuchsbedingungen erhaltenen Ergebnisse

mit den natürlichen Bewegungsabläufen an. Bei Vorhandensein einer distalen Griffelbeinfraktur bewirkt eine Belastung der Gliedmaße mit etwa 4 - 5 kN im ruhigen Arbeitstrab eine Erweiterung der Bruchlücke um bis zu 2 - 5 mm und eine Belastung mit etwa 8 - 9 kN im Rennt Trab oder schnellen Galopp eine Distraction um bis zu 5 - 10 mm. Bei Entlastung der Gliedmaße zeigt sich eine Verschmälerung dieser Bruchlücke, die jedoch deutlich weiter bleibt als nach dem frischen Entstehen der Fraktur. Diese Vorgänge können als Ursache für das Ausbleiben einer echten Frakturheilung und die Ausbildung einer Defekt pseudarthrose nach einer distalen Griffelbeinfraktur bei intensiv beanspruchten Sportpferden angesehen werden.

BUSHE et al. (1988), NEUBERTH (1990) und THOMPSON et al. (1992) untersuchen die Auswirkung einer Veränderung des Hufwinkels auf die distale Gliedmaße. Während BUSHE et al. (1988) durch eine Erhöhung des Hufwinkels von 45° auf 70° an stehenden Pferden im Fesselgelenk lediglich eine vermehrte Hyperextension von etwa 3° beobachten, findet NEUBERTH (1990) durch eine Trachtenerhöhung um 15° eine deutlich geringere Belastbarkeit des Fesseltrageapparates von Gliedmaßenpräparaten mit der Folge eines Niederbrechens durch komplette Ruptur der distalen Gleichbeinbänder bei niedrigerem Kraftaufwand, als ohne Hufwinkelmanipulation. THOMPSON et al. (1992) konnten als Folge einer Trachtenerhöhung von 55° auf 78° und einer Belastung mit 2,9 kN eine Zunahme der Spannung des M. interosseus medius im Bereich seines Körpers um 23 % verzeichnen. Ab einem Hufwinkel von 61° reagierten insbesondere seine Unterstützungsschenkel zur Strecksehne mit einem exponentiellen Spannungsanstieg. In der vorliegenden Untersuchung konnte kein direkter Zusammenhang zwischen einer Trachtenerhöhung und einer weiteren Steigerung der Distractionswerte aufgezeigt werden. Dies ließe sich möglicherweise durch die Verwendung einer größeren Anzahl von Präparaten mit nahezu identischer Gliedmaßenkonformation, Huf- und Griffelbeinanatomie besser untersuchen. Dennoch kann vor dem Hintergrund des Distractionversuches angenommen werden, dass in Anlehnung an die Ergebnisse von NEUBERTH (1990) und THOMPSON et al. (1992) eine Erhöhung der Trachten über eine Vorspannung und vorzeitige Schwächung des Fesseltrageapparates auch eine Mehrbelastung des Griffelbeines zur Folge hat.

Im Deviationsversuch unter computertomographischer Dokumentation konnte die Bewegung des freien, distalen Griffelbeinendes erstmals objektiv und ohne Zerstörung der anhaftenden Weichteilstrukturen beobachtet werden. Dahingegen konnten DE MOOR et al. (1984) anhand ihrer radiologischen Untersuchung keine Messwerte zur belastungsbedingten axialen und ab-

axialen Griffelbeinexkursion gewinnen und auch keinen Unterschied zwischen Gliedmaßen mit gesunden und durch Entzündung verdickten Schenkeln des *M. interosseus medius* erkennen. DIETZ et al. (1963) legen ihren Behauptungen überhaupt keine methodischen Informationen zugrunde. Durch die Computertomographie lässt sich erkennen, dass die Griffelbeine sich in der Hangbeinphase während der Beugung im Fesselgelenk leicht voneinander entfernen und sich in der Mitte der Stützbeinphase bei maximaler Überstreckung im Fesselgelenk einander deutlich annähern. Dies trifft für Gliedmaßen zu, deren *M. interosseus medius* nicht verdickt ist. Gliedmaßen, deren Schenkel des *M. interosseus medius* beide künstlich vergrößert wurden, zeigen ein anderes Verhalten. Bei maximaler Stützbeinphase weichen die Griffelbeinknöpfechen nur gering auseinander und während der Flugphase der Gliedmaße tritt ein deutliches Spreizen der Griffelbeinenden in Erscheinung. Letzteres deckt sich mit der Beobachtung von DIETZ et al. (1963). Allerdings ist deren Erklärung für dieses Auseinanderweichen während der Hangbeinphase nicht korrekt. Diese Autoren sehen nämlich im direkten Druck, den der zwischen den Griffelbeinen befindliche *M. interosseus medius* auf deren freie Enden ausübt, den Grund. Die computertomographischen Schnittbilder zeigen jedoch, dass es sowohl zu einer direkten Berührung zwischen dem *M. interosseus medius* und den distalen Griffelbeinen kommen kann, während letztere sich einander annähern und andererseits jeglicher direkter Kontakt fehlen kann, während sich die Griffelbeine deutlich spreizen. Daher ist eine direkte Berührung durch den *M. interosseus medius* nicht geeignet eine abaxiale Auslenkung der distalen Griffelbeine zu erklären. Somit ist auch die Aussage von WISSDORF et al. (1998) widerlegt, die ein frakturauslösendes Spreizen der Griffelbeine durch den *M. interosseus medius* für die Stützbeinphase beschreiben, diese Aussage jedoch durch keine eigenen Untersuchungen belegen.

Vielmehr erscheint auch vom Standpunkt der Computertomographie aus die Fascia digiti das entscheidende Element für eine Bewegung des Griffelbeines zu sein. Beim Beugen des Fesselgelenkes in der Flugphase rutschen die beiden Gleichbeine nach proximal entlang der hinteren Röhreinkontur. Die beiden Schenkel des *M. interosseus medius* werden dabei in die gleiche Richtung verlagert und zusammengeschoben. Der nun entspannte *M. interosseus medius* findet den für diesen Vorgang erforderlichen Platz hinter den Griffelbeinen und seine Schenkel wölben nun die Kontur der Gliedmaße an dieser Stelle nach lateral und medial vor. Gleichzeitig folgt die den Schenkeln des *M. interosseus medius* und den Gleichbeinen aufliegende Fascia digiti zwangsläufig dieser Seitwärtsbewegung. Über deren Anhaftung am

Griffelbeinknöpfchen ergibt sich daher eine abaxiale Auslenkung des freien Griffelbeinabschnittes während der Hangbeinphase. Bei Hyperextension im Fesselgelenk während der maximalen Stützbeinphase bewirkt die Zugkraft der angespannten Fascia digiti auf der anderen Seite ein Geraderichten der von BUDRAS und RÖCK (1994) beschriebenen, natürlicherweise axial konvex verlaufenden Krümmung des Griffelbeinschaftes. Bei extremer Belastung kann dieser Vorgang bis zu einer Abrissfraktur des Griffelbeines gesteigert werden. Dass die abaxiale Auslenkung des freien Griffelbeinendes während der Hangbeinphase ohne eine nennenswerte Belastung der tragenden Strukturen für die Erzeugung einer Fraktur, wie dies von DIETZ et al. (1963) postuliert wird, ausreichen könnte, muss bezweifelt werden. Somit entkräften die computertomographisch erhaltenen Ergebnisse die Deviationstheorie und bestätigen die Theorie der Distraction.

