

**Anatomische Beschreibung des Mesotendineums zwischen der oberflächlichen  
Beugesehne und dem Fesselringband sowie die Relevanz anatomischer Formvariationen  
des Mesotendineums für die Desmotomie des Fesselringbandes**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Saskia Maria Orth

Aus dem Institut für Veterinär-Anatomie,-Histologie und -Embryologie

Betreuer: Prof. Dr. Carsten Staszyk

**Anatomische Beschreibung des Mesotendineums zwischen der oberflächlichen  
Beugesehne und dem Fesselringband sowie die Relevanz anatomischer Formvariationen  
des Mesotendineums für die Desmotomie des Fesselringbandes**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**Saskia Maria Orth**

Tierärztin aus Stuttgart

Gießen 2023

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. Stefan Arnhold

Gutachter:

1. Gutachter: Prof. Dr. Staszyk

2. Gutachterin: Prof. Dr. Burk-Luibl

Tag der Disputation: 27.03.2023

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
1. Einleitung .....	1
2. Literatur .....	3
2.1. Anatomie der Fesselregion (Regio metacarpophalangea/Regio metatarsophalangea)....	3
2.1.1. Knöcherne Grundlagen .....	3
2.1.2. Bänder .....	4
2.1.3. Die Zehenbeuger des Pferdes.....	5
2.1.4. Die Fesselbeugesehnenscheide (Vagina synovialis tendineum digitorum manus/pedis).....	6
2.1.5. Mesotendineum der Fesselbeugesehnenscheide .....	11
2.2. Klinischer Hintergrund .....	14
2.2.1. Akute aseptische Tenosynovitis.....	14
2.2.2. Chronische aseptische Tenosynovitis .....	14
2.2.3. Das Fesselringbandsyndrom .....	14
2.2.4. Klinik .....	16
2.2.5. Diagnose .....	16
2.2.6. Therapie .....	21
2.2.7. Prognose.....	23
2.3. Entwicklung der chirurgischen Methodik .....	25
2.3.1. Techniken der Desmotomie .....	25
2.3.2. Vor- und Nachteile der beschriebenen Techniken im Vergleich.....	27
3. Material und Methoden .....	31
3.1. Zielsetzung.....	31
3.2. Tiermaterial .....	31
3.3. Methode .....	31

3.3.1. Verfahren und Messungen .....	32
4. Ergebnisse .....	35
4.1. Morphometrische Bewertung .....	35
4.1.1. Fesselringband (Gruppe 1 und 2).....	35
4.1.2. Anheftung des Mesotendineums an der OBS (Gruppen 1 und 2) .....	35
4.1.3. Messungen des Mesotendineums an der OBS (Gruppen 1 und 2) .....	41
4.1.4. Messungen des Mesotendineums an OBS und FRB (Gruppe 2).....	42
4.2. Eröffnung der FBSS (Gruppe 1).....	44
4.3. Verteilung der Typen.....	45
5. Diskussion .....	46
5.1. Morphologie des Mesotendineums.....	46
5.2. Eröffnung der FBSS: chirurgische Relevanz.....	47
5.3. Relevanz für die klinische Untersuchung .....	48
5.4. Limitationen der Studie .....	50
5.5. Schlussfolgerung .....	50
6. Zusammenfassung .....	52
7. Summary .....	54
8. Referenzen.....	56
9. Eigene Publikationen.....	62
10. Erklärung.....	63
11. Danksagungen .....	64

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CT	Computertomographie
FBSS	Fesselbeugesehnenscheide
FRB	Fesselringband
FRBS	Fesselringbandsyndrom
HL	linke Hintergliedmaße
HR	rechte Hintergliedmaße
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
NaCl	Natriumchlorid
NSAIDs	Nichtsteroidale Antiphlogistika
OBS	Oberflächliche Beugesehne
Tab.	Tabelle
TBS	Tiefe Beugesehne
VL	linke Vordergliedmaße
VR	rechte Vordergliedmaße

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zehenfaszien.....	8
Abbildung 2: Halbschematischer paraaxialer Sagittalschnitt durch die Vorderzehe eines Pferdes .....	10
Abbildung 3: Schematischer Querschnitt eines Fesselgelenks auf Höhe der proximalen Sesambeine. ....	12
Abbildung 4: Transversale Schnittebene CT, Darstellung eines Risses der Manica flexoria..	20
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Schnittführung bei der Mittellinien- Desmotomie und der lateropalmaren/-plantaren Desmotomie des Fesselringbandes.....	33
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Messpunkte der Anheftung des Mesotendineum an OBS und FRB .....	34
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 1 .....	36
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 2.....	37
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 3.....	38
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 4.....	39
Abbildung 11: Übersicht der verschiedenen Typen des Mesotendineums .....	40

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ursprung und Ansatz der Sesambeinbänder .....	4
Tabelle 2: Häufigkeit der Darstellung der Ränder der Beugesehnen, der Manica flexoria, des Mesotendineums der OBS und des FRBs in Prozent in CT und Kontrastmittel-CT.....	20
Tabelle 3: Vergleichende Übersicht der chirurgischen Techniken der Desmotomie.....	28
Tabelle 4: Anheftung des Mesotendineums an der OBS .....	41
Tabelle 5: Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB sowie die retrospektive Einteilung in die verschiedenen Typen .....	43
Tabelle 6: Eröffnung FBSS nach Mittellinien-Desmotomie.....	44
Tabelle 7: Verteilung der verschiedenen Typen des Mesotendineums .....	45