Der Überlastungsversuch bis zum Niederbrechen konnte noch einmal den Einfluss der Fascia digiti auf das Griffelbein veranschaulichen. War die Faszie durchtrennt, trat keine Beschädigung des Griffelbeines ein, blieb sie intakt, so war in einigen Fällen eine gedeckte, distale Griffelbeinfraktur die Folge, die mit dem unter natürlichen Verhältnissen zu beobachtenden Bild identisch war, wie es von BUKOWIECKI et al. (1987) beschrieben wurde. Diese Autoren stellen jedoch einen Unterschied zwischen Gliedmaßen von trainierten und untrainierten Galoppfern oder Trabern fest. Präparate von trainierten Pferden wiesen bevorzugt einen Niederbrechen in Form einer Gleichbeinfraktur auf, die von untrainierten Pferden in der Regel eine plastische Deformation oder vollständige Ruptur des M. interosseus medius. Nur bei letzteren war neben dem Versagen im Fesseltrageapparat auch eine Griffelbeinfraktur zu beobachten. Die Gliedmaßen der vorliegenden Studie zeigten allesamt einen Niederbrechen im M. interosseus medius mit distaler Verlagerung der Gleichbeine. Da es sich um Gliedmaßen von Pferden handelte, die über eine Rossmetzgerei bezogen wurden, und auch erkennbar war, dass diese nicht ausschließlich von Rennpferden stammten, kann davon ausgegangen werden, dass diese Pferde sich in der Zeit vor der Schlachtung nicht unbedingt in vollem Training befanden. Dieses würde ein identisches Verhalten dieser Gliedmaßen mit der zweiten Gruppe der von BUKOWIECKI et al. (1987) untersuchten Präparate erklären. Auch DE MOOR et al. (1984) führen einen Belastungsversuch anhand einer Hintergliedmaße bis zum Eintreten einer Ruptur des M. interosseus medius durch und finden ebenfalls eine parallel dazu entstehende distale Fraktur des lateralen Griffelbeines. Auf die von beiden Autorengruppen nur unvollständig gegebene anatomische Erklärung des für die Griffelbeinfraktur entscheidenden

Pathomechanismus wurde bereits hingewiesen. Bereits DIETZ et al. (1963) können über einen retrospektiv untersuchten klinischen Fall von Niederbrechen und begleitend eingetretener distaler Griffelbeinfraktur berichten, führen jedoch keine Belastungsexperimente zur Klärung des ursächlichen Zusammenhangs durch.

MC ILWRAITH (1989) und STASHAK (1989) erläutern die teilweise Schädigung im M. interosseus medius durch Zerreißung einzelner Fasern oder größerer Faserbündel bis hin zum Niederbrechen mit kompletter Zerstörung der Sehnenstruktur und weisen bereits darauf hin, dass die gedeckte, distale Griffelbeinfraktur regelmäßig mit Beschädigungen des Fesseltrageapparates einhergeht. Die Ergebnisse des vorliegenden berlastungsversuches bestätigen diese Ansicht. WILSON et al. (1991) können die belastungsinduzierte morphologische Anpassung der Architektur des M. interosseus medius bei intensiv genutzten Sportpferden darstellen, auch wenn die klinisch relevanten Zusammenhänge nach Ansicht der Autoren noch nicht bekannt sind. In Übereinstimmung mit BUKOWIECKI et al. (1987) ist ersichtlich, dass sich durch intensive athletische Beanspruchung die Belastbarkeit des M. interosseus medius, nicht aber in dem selben Maße die der Gleichbeine, erhöhen lässt. Diese Erkenntnisse, wie auch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung legen nahe, dass der entscheidende Faktor, ob es zu einer belastungsinduzierten Fraktur des Griffelbeines kommt, die Belastbarkeit des M. interosseus medius ist. Möglicherweise besteht auch ein funktionell anatomischer Unterschied zwischen einer Ruptur des M. interosseus medius und einer Gleichbeinfraktur für dem Pathomechanismus einer distalen Griffelbeinfraktur. Im Rahmen einer Gleichbeinfraktur könnte sich die hintere Kontur des Fesselgelenkes in der Art verändern, dass durch das Auseinanderweichen der Frakturstcke ein wenig mehr Platz in dieser Region entsteht und dadurch die Spannung auf der Fascia digiti nachlässt. Andererseits könnte eine distale Dislokation der Gleichbeine während einer kompletten Zerreißung des M. interosseus medius dazu führen, dass durch die nun fehlende, proximale Befestigung der Gleichbeine diese nun extrem in die tragegurthnliche, den Fesselkopf umspannende Fascia digiti drücken und somit den Zug auf das Griffelbein noch verstärken. Unabhängig von diesen beiden Erklärungsversuchen zeigen die Ergebnisse des vorliegenden berlastungsversuches wie auch die der genannten Autoren, dass es sich beim gedeckten distalen Griffelbeinbruch um eine belastungsinduzierte Abrissfraktur handelt, die eine direkte Folge der Überlastung und Ermüdung des Fesseltrageapparates ist.

DE MOOR et al. (1984) arbeiten außerdem noch ein interessantes Ergebnis zur Festigkeit isolierter Griffelbeine heraus. Frisch entnommene Griffelbeine wiesen in einem Zugtest eine Belastbarkeit von 0,3 - 0,8 kN auf bevor sie auseinander rissen. Legt man nun, in Anlehnung an die in vitro Versuche der vorliegenden Arbeit eine Gesamtbelastung der distalen Gliedmaße von 3 - 8 kN zugrunde, so kann man annehmen, dass etwa 10 % dieser Bewegungsenergie am freien Griffelbein ankommen und zu dessen Fraktur führen. Geht man vom Gedanken einer chronischen Ermüdungsfraktur aus, so kann man sich, angesichts der Messungen von DE MOOR et al. (1984), leicht vorstellen, wie eine regelmäßig wiederkehrende extreme Belastung des Fesseltrageapparates mit maximaler Hyperextension im Fesselgelenk das Griffelbein langfristig abreißen lässt.

5.5. Schlußfolgerungen

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Studie kann erstmals die tiefe Schicht der Fascia digiti als morphologisches Korrelat für die Ätiologie und Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur gezeigt werden. Diese, in der anatomischen Literatur für die distale Region des Griffelbeines bislang nicht beschriebene Bindegewebsstruktur ist dafür verantwortlich, dass die Belastung des Fesseltrageapparates zu einer direkten Zugkraft auf das Griffelbein führt. Die rudimentären M. interossei mediales und laterales haben hierfür keinerlei Bedeutung. Somit können die Erklärungsversuche für das Krankheitsbild der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur von DE MOOR et al. (1984) und BUKOWIECKI et al. (1987) vervollständigt und die Theorie der Distraction als einzig richtige bestätigt werden.

Die Deviationstheorie von DIETZ et al. (1963) lässt sich anhand der computertomographischen Befunde widerlegen, da es nicht zu einem regelmäßig zu beobachtenden Berühren zwischen dem M. interosseus medius und dem Griffelbein kommt und die Theorie ohnehin nur eine Erklärung für die Hangbeinphase der Bewegung, bei der die anatomischen Strukturen jedoch entlastet sind, bieten würde. Eine dabei entstehende Fraktur muss als äußerst unwahrscheinlich angesehen werden. Außerdem befindet sich die Fraktur nicht, wie von den Autoren behauptet, regelmäßig an der Stelle, wo das frei stehende Griffelbein in die Region der Verknöcherung des Spatium interosseum übergeht, sondern an jedem beliebigen Abschnitt des freien Griffelbeinendes. Das von den Autoren für diesen sogenannten Locus minoris resistentiae beschriebene Phänomen der Epiphysenfugenfraktur muss ebenfalls als falsch angesehen

werden, da es an dieser Stelle des Griffelbeines überhaupt keine Epiphysenfuge gibt. In einigen Fällen ist zwar eine Fraktur durch die Epiphysenfuge des Griffelbeinknöpfchens zu beobachten, was jedoch selten ist, da diese bereits geschlossen ist, bevor die Pferde ins Training kommen.

Die Fußwurzelgelenk-Mittelfußfaszientheorie von ROONEY (1969) kann schon vom anatomischen Blickwinkel gesehen nicht aufrechterhalten werden, da die als frakturauslösend erachtete Faszie überhaupt nicht bis in den Bereich des distalen Griffelbeinabschnittes reicht, wie auch bereits OELKERS (1907), FREWEIN (1967) und DENOIX (1996) festgestellt haben. Daher kann der beschriebene Anteil der Mittelfußfaszie nicht für die Fraktur des Griffelbeines verantwortlich sein. Davon abgesehen bleibt der Autor auch eine Erklärung für Frakturen der hinteren Griffelbeine schuldig. Weiterhin konnten DE MOOR et al. (1984) in ihren Belastungsexperimenten keine palmare Auslenkung des Griffelbeins durch diese Mittelfußfaszie nachweisen. Bei den biodynamischen Untersuchungen von JOHNSTON et al. (1995) stellte sich außerdem heraus, dass die von ROONEY (1969) für seine Theorie zugrunde gelegte Flexion des Karpus bei der Landung, die durch die nachfolgende Hyperextension während der Stützbeinphase zu einer frakturauslösenden Zugkraft am Griffelbein führen soll, gar nicht stattfindet.

Ebenso kann auch die Bogensehnen Theorie von JONES und FESSLER (1977) als wenig stichhaltig angesehen werden, da ihr einerseits weder eine experimentelle Methodik noch eine geeignete in vivo Untersuchung zur Seite gestellt wurde, und andererseits die Prädisposition für eine Fraktur des bezogen auf die Rennrichtung jeweils außen liegenden Griffelbeins weder durch die Untersuchungen von anderen Autoren, noch durch die vorliegende Studie, der ein deutlich größeres Patientenmaterial zur Verfügung stand, bestätigt werden konnte. Auch die in ihrem eigenen Patientengut häufiger auftretenden Frakturen der vorderen Griffelbeine lassen die Begründer dieser Theorie gänzlich unkommentiert. Vom Standpunkt der Biodynamik ist es zwar einleuchtend, dass bei extremer Kurvenlage während des Trabrennens eine vermehrte Belastung auf der Zugseite der Gliedmaße zustande kommt. Auf der Basis der anatomischen Kenntnisse muss jedoch eher eine Abrissfraktur des Griffelbeins durch den Zug der Fascia digiti bei extrem asymmetrischer Fußung angenommen werden, als die von den Autoren verantwortlich gemachten Vibrationskräfte, die durch keinerlei Messungen bewiesen wurden.

Gegen alle drei der genannten Theorien spricht außerdem noch eine weitere Tatsache. Wäre eine von der Seite einwirkende Kraft, wie der Druck oder die Vibration des *M. interosseus medius* oder aber der Zug der seitlich ansetzenden Mittelfußfaszie, die Ursache für einen distalen Griffelbeinbruch, müsste die Frakturlinie gemäß den Gesetzen der allgemeinen Frakturlehre schräg verlaufen. So findet man solche schrägen Frakturlinien regelmäßig bei durch äußere Traumata entstandenen distalen Griffelbeinfrakturen. Dabei wirkt die Kraft von der Seite ein und erzeugt einen schrägen Bruch oder möglicherweise einen Trümmerbruch. Bei der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur handelt es sich jedoch stets um eine Querfraktur. Die Kraft, welche solch einen Frakturtyp auszulösen vermag, ist alleinig ein senkrecht ausgerichteter Zug. Es handelt sich daher nicht um einen Knickungsbruch, sondern ausschließlich um eine Abrissfraktur durch den Zug der *Fascia digiti*.

Schließlich kann der Ansicht von OELKERS (1907) in vollem Umfang zugestimmt werden, dass krankhafte Prozesse der Gleichbeinregion auf das Griffelbein fortgeleitet werden können. Dies liegt in der tragegürtähnlichen Konstruktion der *Fascia digiti* begründet, die dazu führt, dass beim Senken des Fesselkopfes während der Belastung der Gliedmaße eine direkte Kraftübermittlung auf das Griffelbein erfolgt. Wie bereits OELKERS (1907) feststellte, kann man die von ihm als „Sehnenzug“ bezeichnete *Fascia digiti* in sehr variabler und manchmal extrem verdickter Form antreffen. Und auch das Griffelbeinknöpfchen kann ein sehr unterschiedliches, röntgenologisches Erscheinungsbild aufweisen. Beides spricht für eine funktionelle Anpassung des Bindegewebes wie auch des Knochens im Sinne einer belastungsinduzierten Hypertrophie. Bei chronischer Beanspruchung des *M. interosseus medius* bis an seine Elastizitätsgrenze heran, oder darüber hinaus, wird die Bewegungsenergie daher auf das Griffelbein fortgeleitet, welches zunächst passiv mit einem Geraderichten seiner natürlichen Krümmung reagieren kann. Wiederholt sich diese Überlastung jedoch, wird sich langfristig die bekannte Ermüdungsfraktur des Griffelbeines einstellen. Ob das laterale Griffelbein der Hintergliedmaße für eine solche Fraktur prädisponiert ist, worauf sein häufiges Betroffensein und auch die starke Distraction an dieser Stelle hindeuten, kann anhand der vorliegenden Untersuchung nicht abschließend beantwortet werden.

Als Konsequenz dieser Ergebnisse muss die Gesunderhaltung des Griffelbeines angestrebt werden. In der Vergangenheit wurde zum Teil eine „prophylaktische“ Resektion aller distalen Griffelbeinenden von manchen Reitern gewünscht und von wenigen Tierärzten vollzogen, um

einem verletzungsbedingten Ausfall des Pferdes durch eine Griffelbeinfraktur vorzubeugen. Diese Vorgehensweise ist jedoch abzulehnen. Auf der Basis der neuen, anatomischen Erkenntnisse könnte man nun erwägen, alleinig die Anhaftung der Fascia digiti am Griffelbein zu durchtrennen, um dieses von ihrer Zugeinwirkung zu befreien. Doch auch dies ist als unsinnig einzustufen, da einerseits längst nicht alle Sportpferde im Laufe ihrer Karriere an einer distalen Griffelbeinfraktur erkranken und andererseits die betroffene Region, in der man die Faszie durchtrennen müsste, sich häufig in direkter Nachbarschaft zur hinteren Aussackung des Fesselgelenkes befindet. Dies lässt einen solchen Eingriff sehr gefährlich für die orthopädische Unversehrtheit des Patienten werden.