# 1. Einleitung

Eine in der Pferdemedizin häufig diagnostizierte Ursache für chronische Lahmheiten ist das sogenannte Fesselringband-Syndrom (FRBS) (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Nixon et al., 1993; Dik et al., 1995; Van den Berg et al., 1995; Wilderjans et al., 2003). Das klinische Erscheinungsbild wird durch Lahmheit in Verbindung mit einer deutlich gefüllten Fesselbeugesheide (FBSS) geprägt (Gerring und Webbon, 1984; Barr et al., 1995; Dik et al., 1995; Wilderjans et al., 2003; Smith und Wright, 2006; Owen et al., 2008; Arensburg et al., 2011). Aufgrund der nur eingeschränkten Elastizität des Fesselringbandes (Lig. anulare palmare/plantare) entsteht bei abnorm gefüllter FBSS eine charakteristische Einziehung in Höhe des Fesselgelenks, welche sich aus lateraler Sicht prägnant darstellt (Gerring und Webbon, 1984; Wilderjans et al., 2003). Die Entstehung eines FRBS ist nicht monokausal, sondern kann durch verschiedene ätiopathologische Prozesse ausgelöst werden (Dik et al., 1995). Hierzu zählen primäre und sekundäre Tenosynovitiden oder auch eine Desmitis des Fesselringbandes (FRBs).

Unabhängig von der primären Ursache hat sich die Desmotomie (Durchtrennung des FRBs) als effektivste Behandlungsmöglichkeit erwiesen (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Kersjes, 1985; Nixon, 1990a; Dik et al., 1995).

Im Laufe der Jahre sind verschiedene Techniken der Desmotomie des FRBs erprobt und beschrieben worden. Zu nennen sind die konventionelle Desmotomie, die blinde Desmotomie, die extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie, die endoskopisch geleitete Desmotomie sowie die ultraschallassistierte Desmotomie (Adams, 1974; Norrie, 1977; Gerring und Webbon, 1984; Kerjes, 1985; Nixon, 1990a; Nixon et al., 1993; Hawkins und Churchill, 1998; Espinosa et al., 2017).

Derzeit ist die endoskopisch geleitete Desmotomie, unter Allgemeinanästhesie, verbreitet und wird standardmäßig durchgeführt. Die Endoskopie, im Falle der Untersuchung der FBSS auch Tendovaginoskopie oder Tenoskopie genannt, bietet den Vorteil der Visualisierung intrasynovialer Strukturen und die Möglichkeit der direkten Behandlung im Falle von Pathologien dieser. Des Weiteren weist die minimalinvasive Methode eine geringe Komplikationsrate im postoperativen Verlauf auf (Nixon et al., 1993; Fortier et al., 1999; Arensburg et al., 2011). Allerdings ist die tenoskopische Desmotomie relativ kostenintensiv und aufgrund der notwendigen Allgemeinanästhesie mit einem entsprechenden Narkoserisiko behaftet. Dementsprechend kann dieses Verfahren nicht uneingeschränkt bei jedem Patienten angewendet werden.

Die extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie des FRBs bietet die Möglichkeit der Desmotomie, ohne Allgemeinanästhesie, am stehend sedierten Pferd und ohne das Risiko der Eröffnung der FBSS. Das FRB wird hierbei palmaroaxial bzw. plantaroaxial durchtrennt. Auf dieser Höhe befindet sich ein Mesotendineum zwischen FRB und oberflächlicher Beugesehne (OBS), durch das ein extrasynovialer Raum generiert wird und keine Eröffnung der FBSS im Zuge der Desmotomie stattfindet (Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998). Das Risiko der Fistelbildung und Infektion der Sehnenscheide ist somit minimiert. Die extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie ist die einzige Möglichkeit der Desmotomie ohne Eröffnung der FBSS (Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998).

Tenoskopische Erfahrungen weisen auf eine unterschiedliche Ausprägung des Mesotendineums der OBS hin (persönliche Kommunikation mit Prof. A. Rijkenhuizen). Hieraus resultierte die Frage, ob die extrasynoviale Durchtrennung des FRBs, wie sie bei der Mittellinien-Desmotomie beschrieben wird (Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998), nicht immer wie angenommen möglich ist.

Es ist bekannt, dass das Mesotendineum zwischen OBS und FRB in jedem Pferd ausgebildet ist (Gerring and Webbon, 1984; Schramme und Smith, 2010; Owen et al., 2012). Eine Studie zur extrasynovialen Mittellinien-Desmotomie beschäftigte sich mit der Morphologie des Mesotendineums an 10 Gliedmaßen, wobei keine klinisch relevanten Unterschiede in der Ausprägung des Mesotendineums festgestellt wurden (Hawkins und Churchill, 1998).

In Vorbereitung der vorgelegten Studie wurde die Hypothese aufgestellt, dass es morphologische Unterschiede in der Anatomie des Mesotendineums zwischen den Pferden gibt, die zu einer unvermeidlichen Eröffnung der FBSS während der Mittellinien-Desmotomie führen.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Morphologie des Mesotendineums in seiner Länge und Breite anatomisch zu beschreiben und daraus Konsequenzen für die Durchführung und Prognose bei einer Mittellinien-Desmotomie abzuleiten.

## **2. Literatur**

### **2.1. Anatomie der Fesselregion (Regio metacarpophalangea/Regio metatarsophalangea)**

Die Anatomie der Fesselregion der Schultergliedmaße (Regio metacarpophalangea) weist bezüglich der Anatomie der Fesselregion der Beckengliedmaße (Regio metatarsophalangea) in der Spezies Pferd hohe Analogien auf. Im Hinblick auf eine Beschreibung der morphologischen Grundlagen der Fesselregion kann daher auf eine differenzierte Betrachtungsweise verzichtet werden. Dementsprechend werden im Folgenden ausschließlich die Fachtermini für die Fesselregion der Schultergliedmaße verwendet, um die allgemeingültigen anatomischen Verhältnisse zu beschreiben.