Vielmehr können zur Prophylaxe einer Griffelbeinerkrankung einige wesentlich praktikablere, orthopädische Maßnahmen ergriffen werden. Die von MOLINARI et al. (1989) empfohlene, vorsorgliche Röntgenuntersuchung an den Griffelbeinen junger Sportpferde würde zwar wesentlich mehr Griffelbeinerkrankungen zu Tage fördern und eine frühzeitige Therapie oder Trainingspause ermöglichen, ist aber im Gegenzug recht arbeits- und kostenaufwendig. Einfacher und langfristig sinnvoller ist es bereits bei der Zuchtselektion auf eine regelmäßige Gliedmaßenkonformation Wert zu legen und gegebenenfalls bei der Aufzucht der Pferde eine entsprechende Hufkorrektur zur Verbesserung der Gliedmaßenachse durchzuführen. Während des sportlichen Einsatzes der Pferde sollte dann darauf geachtet werden, diese nicht über das durch angemessenes Training sinnvoll erreichbare Maß zu belasten, um eine Überforderung ihrer orthopädischen Substanz, und hier im besonderen des Fesseltrageapparates zu vermeiden. Ein orthopädischer Hufbeslag, der geeignet ist, die Fessel zu stützen, ist ebenfalls sinnvoll. Die Ergebnisse von NEUBERTH (1990) und THOMPSON et al. (1992) verbieten hierbei eine Erhöhung der Trachten, da eine vermehrte Belastung des Fesseltrageapparates und auch des Griffelbeines die Folge wäre. Aufgrund der Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit kann in Anlehnung an die Darstellungen von DENOIX (1996) zur abaxialen Balance der distalen Gliedmaße zu einem Beslag mit Eiereisen als ideale Prophylaxe gegen eine gedeckte, distale Griffelbeinfraktur geraten werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

In der Literaturübersicht wird ein Überblick über die Anatomie der Griffelbeinregion und die verschiedenen Erkrankungen von Griffelbein und Fesseltrageapparat gegeben. Es werden die im Schrifttum fehlenden, anatomischen Einzelheiten aufgezeigt und die verschiedenen Theorien zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur analysiert.

Anhand von Gliedmaßenpräparaten wurden anatomische Untersuchungen der Weichteile im Bereich der distalen Griffelbeinregion vorgenommen und Belastungsexperimente zur Überprüfung der verschiedenen Theorien über die Entstehungsweise der Griffelbeinfraktur durchgeführt. Zur Dokumentation dienten dabei die Direktvergrößerungsradiographie (Feinfocus) und die mobile Computertomographie (Philips Tomoscan M). Außerdem wurden als Brückenschlag zwischen der experimentellen Untersuchung und dem klinischen Krankheitsbild die Röntgenbilder und Patientenakten der an einer Griffelbeinfraktur erkrankten Patienten der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin ausgewertet.

Als Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können die Schließung einer Lücke im anatomischen Schrifttum und die Klärung zwischen den verschiedenen Theorien zur Griffelbeinfraktur in der orthopädischen Literatur angesehen werden. Die gedeckte, distale Griffelbeinfraktur ist demnach ein im Zuge der wiederholten Überlastung des Fesseltrageapparates eintretender Ermüdungsbruch. Die während der Hyperextension im Fesselgelenk durch die Fascia digiti auf das Griffelbein übertragene Zugspannung führt dabei im Sinne der Distractionstheorie zu einer Abrissfraktur.

Zur Prophylaxe gegen eine Beschädigung des Griffelbeines sollte einerseits darauf geachtet werden, die Belastbarkeit der Pferde, und hierbei speziell des Fesseltrageapparates, nicht zu überfordern, und andererseits können gezielte orthopädische Maßnahmen empfohlen werden. In Übereinstimmung mit BOWMANN et al. (1982), welche in der Ausheilung der häufig frakturbegleitenden Tendopathie des M. interosseus medius den limitierenden Faktor für die Prognose der Operation einer distalen Griffelbeinfraktur hinsichtlich des erneuten sportlichen Einsatzes des Pferdes sehen, ist zur Unterstützung des Fesseltrageapparates und damit zur Vorbeugung gegen einen gedeckten, distalen Griffelbeinbruch ein Beschlag mit Eiereisen anzuraten.

7 SUMMARY

Krieg, Claudius

Distal splint bone fractures in the horse:

An in vitro study on the etiology and pathogenesis

In the bibliographical review, a survey of the anatomy of the splint bone region and the different diseases which affect the splint bone as well as the suspensory apparatus of the fetlock is given. The lacking details in the anatomical literature are pointed out. An analysis of the different theories about the etiology and pathogenesis of the distal splint bone fracture is performed.

Isolated limbs were used to investigate the soft tissue structures in the distal splint bone region during anatomical preparations and to carry out loading experiments in order to verify the different theories about the pathomechanism of distal splint bone fractures. Direct magnification radiography (Feinfocus) and mobile computed tomography (Philips Tomoscan M) were applied for documentation. Furthermore a retrospective evaluation of radiographs and medical records from the patients with splint bone fractures at the Veterinary Faculty of the University of Berlin was carried out.

The gap in the knowledge of the anatomical literature was closed and the discussion between the different orthopaedical theories on the genesis of distal splint bone fractures was clarified as a result of the presented study. According to this study, the distal splint bone fracture can be considered as a fatigue fracture following the repetitive overloading of the suspensory apparatus of the fetlock. During hyperextension of the fetlock joint, the distal splint bone is exposed to the pulling force of the digital fascia leading to an avulsion fracture. This supports the theory of distraction.

As a general guideline for the prophylaxis of injuries to the distal splint bones, horses should not be exercised beyond their individual capabilities. Especially the suspensory apparatus of the fetlock must not be chronically overloaded during exercise and certain orthopaedical measures can be recommended. According to BOWMAN et al. (1982) the limiting factor for the horse's athletic performance after the operation of a distal splint bone fracture is the complete healing of the concurrent suspensory desmitis. Therefore, the preservation of the soundness of the suspensory apparatus as well as the distal splint bone should be attempted by the use of egg bar shoes.

8 L I T E R A T U R

ALLEN, D., u. N.A. WHITE (1987):

Management of fractures and exostosis of the metacarpals and metatarsals II and IV in 25 horses.

Equine vet. J. 19, 326 - 330

ALLEN, D., u. N.A. WHITE (1982):

Management of proximal splint fractures and exostoses in the horse.

in: 28th Proc. Annu. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 89 - 95

AUF DEM HÖVEL, H.C. (1993):

Mikroangiographische Untersuchungen an den Beugesehnen des Pferdes mit Hilfe der Fein-Focus-Röntgentechnik.

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

AUER, J.A. (1991):

Exostoses / Splints.

in: R.A. MANSMANN, P.W. PRATT u. E.S. MC ALLISTER (Hrsg.):

Equine medicine and surgery. 4th Ed. 2, 1414 - 1416

American veterinary publications, Santa Barbara, California

BARONE, R. (1968):

Anatomie comparée des mamifères domestiques, Bd. 2: Arthrologie et myologie.

Laboratoire d'anatomie, Ecole Nationale Vétérinaire Lyon

BARONE, R. (1987):

Atlante di osteo-artro-miologia del cavallo e des bovino.

Verlag Edagricole, Bologna, Roma, Milano

BAXTER, G.M., R.E. DORAN u. D. ALLEN (1992):

Complete excision of a fractured fourth metatarsal bone in eight horses.

Vet. Surg. 21, 273 - 278

BECKER, C. (1985):

Die aseptische Nekrose im Ligamentum palmare beziehungsweise plantare.

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

BERGE, E. (1933):

Über die lokale Malazie der Sesambeine am Fesselgelenk des Pferdes.

Berl. tierärztl. Wochenschr. 49, 629 - 649

Zeitschriftentitelabkürzungen gemäß:

List of Journals indexed in Index Medicus, Bethesda, National Library of Medicine, 1992

- BOTZ, R. (1993):
Vollständige Amputation des Os metatarsale IV nach Fraktur beim Pferd.
Prakt. Tierarzt. 74, 918 - 919
- BOWMAN, K.F., L.H. EVANS u. M.E. HERRING (1982):
Evaluation of surgical removal of fractured distal splint bones in the horse.
Vet. Surg. 11, 116 - 120
- BOWMAN, K.F., u. G.E. FACKELMAN (1982):
Surgical treatment of complicated fractures of the splint bones in the horse.
Vet. Surg. 11, 121 - 124
- BRAMLAGE, L.R., C.W. BUKOWIECKI u. A.A. GABEL (1989):
The effect of training on the suspensory apparatus of the horse.
in: 35th Proc. Ann. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 245 - 247
- BUDRAS, K.D., u. S. RÖCK (1994):
Atlas der Anatomie des Pferdes, 2. Aufl.
Verlag Schlütersche, Hannover
- BUKOWIECKI, C.F., L.R. BRAMLAGE u. A.A. GABEL (1987):
In vitro strength of the suspensory apparatus in training and resting horses.
Vet. Surg. 16, 126 - 130
- BUKOWIECKI, C.F., L.R. BRAMLAGE u. A.A. GABEL (1985):
Proximal sesamoid bone fractures in horses: current treatments and prognoses
Comp. Cont. Educ. Pract. Vet., 7, 684 -698.
- BUSHE, T., T.A. TURNER, P.W. POULOS u. N.M. HARWELL (1988):
The effect of hoof angle on coffin, pastern and fetlock joint angles.
in: 34th Proc. Annu. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 729 - 738
- BUTLER, J.A., C.M. COLLES, S.J. DYSON, S.E. KOLD u. P.W. POULOS (1993):
Clinical radiology of the horse.
Blackwell scientific publications, Oxford, London
- CAMPE, D. (1984):
Vorkommen und Häufigkeit der Frakturen beim Pferd nach Unterlagen der Klinik für Pferde
der Tierärztlichen Hochschule Hannover von 1962 bis 1983.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- CHEUNG, T.K. u. K.N. THOMPSON (1993):
Structural characterization of the proximal sesamoid bones in thoroughbred horses.
Swiss Vet., 11, 167
- DAMMER, H. (1986):
Röntgenologische Kontrastmitteluntersuchungen der Strahlbeine (Arteriographie und Arthro-
graphie) bei Pferden mit und ohne Podotrochlose mit der "Fein-Focus"-Röntgentechnik.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

- DANKS, G. (1952):
Some common lameness of the standardbred horse.
Proc. Am. Vet. Med. Assoc. 1952, 348 - 352
- DE MOOR, A., F. VERSCHOOTEN u. F. GASTHUYS (1984):
Etiology and healing of distal splint bone fractures in the horse.
in: Proc. 15th Congress European Society of Veterinary Surgery, Bern, 1984, S. 24 - 33
- DENNY, H.R. (1989):
Treatment of equine fractures.
Verlag Wright, London, Boston, S. 99 - 101
- DENOIX, J.-M. (1996):
Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes).
in: Proc. of the 1996 Dubai international equine symposium, 23 - 53
- DIETZ, O., u. E. WIESNER (1982):
Handbuch der Pferdekrankheiten für Wissenschaft und Praxis. Teil 3: Spezieller Teil.
Verlag Karger, Basel, München, S. 982 - 985
- DIETZ, O., u. E. HENSCHHEL (1988):
Anästhesie und Operationen bei Groß- und Kleintieren, 4. Aufl.
Verlag Enke, Stuttgart, S. 475 - 477
- DIETZ, O., E. NAGEL, T. KOCH, R. BERG u. O. STERBA (1963):
Zur Entstehung und zur Klinik der sogenannten gedeckten, distalen Griffelbeinfrakturen.
Schweiz. Arch. Tierheilk. 105, 87 - 98
- DIK, K.J. (1985):
Special radiographic projections for the equine proximal sesamoid bones and caudoproximal extremity of the first phalanx.
Equine Vet. J. 17, 244 - 247
- DIK, K.J., u. I. GUNSER (1987):
Atlas der Röntgendiagnostik beim Pferd, Bd 1. Erkrankungen im Bereich der Vorderextremität.
Verlag Schlütersche, Hannover
- DORAN, R. (1994):
Management of simple and complicated splint bone fractures in horses.
Equine Pract., 16, 29 -32
- DORAN, R.E., G.M. BAXTER u. P.F. RADUE (1992):
Management of open comminuted fractures of the proximal fourth metatarsal bone in horses.
in: 37th Proc. Annu. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 735 - 740
- DU PREEZ, P. (1994):
Fractures of the small metacarpal and metatarsal bones (splint bones).
Equine Vet. Educ. 6, 279 - 283

D'ECHON, A.G. (1977):

Contribution à l'étude des fractures des métacarpiens et métatarsiens rudimentaires chez le cheval - cure chirurgicale.
Alfort, École Nat. Vét., Diss.

FACKELMAN, G.E. (1991):

Fractures of the second and fourth metacarpal/metatarsal bones.
in: Colahan, P.T.; I.G. Mayhew; A.M. Merritt u. J.N. Moore (Hrsg.), Equine Medicine and Surgery, 4. Aufl., Verlag American Veterinary Publications, Goleta, S. 1413 - 1414

FERRARO, G.L. (1990):

Splint bone injuries.
Vet. Clin. North Am. Eq. Pract. 6, 76 - 77

FINCI, A. (1984):

Splint incidence of race horses and subperiosteal osteotomy.
in: Proc. 15th Congress European Society of Veterinary Surgery, Bern, 1984, S. 34 - 37

FLIPOT, J.L. (1967):

La fracture du métacarpien rudimentaire chez le cheval de sport.
Recueil Méd. Vétérin. 143, 731 - 736

FOERNER, J.J., u. C.W. MCILWRAITH (1990):

Splint bone fractures.
Vet. Clin. North Am. Eq. Pract. 6, 170 - 171

FREWEIN, J. (1967):

Die Faszien an den Schultergliedmaßen von Schwein, Rind und Pferd. Anordnung, Struktur und Bedeutung für den Einbau der Leitungsbahnen.
Acta anat., Suppl. 53, 76 - 91

GEARY, J.E. (1975):

The dynamics of the equine foreleg.
Master Thesis, University of Delaware.