Das zentrale Element der Fesselregion stellt das Fesselgelenk (Articulatio metacarpophalangea) zusammen mit seinen Hilfseinrichtungen dar. Biomechanisch betrachtet, stellt das equine Fesselgelenk eine höchst spezialisierte Konstruktion dar, die enorme Krafteinwirkungen federnd abfangen muss. Diesen Anforderungen Rechnung tragend entwickelte sich evolutionär ein komplexes Konstrukt aus Sehnen, umgewandelten Muskeln und Gelenkbändern, die in ihrer Gesamtheit den sogenannten Fesseltrageapparat darstellen. Zusätzlich wird das Fesselgelenk sowohl dorsal als auch palmar von Endsehnen der digitalen Muskulatur überquert. Die folgenden Erläuterungen sind auf Strukturkomponenten fokussiert, die zum Verständnis der durchgeführten Datenerhebung von besonderer Wichtigkeit sind.

#### **2.1.1. Knöcherner Grundlagen**

Das Fesselgelenk setzt sich aus vier Knochen zusammen. Demnach handelt es sich um ein zusammengesetztes Gelenk. Hierzu zählen der distale Anteil des dritten Metakarpalknochens (Os metacarpale III), die beiden proximalen Sesambeine (Ossa sesamoidea proximalia) sowie das Fesselbein (Os compedale). Distal schließt sich das Krongelenk (Articulatio interphalangea proximalis manus) an, in welchem Fesselbein und Kronbein (Os coronale) gelenkig miteinander verbunden sind (König und Liebich, 2012).

### 2.1.2. Bänder

Bei dem Fesselgelenk handelt es sich um ein straff geführtes Scharniergelenk, in dem die vier Knochen durch Seitenbänder und Sesambeinbänder verbunden sind.

Die Seitenbänder (Ligg. collateralia) teilen sich in zwei Anteile, einen oberflächlichen und einen tiefen. Der tiefe Anteil ist mit dem Stratum fibrosum der Gelenkkapsel verbunden (Wissdorf et al., 2010).

Insgesamt werden 15 Sesambeinbänder unterschieden, die sich in drei Gruppen einteilen lassen. Dazu zählen die proximalen, mittleren und distalen Sesambeinbänder (Tab.1). Das sogenannte Lig. palmare stellt eine Faserknorpelplatte dar, in welche die beiden Sesambeine eingelagert und dadurch fest verbunden sind. Die palmare Seite des Lig. palmare ist konkav geformt und dient als Gleitrinne für die tiefe Beugesehne (Scutum proximale).

*Tabelle 1: Ursprung und Ansatz der Sesambeinbänder (Wissdorf et al., 2010 mod.)*

		Ursprung	Ansatz
<b>Proximale Sesambeinbänder</b>	Lig. metacarpointersesamoideum	Distal am Os metacarpale III	Am Lig. palmare zwischen den proximalen Sesambeinen
	Endschenkel M. interosseus medius	aus M. interosseus in Höhe des distalen Drittel MC III	Proximal und abaxial an den proximalen Sesambeinen
<b>Mittlere Sesambeinbänder</b>	Lig. sesamoideum collaterale mediale/laterale	Abaxial am gleichseitigen Sesambein	Mit einem Schenkel in der Bandgrube des MC III und mit zweitem Schenkel an der Emittetia palmaris des Fesselbeins
	Lig. palmare	Verbindet proximale Sesambeine	
<b>Distale Sesambeinbänder</b>	Lig. sesamoideum rectum	Axial an der Basis beider proximaler Sesambeine	Starker oberflächlicher Anteil an der Kronbeinlehne, tiefer Anteil an der Spitze des Fesselbeindreiecks
	Ligg. sesamoidea obliqua	Abaxial an der Basis beider proximaler Sesambeine	Gleichseitige Fesselbeinleiste
	Ligg. sesamoidea cruciata	Axial an der Basis der proximalen Sesambeine	Palmarrand des Fesselbeins in der Nähe der Sagittalrinne
	Ligg. sesamoidea brevia	Axial an der Basis der proximalen Sesambeine	Palmaroabaxial und proximal am Rand des Fesselbeins
	Unterstützungsäste des M. interosseus medius zur gemeinsamen Strecksehne	In Höhe der abaxialen Sesambeinflächen jederseits aus dem M. interosseus medius	Verbindung mit Strecksehne proximal des Kronengelenks

### **2.1.3. Die Zehenbeuger des Pferdes**

In der palmaren Region des Fesselgelenks liegen die beiden Beugesehnen der Zehengelenke des Pferdes. Unterschieden werden die oberflächliche Beugesehne (Tendo m. flexor digitalis superficialis) und die tiefe Beugesehne (Tendo m. flexor digitalis profundus).

#### **2.1.3.1. Die oberflächliche Beugesehne**

Die oberflächliche Beugesehne (OBS) der Vordergliedmaße bildet sich proximal des Karpus aus dem Muskelbauch des gleichnamigen Muskels (M. flexor digitalis superficialis) und entspringt am Epicondylus medialis des Humerus. Ca. 11 cm proximal des Radiokarpalgelenks (Articulationes antebrachioacarpeae) nimmt sie ein Unterstützungsband (Lig. accessorium) auf, welches kaudomedial am Radius entspringt (Denoix, 1994). Die OBS zieht mediopalmar über die Karpalbeuge durch den Karpaltunnel, verläuft von da an sehnig und liegt der tiefen Beugesehne (TBS) in Höhe des Metakarpus halbmondförmig, palmar auf (Denoix, 1994; König und Liebich, 2012). Proximal des Fesselgelenks bildet die OBS eine Manschette, die sog. Manica flexoria (Denoix, 1994; Wissdorf et al., 2010; Nomina Anatomica Veterinaria, 2017), welche die TBS umhüllt. In der Fesselbeuge umgreift die OBS die TBS erneut mit einem zweiten Gurt (Manica flexoria distale). Auf Höhe des distalen Fesselbeins spaltet sich die OBS auf und inseriert mit zwei Endschenkeln distal an der Tuberositas flexoria des Kronbeins (Denoix, 1994; König und Liebich, 2012) sowie mit einem schwächeren Ast distal am Fesselbein (Wissdorf et al., 2010; König und Liebich, 2012).