GEBURECK, P., G. FREDOW u. W. SPERNER (1991):

Anlagekonzept eines Mikrofokusröntgensystems für die klinische Anwendung.
Radiologe 31, 407 - 412

GETTY, R. (1975):

Osteology, in: Sisson & Grossman's: The anatomy of domestic animals, 5. Aufl.
Verlag Saunders, Philadelphia, London, S. 290f, S. 316f

GOBLE, D.O. (1982):

The small metacarpal and metatarsal bones.
in: MANSMANN, R.A. u. E.S. MCALLISTER (Hrsg.): Equine Medicine and Surgery, 3. Aufl.
Verlag American Veterinary Publications, Santa Barbara, S. 1115 - 1120

GRAHAME, T. (1946):

The topographical anatomy of the limbs of the horse, 2. Aufl.
Verlag W. Green & Son, Edinburgh

HARDY, J., MARCOUX, M. u. L. BRETON (1991):

Clinical relevance of radiographic findings in proximal sesamoid bones of two-year-old standardbreds in their first year of race training.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 198, 2089 - 209

HARRISON, L.J., S.A. MAY u. G.B. EDWARDS (1991):

Surgical treatment of open splint bone fractures in 26 horses.
Vet. Rec., 128, 606 - 610

HAYNES, P.F. (1980):

Disease of the second and fourth metacarpal bones.
Vet. Clin. North Am. Large Anim. Pract. 2, 53 - 59

HEINZE, C.D. (1972):

Fractures of special interest.
in: Catcott, E.J. u. J.F. Smithcors (Hrsg.): Equine medicine and surgery, 2. Aufl.
American Veterinary Publications, Wheaton, S. 898 -900

HERTSCH, B.W., u. C. BECKER (1986):

Zum Vorkommen der aseptischen Nekrose im Ligamentum palmare bzw. plantare beim Pferd - ein Beitrag zur Differenzierung der Gleichbeinerkrankungen.
Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 93, 263 - 266

HERTSCH, B.W., R. ZELLER u. P. EULER (1976):

Frakturen im Bereich der Epi- und Apophysen beim Fohlen - Behandlung und Prognose.
Arch. tierärztl. Fortb. 2, 81 - 106

HICKMAN, J. (1976):

The treatment of some fractures of the forelimb in the horse.
Equine vet. J. 8, 30 - 33

HIGGINBOTHAM, R.L. (1974):

The use of sodium oleate for splint lameness in the standardbred.
in: 20th Proc. Annu. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 235 - 236

HONNAS, C.M. (1992):

Surgical treatment of selected musculoskeletal disorders of the forelimb.
in: J.A. Auer (Hrsg.): Equine Surgery., Verlag Saunders, Philadelphia, S. 1018 - 1023

JAHN, H.W., G.E. FACKELMAN u. G. PRATT (1986):

Strain patterns in the second metacarpal bone (Mc2) and their surgical significance.
Vet. Surg. 15, 124

JANSSON, N. (1996):

Griffelbensfrakturer hos hest - patogenese, diagnostik, terapi og prognose.
Dansk Veterinaertidsskrift 79, 15, 1/8, 663 - 667

- JENNY, J. (1959):
Advances in bone and joint surgery in large animals.
Proc. XVI. Congr. mundial de veterinaria, Madrid, 119 - 131
- JOHNSTON, C., L. ROEPSTORFF, S. DREVEMO u. N. RONÉUS (1995):
Kinematics of the distal forelimb during the stance phase in the fast trotting Standardbred.
Equine vet. J., Suppl. 18, 170 - 174
- JOHNSTON, C., L. ROEPSTORFF, S. DREVEMO u. P. KALLINGS (1996):
Kinematics of the distal hindlimb during stance phase in the fast trotting Standardbred.
Equine vet. J. 28, 263 - 268
- JONES, R.D., u. J.F. FESSLER (1977):
Observations on small metacarpal and metatarsal fractures with or without associated suspensory desmitis in standardbred horses.
Can. Vet. J. 18, 29 - 32
- KADLETZ, M. (1931):
Die Muskulatur der Beckengliedmaße des Pferdes und des Rindes nebst metrischen Angaben für das Pferd.
Zeitschr. f. d. ges. Anat. I. Abt., Bd. 95
- KADLETZ, M. (1932):
Anatomischer Atlas der Extremitätengelenke von Pferd und Hund.
Verlag Urban-Schwarzenberg, Berlin, Wien
- KAINER, R.A. (1989):
Adams' Lahmheit bei Pferden, 4. Aufl.
Verlag Schaper, Hannover
- KATZENMEIER, K. (1994):
Präparatorische, röntgenologische und klinische Befunde am Karpal- und Metakarpalskelett des Pferdes im Hinblick auf das Vorkommen und die Pathogenese der medialen Überbeine.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- KELLER, H. (1994):
Diagnostik und Therapie der Griffelbeinfrakturen beim Trabrennpferd.
in: 1. Int. Kongr. über Kleintier- und Pferdekrankheiten, Budapest, 1994, Ber., S. 73 - 76
- KLEIN, B. (1994):
Die stationär behandelten Erkrankungen an der Klinik für Pferdekrankheiten in den Jahren 1960 – 1989 und die Zusammensetzung des Patientengutes von 1976 – 1989.
Berlin, Fachbereich d. Freien Universität, Diss.
- KEUNE, C., G. GRENZ u. H. KELLER (1997):
Metakarpale Exostosen als Lahmheitsursache des Pferdes und eine Möglichkeit ihrer operativen Behandlung.
Pferdeheilk., 13, 117 - 127

- KINGSBURY, H.B., M.A. QUDDUS, J.R. ROONEY u. J.E. GEARY (1978):
A laboratory system for production of flexion rates and forces in the forelimb of the horse.
Am. J. vet. Res. 39, 365 - 369
- KOCH, G. (1959):
Die „berufsmäßigen“ Gliedmaßenkrankungen der Traber.
Berlin, Humboldt Univ., Diss.
- KOCH, T., u. R. BERG (1992):
Lehrbuch der Veterinär-Anatomie, 5. Aufl., Bd. 1 Bewegungsapparat.
Verlag Fischer, Jena, Stuttgart
- KÖHLER, A. (1903):
Untersuchungen über die Phalangenbänder der Haustiere und das Vorkommen der Sesambeine an den Zehen der Fleischfresser.
Arch. wiss. prakt. Tierheilk. 29, 69 - 108
- KÖNIG, H.E., u. H.G. LIEBICH (1999):
Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Bd. 1
Bewegungsapparat.
Verlag Schattauer, Stuttgart
- LEUTHOLD, A. (1966):
Die Griffelbeinfraktur beim Pferd.
Schweiz. Arch. Tierheilk. 108, 681 - 685
- LOCHNER, F.K., D.W. MILNE, E.J. MILLS u. J.J. GROOM (1980):
In vivo and in vitro measurement of tendon strain in the horse.
Am. J. vet. Res. 41, 1929 - 1937
- MADEICZYK, V. (1991):
Mikroangiographische Untersuchungen bei der Hufrehe des Pferdes mit der Fein-Focus-Methode.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- MCILWRAITH, W.C. (1989):
Adams' Lahmheit bei Pferden, 4. Aufl.
Verlag Schaper, Hannover
- MODRAKOWSKI, A. (1987):
Gleichbeinlahmheit bei Halbblutrennpferden.
Monatsh. Veterinärmed. 42, 96 - 97
- MOLINARI, C.E., S. SPITALE u. A. MARZOTTA (1989):
Fracturas de metacarpianos rudimentarias en el equino de deporte. Nuestra experiencia.
Veterinaria Argentina 6, 323 - 328
- MORGAN, J.P. (1973):
Radiology of the proximal sesamoid bone in the horse after trauma.
Tijdschr. Diergeneesk. 98, 995 - 1001