Auch an der Hintergliedmaße entsteht der Sehnenstrang (Tendo m. flexor digitalis superficialis) aus dem gleichnamigen Muskel (M. flexor digitalis superficialis). Der Ursprung liegt in der Fossa supracondylaris ossis femoris. Die OBS zieht in Höhe des Tarsus über medial nach plantar und liegt dem Tuber calcanei als Fersenbeinkappe auf (König und Liebich, 2012). Der distale Verlauf gleicht dem der Vordergliedmaße (Denoix, 1994; König und Liebich, 2012).

#### **2.1.3.2. Die tiefe Beugesehne**

Die TBS der Vordergliedmaße ist die sehnige Fortführung des M. flexor digitalis profundus (Denoix, 1994; König und Liebich, 2012). Dieser setzt sich aus insgesamt drei Köpfen zusammen, dem Caput humerale, radiale und ulnare, wobei sich das Caput humerale ebenfalls aus drei Muskelbäuchen zusammensetzt, die nomenklatorisch allerdings nicht weiter unterschieden werden. In Höhe des Karpalgelenks (Articulatio carpi) vereinigen sich die Endsehnen der einzelnen Muskelköpfe und bilden die TBS. Diese verläuft medial des Os carpi accessorium und palmar des Lig. carpi radiatum über die Karpalbeuge hinweg und von da an palmar des Metakarpus, wo sie ein Unterstützungsband (Lig. accessorium) aufnimmt (König

und Liebich, 2012). Das Unterstützungsband geht aus dem Lig. carpi radiatum palmar am Karpalgelenk hervor (Wissdorf et al., 2010) und vereinigt sich dann auf mittlerer Höhe des Metakarpus mit der Dorsalfläche der TBS (Denoix, 1994). In Höhe des Fesselgelenks wird die TBS von der Manica flexoria umfasst und liegt dem Scutum proximale auf. Die TBS zieht weiter distal über das Strahlbein, dort wird sie von der Bursa podotrochlearis unterlagert und inseriert an der Facies flexoria des Hufbeins (König und Liebich, 2012).

An der Beckengliedmaße stellt die TBS ebenfalls die Endsehne des M. flexor digitalis profundus dar, welcher aus drei selbstständigen Anteilen besteht, dem M. tibialis caudalis, dem M. flexor digitalis lateralis und dem M. flexor digitalis medialis (König und Liebich, 2012). Ab Mitte des Metatarsus gleichen sich die tiefen Beugesehnen an Hinter- und Vordergliedmaße weitestgehend (König und Liebich, 2012). Allerdings ist das Lig. accessorium an der Hintergliedmaße wesentlich schwächer ausgebildet.

#### **2.1.4. Die Fesselbeugesehnenscheide (Vagina synovialis tendineum digitorum manus/pedis)**

Beide Beugesehnen werden sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmaße, in der Region des Fesselgelenks und der Fesselbeuge, von einer gemeinsamen FBSS umfasst (Denoix, 1994; Wissdorf et al., 2010; König und Liebich, 2012).

Allgemein sind Sehnenscheiden (Vaginae synoviales) schlauchförmige Hüllen, die Sehnen umfassen und funktionell in ihrer Gleitfähigkeit unterstützen. Ein Spaltraum zwischen der inneren Bewandung der Sehnenscheide und der Sehne (Cavum synoviale) ist mit Synovia gefüllt. Die Auskleidung der inneren Wand einer Sehnenscheide wird als Stratum synoviale bezeichnet, welches aus zwei verschiedenen Typen von Synovialdeckzellen besteht. Typ A leitet sich von Makrophagen ab und ist zur Resorption von Synovialflüssigkeit befähigt. Synovialdeckzellen des Typs B werden als speziell differenzierte Fibroblasten angesehen, welche Synovialflüssigkeit produzieren und in das Cavum synoviale sezernieren. Durch die koordinierte Funktionalität der Synovialdeckzellen wird ein stetiger Austausch der Synovialflüssigkeit bei gleichbleibendem Volumen gewährleistet. Pathologische Stimuli können zu einer vermehrten Sezernierung von Synovialflüssigkeit und damit zu einer vermehrten Füllung einer Sehnenscheide führen. Das Stratum synoviale bleibt nicht auf die Innenauskleidung der Sehnenscheide beschränkt, sondern geht in Form einer Doppellamelle auf die Sehne über und umfasst diese. Auf diese Weise entsteht eine kontinuierliche, lückenlose Auskleidung des Cavum synoviale mit Synovialdeckzellen. Das verbindende Element zwischen Sehnenscheidenwand und Sehne entspricht strukturell dem Konstruktionsprinzip eines Gekröses, welches als Mesotendineum bezeichnet wird (Nickel et al., 2004; König und

Liebich, 2012).

Die FBSS erstreckt sich vom distalen Drittel des Metakarpus/Metatarsus bis hin zur palmaren/plantaren Aussackung des Hufgelenks (Denoix, 1994; Wissdorf et al., 2010) und misst bei einem mittelgroßen Pferd in der Länge ca. 150-200mm (Wissdorf et al., 2010). Entsprechend der topographischen Orientierung wird eine palmare und eine dorsale Wand der FBSS unterschieden (König und Liebich, 2012).

#### **2.1.4.1. Die palmare Wand der Fesselbeugesehnenscheide**

Die palmare Wand der FBSS wird von drei Zehenfaszien flankiert, die zusammen die Zehenbinde bilden (Denoix, 1994; Wissdorf et al., 2010). Die palmare Wand der FBSS und die Zehenbinde sind stellenweise fest miteinander verklebt. Man unterscheidet dabei von proximal nach distal das FRB, die vierzipfelige Fesselplatte (Pars cruciformis vaginae fibrosae) und die Sohlenbinde (Lig. anulare digiti). Diese Strukturelemente stellen lokale, kollagenfaserige Verstärkungen in der Wand der FBSS dar. Sie dienen der Stabilisierung der FBSS und erzeugen dadurch einen stabilen Gleittunnel für die Beugesehnen.

Das FRB ist strukturell ein straffes Ligament, welches beidseits abaxial der proximalen Sesambeine inseriert und subkutan lokalisiert ist (Gerring and Webbon, 1984; Dik et al., 1991; Denoix, 1994). In der Sagittalen zwischen FRB und OBS ist ein Mesotendineum ausgebildet. Im Bereich der Fesselbeuge schließt sich die vierzipfelige Fesselplatte an. Sie gibt insgesamt vier Insertionsschenkel an das Fesselbein ab. Die beiden proximalen Schenkel inserieren medial bzw. lateral im proximalen Teil des Fesselbeins und stehen mit dem FRB in Verbindung (Wissdorf et al., 2010; König und Liebich, 2012). Die zwei distalen Schenkel inserieren medial bzw. lateral im distalen Drittel des Fesselbeins (Wissdorf et al., 2010; König und Liebich, 2012). Sie sind mit den Endschenkeln der OBS verwachsen (Wissdorf et al., 2010) und stehen mit der Sohlenbinde in Verbindung (König und Liebich, 2012). Die vierzipflige Fesselplatte ist zu großen Teilen mit der OBS verwachsen (Denoix, 1994).

Den distalen Anteil der Zehenbinde bildet die Sohlenbinde. Sie zieht von der gemeinsamen Strecksehne kommend palmar/plantar über die TBS und inseriert mit dieser am Hufbein (Nickel et al., 2004; Wissdorf et al., 2010).

Die folgende Abbildung 1 stellt schematisch die Anteile der Zehenfaszie dar.

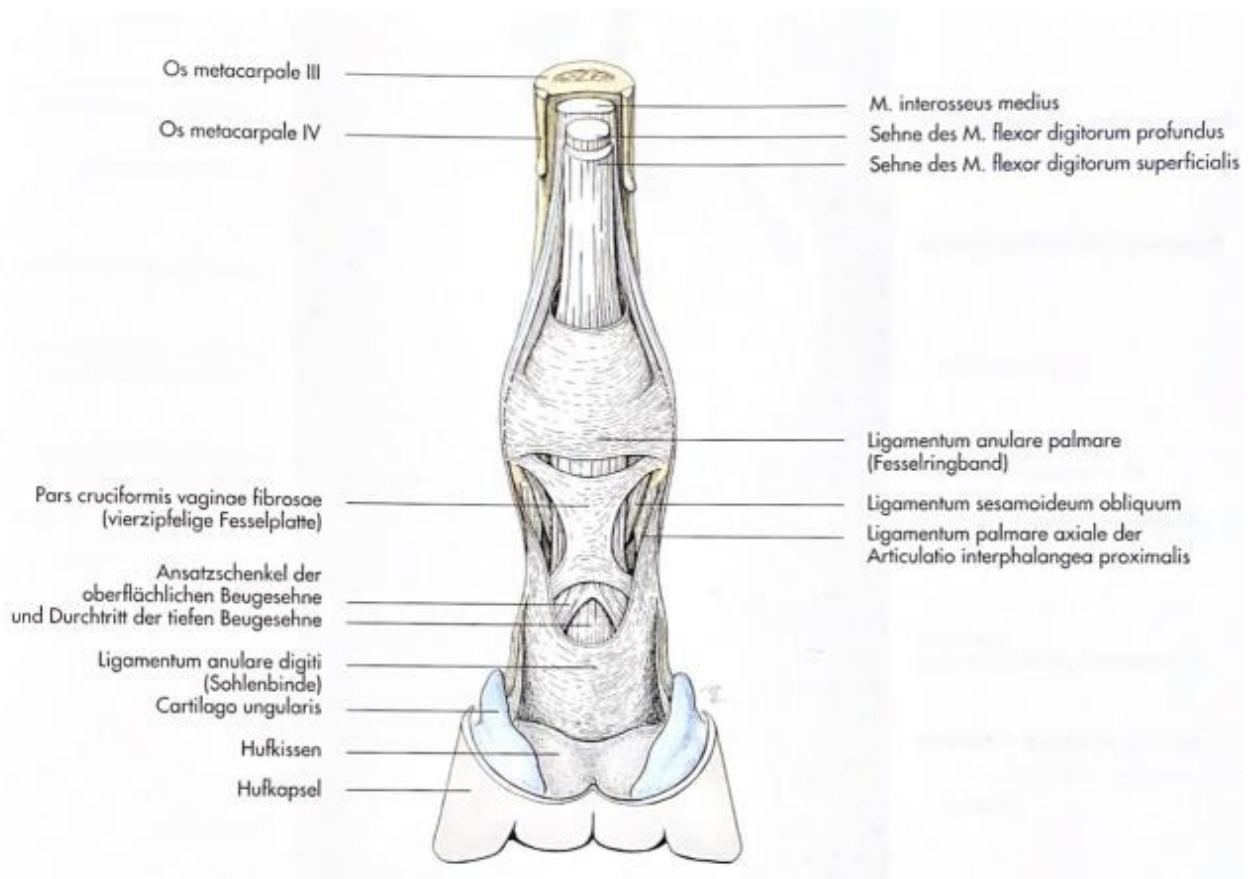


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zehenfaszien

(Quelle: König H.E., Liebich H. G. (2012) *Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Fünfte Auflage, Schattauer GmbH, Stuttgart, Seite 207*)