- MORGAN, J.P., J. NEVES u. T. BAKER (1991):
Equine radiography.
Iowa state university press, Ames
- MYERS, V.S., u. M.A. EMMERSON (1966):
The age and manner of epiphyseal closure in the forelegs of two arabian foals.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 7, 39 - 46
- NEMETH, F. (1973):
The pathology of sesamoiditis.
Tijdschr. Diergeneesk. 98, 1003 - 1024
- NEUBERTH, M. (1990):
Experimentell funktionelle Untersuchungen des distalen Bandapparates der Gleichbeine im Hinblick auf Dislokation nach Ruptur.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- NICKEL, R., A. SCHUMMER, K.H. WILLE u. H. WILKENS (1992):
Passiver Bewegungsapparat.
in: R. Nickel, A. Schummer u. E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. 1.
Verlag Parey, Berlin, Hamburg, S. 78, S. 94, S. 127, S. 237, S. 268 ff
- NUMANS, S.R., u. H.J. WINTZER (1961):
Einige neue Indikationen zur Knochen- und Gelenkchirurgie des Pferdes.
Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 74, 205 - 224
- O'BRIEN, T.R., J.P. MORGAN, J.D. WHEAT u. P.F. SUTER (1971):
Sesamoiditis in the thoroughbred: A radiographic study.
J. Am. Vet. Rad. Soc. 12, 75 - 87
- OELKERS, V. (1907):
Die Überbeine am Metakarpus des Pferdes.
Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.
- ORDIDGE, R.M. (1984):
The equine metacarpus. Part 1: The splint bones.
Veterinary Annual 24, 155 - 163
- PALLISTER, E.F. (1953):
Surgical treatment of the fractured splint bones.
Proc. Am. Vet. Med. Assoc. 1953, 390 - 392
- PETERSON, P.R., J.R. PASCOE u. J.D. WHEAT (1987):
Surgical management of proximal splint bone fractures in the horse.
Vet. Surg., 16, 367 - 372
- POULOS, P. (1988):
Radiographic and histologic assesment of proximal sesamoid bone changes in young and working horses.
in: 34th Proc. Annu. Conv. Am. Assoc. Equine Pract., 347 - 358

- QUDDUS, M.A., H.B. KINGSBURY u. J.R. ROONEY (1978):
A force and motion study of the foreleg of a standardbred trotter.
J. Equine Med. Surg. 2, 233 - 242
- QUICK, C.B., u. V.T. RENDANO (1979):
Equine radiology: the splint bones.
Mod. Vet. Pract. 60, 56 - 60
- RAY, C., u. G.M. BAXTER (1995):
Splint bone injuries in horses.
Comp. Cont. Educ. Pract. Vet., 17, 723 -731.
- RICHTER, W., O. DIETZ u. J. WIESER (1985):
Untersuchungen über Vorkommen, Ätiologie und Therapie der gedeckten, distalen Griffel-
beinfraktur des Pferdes unter besonderer Berücksichtigung der Wiedereinsatzfähigkeit bei
sportlicher Nutzung.
Monatsh. Veterinärmed. 40, 319 - 321
- RICHARDSON, D.W. (1990):
Fractures of the small metacarpal and metatarsal bones.
in: White, N.A., u. J.N. Moore (Hrsg.), Current practice of equine surgery.
Philadelphia, Lippincott, S. 636 - 641
- RIEMERSMA, D.J., H.C. SCHAMHARDT, W. HARTMANN u. J.L.M.A. LAMMERTINK
(1988a):
Kinetics and kinematics of the equine hind limb: In vivo tendon loads and force plate
measurements in ponies.
Am. J. vet. Res. 49, 1344 - 1352
- RIEMERSMA, D.J., A.J. v.d. BOGERT, H.C. SCHAMHARDT u. W. HARTMANN
(1988b):
Kinetics and kinematics of the equine hind limb: In vivo tendon strain and joint kinematics.
Am. J. vet. Res. 49, 1353 - 1359
- ROONEY, J.R. (1969):
Die Lahmheit des Pferdes.
Friedberg, Verlag Ahnert, S. 68 - 76
- ROONEY, J.R. (1986):
Pathogenesis of three lesions causing lameness of the foreleg in horses.
J. Equine vet. Science, 6, 330 - 332
- ROONEY, J.R., M.A. QUDDUS u. H.B. KINGSBURY (1978):
A laboratory investigation of the function of the stay apparatus of the equine foreleg.
J. Equine Med. Surg. 2, 173 - 180
- RUDERT, NN (1901):
Längenverhältnisse der Griffelbeine des Pferdes.
Berliner Thierärztliche Wochenschrift, --, 695 - 696 (Heft 46, 14/11/01)

SAARNI, J. (1919):

Die intrauterine Entwicklung der Extremitätenknochen des Pferdes.
Gießen, Justus Liebig-Universität, Veterinärmed. Fak., Diss.

SCHAUDER, W. (1952):

Die besonderen stoßbrechenden Einrichtungen an den Gliedmaßen des Pferdes, in angewandt-anatomischen Hinsicht.
Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 59, 35 - 38

SCHEBITZ, H., u. H. WILKENS (1978):

Atlas der Röntgenanatomie des Pferdes, 3. Aufl.
Verlag Parey, Berlin, Hamburg

SCHMALTZ, R. (1939):

Atlas der Anatomie des Pferdes, 5. Aufl., 2. Teil: Topographische Myologie.
Verlagsbuchhandlung Schoetz, Berlin, Tafel 37, 39, 40, 53

SCHMALTZ, R. (1919):

Anatomie des Pferdes.
Verlagsbuchhandlung Schoetz, Berlin, S. 139, 142, 144

SCHMIDT, G. (1960):

Epiphysen und Apophysen in der röntgenologischen Darstellung an den Vorder- und Hinterextremitäten der Fohlen.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

SCHÖTT, E. (1989):

Direkte Druckmessung im Hufgelenk beim Pferd - Ein Beitrag zur Pathogenese und Therapie von Strahlbein- und Hufgelenkserkrankungen beim Pferd.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

SCHRYVER, H.F., D.L. BARTEL, N. LANGRANA u. J.E. LOWE (1978):

Locomotion in the horse: Kinematics and external and internal forces in the normal equine digit in the walk and trot.
Am. J. vet. Res. 39, 1728 - 1733

SEIFERLE, E., u. J. FREWEIN (1992):

Aktiver Bewegungsapparat.
in: R. Nickel, A. Schummer u. E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.
Berlin, Verlag Parey, Bd 1, S. 284, S. 414, S. 451, S. 492 ff, S. 513 f

SILBERSIEPE, E. (1986):

Lehrbuch der speziellen Chirurgie für Tierärzte und Studierende, 16. Aufl.
Stuttgart, Verlag Enke, S. 335 - 339

SISSON, S. (1975a):

Syndesmology, in: Sisson & Grossman's: The anatomy of domestic animals, 5. Aufl.
Philadelphia, Verlag Saunders, S. 356 ff.