#### 2.1.4.2. Die dorsale Wand der Fesselbeugesehnenscheide

Die dorsale Wand der FBSS liegt in ihrem proximalen Teil der Palmarfläche des Röhrbeins, proximal der proximalen Sesambeine, bindegewebig an, ohne die Äste des M. interosseus zu umschließen. Im weiteren Verlauf wird sie von proximal nach distal von den beiden Gleitkörpern der tiefen Beugesehne (Scutum proximale und medium) und den distalen Sesambeinbändern gebildet. Die dorsale Wand der FBSS reicht bis zum Kronbein (König und Liebich, 2012).

Die Konturen der Zehenbinde zwingen die FBSS in ein markantes, räumliches Muster, welches durch blindsackähnliche Aussackungen gekennzeichnet ist. Insgesamt werden acht Blindsäcke unterschieden, die sich zwischen den Konturlinien der Zehenbinde in palmare Richtung ausbuchten. Es werden zwei proximale Endblindsäcke, zwei proximale Seitenblindsäcke, zwei distale Seitenblindsäcke, ein unpaarer Palmar-/Plantarblindsack und einen unpaarer distaler Endblindsack beschrieben (Wissdorf et al., 2010). Bei Füllung der Sehnenscheide treten die Blindsäcke deutlich zum Vorschein. Die proximalen Endblindsäcke sind proximal des FRBs zu



finden. Die proximalen Seitenblindsäcke zeichnen sich zwischen dem distalen Rand des FRBs und den proximalen Schenkeln der vierzipfligen Fesselplatte ab. Die Aussackungen der distalen Seitenblindsäcke werden zwischen den Schenkeln der vierzipfligen Fesselplatte sichtbar. Distal der distalen Schenkel der vierzipfligen Fesselplatte ist, bei Füllung der FBSS, der unpaare Palmar-/Plantarblindsack deutlich zu erkennen. Der bis an die palmare/plantare Hufgelenksaussackung angrenzende unpaare distale Endblindsack ist, auch bei vermehrter Füllung, von außen nicht zu erkennen (Wissdorf et al., 2010).

Die folgende schematische Abbildung eines paraaxialen Sagittalschnitts durch die Vorderzehe eines Pferdes stellt die angesprochenen Strukturen in Teilen dar und dient der Übersicht (Abb.2).

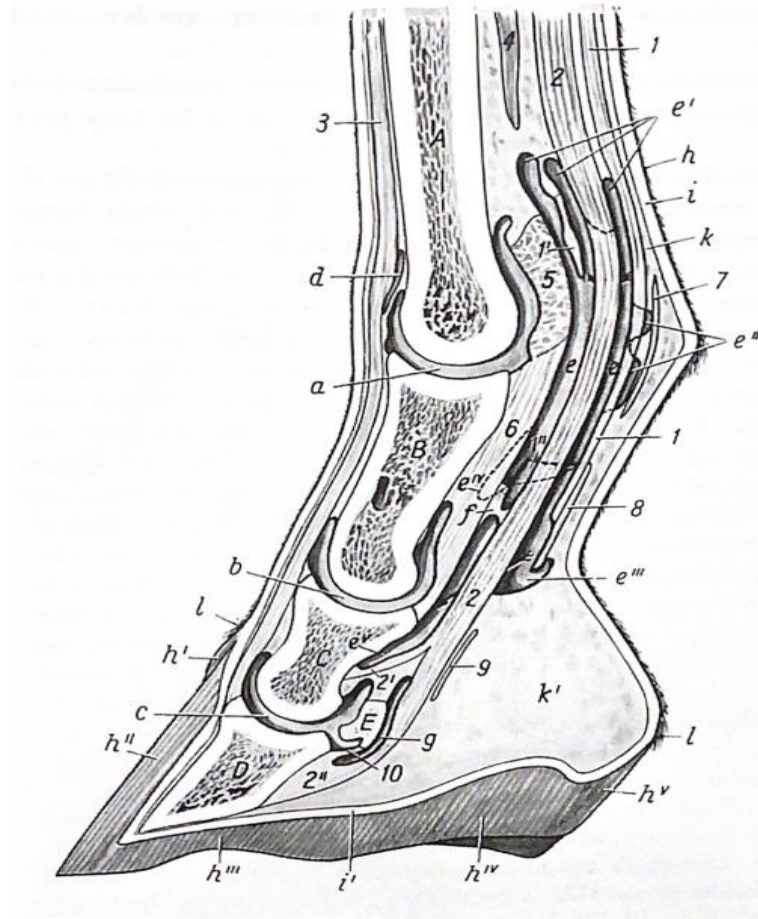


Abbildung 2: Halbschematischer paraaxialer Sagittalschnitt durch die Vorderzehe eines Pferdes

(Quelle: Nickel R., Schummer A., Seiferle E. (2004) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I Bewegungsapparat 8. Unveränderte Auflage, Parey Verlag, Stuttgart, 256)

Legende: 1 oberflächliche Beugesehne, 1' ihre proximale, 1'' ihre distale Manschette um die tiefe Beugesehne (2); 2 tiefe Beugesehne, 2' ihr Kronbeinschenkel, 2'' ihr Endast ans Hufbein; gemeinsame Strecksehne; 4 M. interosseus medius; 5 Lig. Palmare; 6 Lig. Sesamoideum rectum; 7 Fesselringband; 8 vierzipfelige Fesselplatte; 9 Sohlenbinde; 10 Strahlbeinhufbeinband

A Hauptmittelfußknochen (Mc 3); B Fesselbein; C Kronbein; D Hufbein; E Strahlbein

a Gelenksack des Fesselgelenks; b Gelenksack des Krongelenks; Gelenksack des Hufgelenks; d Schleimbeutel unter der Strecksehne am Fesselgelenk; e Fesselbeugesehnenscheide, e' vordere, mittlere und hintere Nische des proximalen Endblindsackes; e'' ihre Ausbuchtungen, welche die oberflächliche Beugesehne unter dem Fesselringband palmar umfassen; e''' unpaarer Palmarblindsack; eIV Ausbuchtung zwischen Lig. Sesamoideum rectum und obliquum; eV distaler Endblindsack der Fesselbeugesehnenscheide; f Vinculum tendinis zwischen geradem Sesambeinband und Vorderfläche der tiefen Beugesehne; g Bursa podotrochlearis; h Epidermis; h' Glasurschicht; h'' Schutzschicht der Hornwand; h''' Hornsohle; hIV Hornstrahl; hV Ballenhorn der Hufkapsel; i Lederhaut; i' Huflederhaut; k Unterhaut; k' Strahl- und Ballenpolster; l Kronrand

## **2.1.5. Mesotendineum der Fesselbeugesehnenscheide**

### **2.1.5.1. Definition Mesotendineum**

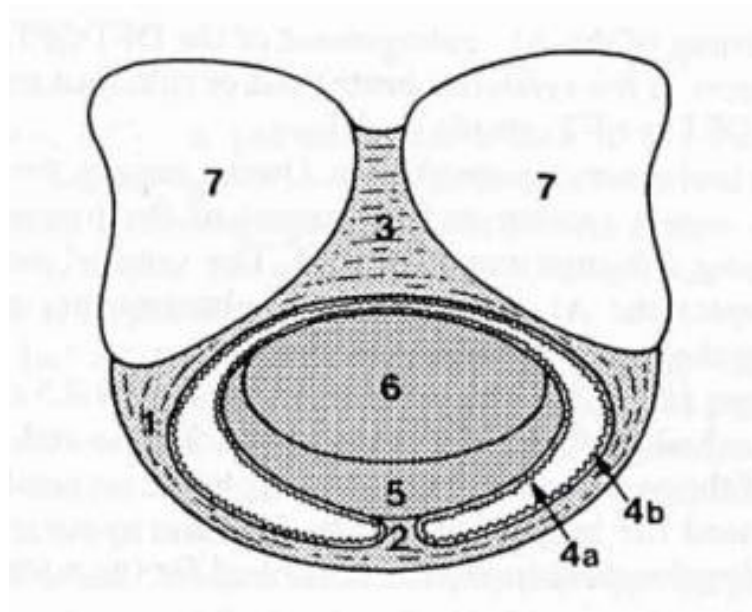
Unter dem Mesotendineum versteht man jene Doppellamelle des Stratum synoviale, welche das Stratum synoviale der Sehnenscheidenwand mit dem Stratum synoviale auf der Sehnenoberfläche verbindet. In einem zentralen Bindegewebslager zwischen den Synovialdeckzellen des Mesotendineums werden Blut- und Lymphgefäße sowie Nerven der Sehne zugeführt (Nickel et al., 2004; König und Liebich, 2012).

Das Mesotendineum kann partiell unterbrochen sein, somit entstehen strangförmige Brücken, welche das Stratum synoviale der Sehnenscheidenwand mit dem der Sehnenoberfläche verbinden. Die beschriebene strangförmige Ausbildung des Mesotendineums wird als Vinculum tendineum bezeichnet (Koch und Berg, 1992; Nickel et al., 2004; König und Liebich, 2012).

Die FBSS beinhaltet sowohl das Mesotendineum der OBS als auch das Mesotendineum der TBS.

### **2.1.5.2. Mesotendineum der OBS**

Die Bezeichnungen für die Verbindung der OBS mit dem FRB sind unterschiedlich und werden in der Literatur nicht einheitlich verwendet. Zum einen wird die Verbindung als sagittale Verwachsung der OBS mit dem FRB gesehen, in dessen Bereich sich keine Aussackungen der FBSS befinden (Gerring and Webbon, 1984; Wissdorf et al., 2010; König und Liebich, 2012). Zum anderen wird diese Verbindung auch als Mesotenon, Mesotendon oder Mesotendineum bezeichnet (Wilderjans et al., 2003; Schramme und Smith, 2010; Owen et al., 2012, Nomina Anatomica Veterinaria, 2017). Auch wenn es sich bei der Verbindung zwischen OBS und FRB, laut gegebener Definition, nicht um ein Vinculum handelt, ist auch dieser Begriff in der Literatur zu finden (Owen et al., 2012; Agass et al., 2017). Im Folgenden wird der Begriff des Mesotendineums entsprechend der Empfehlung der veterinärmedizinischen Nomenklaturkommission verwendet (Nomina Anatomica Veterinaria, 2017). Das Mesotendineum der OBS befindet sich sagittal zwischen OBS und FRB und ist bei jedem Pferd ausgebildet (Gerring und Webbon, 1984; Schramme und Smith, 2010; Owen et al., 2012) (Abb.3). Proximal erreicht das Mesotendineum eine Breite von durchschnittlich 14.7 mm, zentral eine Breite von durchschnittlich 11.9 mm und distal von 9.6 mm. Von proximal nach distal ist eine stetige Verschmälerung von ca. 14 mm auf 10 mm beschrieben worden (Hawkins und Churchill, 1998). Bisher wird von einer konstanten morphologischen Ausprägung des Mesotendineums ausgegangen, ohne dass Formvarianten beschrieben wurden.