SISSON, S. (1975b):

Myology, in: Sisson & Grossman's: The anatomy of domestic animals, 5. Aufl.
Philadelphia, Verlag Saunders, S. 431

SKODA, K. (1912):

Anatomische Untersuchungen an einem Fall von Dydaktylie beider Schultergliedmaßen beim Pferd.

Anat. Anz. 41, 417 - 434

SONNICHSEN, H.V., u. J. KRISTOFFERSON (1981):

Rontgenologiske diagnoser i halhedsdagnostikken, 19. Tensionsfraktur af griffelben.

Dansk. Vet. Tidsskr. 64, 182

STASHAK, T.S. (1989):

Adams' Lahmheit bei Pferden, 4. Aufl.

Verlag Schaper, Hannover

STEPHENS, P.R., D.M. NUNAMAKER u. D.M. BUTTERWECK (1989):

Application of Hall-effect transducer for measurement of tendon strains in horses.

Am. J. Vet. Res. 50, 1089 - 1095

STIHL, H.G. (1968):

Frakturen als orthopädisches Problem beim Sportpferd.

Schweiz. Arch. Tierheilk. 110, 309 - 319

TEIGLAND, M.B. (1983):

Ein statistischer Überblick von chirurgisch-orthopädischen Eingriffen in einer Vollblutpraxis.

in: Knezevic, P.F. (Hrsg.): Internationale Tagung Orthopädie bei Huf- und Klautieren,
Verlag Schlütersche, Hannover, S. 417 - 421

THOMPSON, K.N., T.K. CHEUNG u. M. SILVERMANN (1992):

The influence of toe angle on strain characteristics of the deep digital flexor tendon, superficial flexor tendon, suspensory ligament and hoof wall.

Equine Athlete, 5, 5 -7

THOMPSON, K.N., u. T.K. CHEUNG (1994):

A finite element model of the proximal sesamoid bones of the horse under different loading conditions.

Vet. comp. orthop. traumatol. 7, 35 - 39

THRALL, D.E. (1994):

Textbook of veterinary diagnostic radiology, 2.Aufl.

Verlag Saunders, Philadelphia, London

ÜBERREITER, O. (1966):

Die spontane Griffelbeinfraktur bei Sportpferden.

Wien. Tierärztl. Monatsschr. 53, 404 - 407

VERSCHOOTEN, F., K. PEREMANS, F. GASTHUYS, A. DE MOOR, M. STEENHAUT u. P. DESMET (1987):

Osteomyelitis des Os metacarpale und metatarsale II und IV beim Pferd.
Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 94, 330 - 333

VERSCHOOTEN, F., F. GASTHUYS u. A. DE MOOR (1984):

Distal splint bone fractures in the horse: An experimental and clinical study.
Equine vet. J. 16, 532 - 536

WALLISER, U., u. K. FEIGE (1993):

Die konservative Therapie der proximalen offenen Griffelbeinfraktur.
Pferdeheilk. 9, 107 - 111

WELLING, E.K. (1993):

Evaluation of the efficacy of surgical intervention on middle and proximal splint bone injuries in 95 standardbred horses.
Vet. Surg. 22, 253

WILSON, D.A., G.J. BAKER, G.J. PIJANOWSKI, M.J. BOERO u. R.R. BADERTSCHER (1991):

Composition and morphologic features of the interosseus muscle in standardbreds and thoroughbreds.
Am. J. Vet. Res. 52, 133 - 139

WINTZER, H.J. (1997):

Krankheiten des Pferdes.
Berlin, Verlag Parey

WINTZER, H.J. (1960):

Röntgenologische Befunde bei Klauenbeinfrakturen des Rindes und Brüchen an den Griffelbeinen des Pferdes.
Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 73, 244 - 246

WISSDORF, H., H. GERHARDS u. B. HUSKAMP (1998):

Praxisorientierte Anatomie des Pferdes.
Hannover, Verlag Schaper

ZIETZSCHMANN, O., u. H. GRAU (1943):

in: Ellenberger-Baum - Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere, 18. Aufl.
Berlin, Verlag Springer, S. 137, 243, 245

ZIETZSCHMANN, O., u. O. KRÖLLING (1955):

Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Haustiere, 2. Aufl.
Berlin, Verlag Parey, S. 347 (Abb. 430), 360

Herrn Prof. Dr. Bodo W. Hertsch möchte ich für die Überlassung des interessanten Themas und für die jederzeit gewährte freundliche und unkomplizierte Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit vielmals danken.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Prof. Dr. Budras vom Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin für die großzügige Unterstützung im Rahmen des anatomischen Teils meiner Arbeit. Herrn PD Dr. Bragulla möchte ich ebenfalls herzlich für die sehr intensive Hilfe bei der Umsetzung der Abbildungen und Diagramme danken. Für die Anfertigung der Zeichnungen der Präparationen bin ich Frau Richter in ganz besonderem Dank verbunden.

Herrn Prof. Dr. Hamm, Direktor des Instituts für Röntgendiagnostik des Universitätsklinikums Charité, Medizinische Fakultät der Humboldt – Universität zu Berlin und seinem Mitarbeiter Herrn Dr. Rogalla danke ich für die Möglichkeit der Nutzung des dortigen Computertomographen.

Den Mitarbeitern der Abteilung für Radiologie der Klinik für Pferde danke ich sehr für die Unterstützung und gute Zusammenarbeit.

Frau Dr. Arndt vom Institut für Biometrie am Fachbereich Veterinärmedizin der FU Berlin, danke ich für ihre geduldige Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Herrn Frank Thode danke ich für die Bereitstellung der Mikrosäge.

Der Rossmetzgerei Walter, Genthin, ist für die Kooperation bei der Präparatebeschaffung sehr zu danken.

Meinem Kollegen und Mitdoktoranden Friedrich Appelbaum danke ich für die hervorragende Zusammenarbeit.

Lebenslauf

Name:	Claudius Krieg
Geburtsdatum:	7. September 1967
Geburtsort:	Stuttgart
5.9.1973 – 20.6.1986	Besuch der Albert-Schweitzer-Grundschule und des Freihof-Gymnasiums in Göppingen, Allgemeine Hochschulreife
1.9.1986 – 30.4.1988	Zivildienst beim Deutschen Roten Kreuz in Göppingen, Ausbildung zum Rettungshelfer
2.11.1988 – 26.7.1994	Studium der Veterinärmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Ablegen der Tierärztlichen Prüfung, Approbation als Tierarzt
24.10. 1994 – 1.4.1997	Doktorand an der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
1.4.1997 – 30.9. 1999	Assistent an der Tierärztlichen Klinik für Pferde und Kleintierpraxis Dr. F. Müller, Bad Zwischenahn (WBE zum Fachtierarzt für Pferde)
1.3.2000 – 15.6.2001	Assistent an der Tierärztlichen Klinik für Pferde Dr. N. Beer, Babenhausen (WBE zum Fachtierarzt für Pferde)
6.7.2000	Erteilung der Zusatzbezeichnung „Tierärztliche Betreuung von Pferdesportveranstaltungen“ durch die Bayrische Landestierärztekammer

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegenden Untersuchungen unter Zuhilfenahme der angegebenen Hilfsmittel und Literaturstellen selbstständig durchgeführt habe.

Claudius Krieg