*Abbildung 3: Schematischer Querschnitt eines Fesselgelenks auf Höhe der proximalen Sesambeine.*

*(Quelle: Van den Berg, M.J., Rijkenhuizen, A.B.M., Nemeth, F. and Gruys, E. (1995) The fetlock tunnel syndrome: a macroscopic and microscopic study. Veterinary Quarterly 17(4), 138-142)*

*Legende: 1: FRB, 2: Mesotendineum der OBS, 3: Lig. intersesamoideum, 4: Synovialmembran der FBSS, 4a: Viszerales Blatt, 4b: parietales Blatt, 5: OBS, 6: TBS, 7: proximale Sesambeine*

### **2.1.5.3. Mesotendineum der TBS**

Auch das Mesotendineum der TBS wird je nach Literatur unterschiedlich bezeichnet. So koexistieren neben dem Begriff des Mesotendineums auch die Begriffe des Vinculum tendineum, des Mesotenons oder des Mesotendons (Bode, 1940; Nixon, 1990b; Neumeier et al., 2004; König und Liebich, 2012).

Die stellenweise auftretenden Unterbrechungen des Mesotendineums der TBS lassen strangförmige Brücken entstehen, die laut Definition als Vinculum tendineum bezeichnet werden (Koch und Berg, 1992; Nickel et al., 2004; König und Liebich, 2012). Aufgrund dessen und entsprechend der Empfehlung der veterinärmedizinischen Nomenklaturkommission (Nomina Anatomica Veterinaria, 2017) wird in dieser Arbeit im Folgenden der Begriff des Vinculum tendineum verwendet.

Das Vinculum tendineum findet sich sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen und verläuft zwischen der Dorsalwand der FBSS und der Dorsalwand der TBS. Im Vergleich

zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen findet sich an den Vordergliedmaßen ein breiterer Ursprung sowie ein insgesamt meist kürzeres Vinculum. Der Großteil (ca. 75%) der Vordergliedmaßen weist zwei Vincula tendineum auf, welche beiderseits zwischen dem Lig. sesamoideum rectum und den Insertionsschenkeln der OBS entspringen und in den meisten Fällen abaxial an der Dorsalfläche der TBS inserieren. Ein geringerer Anteil (ca. 25%) weist nur ein Vinculum tendineum auf, wobei Ursprung und Ansatz variieren können. An der Hintergliedmaße ändert sich das Verhältnis, sodass der Großteil (83%) der Pferde nur ein Vinculum tendineum aufweist und ein geringerer Teil hingegen zwei (17%) (Neumeier et al., 2004). Histologisch zeichnen sich die Vincula tendineum durch eine Synovialmembran, kollagene und elastische Fasern, sowie Blut- und Lymphgefäße aus (Neumeier et al., 2004). Es wird eine eher führend-stabilisierende Funktion der Vincula tendineum vermutet (Neumeier et al., 2004). Weitere Fachliteratur verweist auf die Blutversorgung der TBS als primäre Funktion (Bode, 1940; Ruprecht, 1993).

Der Ursprung des Vinculum tendineum liegt immer an der Dorsalwand der FBSS. Es konnten drei Ursprungsvariationen ausgemacht werden (Neumeier et al., 2004):

- a.) Ursprung zwischen Lig. sesamoideum rectum und einem der beiden Insertionsschenkel der OBS
- b.) Breitflächig übergreifender Ursprung auf Lig. sesamoideum rectum und zusätzlich abaxiale bindegewebige Verbindung mit den Insertionsschenkeln der OBS
- c.) Proximal erweiterter Ursprung bis auf die Manica flexoria distalis

Ebenso konnten im Bereich des Ansatzes an der Dorsalwand der TBS, Variationen ausgemacht werden (Neumeier et al., 2004):

- a.) Axialer Ansatz an der Dorsalfläche der TBS
- b.) Abaxialer Ansatz an der Dorsalfläche der TBS
- c.) Breitflächiger Ansatz an der Dorsalfläche der TBS über deren gesamte Breite

## **2.2. Klinischer Hintergrund**

Erkrankungen der Fesselbeugesehnenscheide sind von zentraler Bedeutung in der Pferdemedizin. Verschiedene Pathologien werden in der Literatur als Ursachen für Lahmheiten oder adspektorische Veränderungen beschrieben. In dem Kontext der vorgelegten Studie wird im Folgenden auf die Tenosynovitis und das dazugehörige Fesselringbandsyndrom eingegangen.

### **2.2.1. Akute aseptische Tenosynovitis**

Die akute aseptische Tenosynovitis wird meist traumatisch ausgelöst und beschreibt die entzündlich vermehrte Füllung der FBSS, die zur Schmerzhaftigkeit führt. Zusätzlich können Tendinitiden oder andere Pathologien der intrasynovialen Strukturen auftreten. Konservative Behandlungsmethoden zu denen Boxenruhe und kontrollierte Schrittbewegung, systemische Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika (NSAIDs) sowie intrasynoviale Applikation von Kortikosteroiden zählen, können erfolgsversprechend sein und durch die Entzündungshemmung einen Rückgang der Distension der FBSS bewirken (Dietz und Huskamp, 2006). Tritt die Tenosynovitis in Verbindung mit Pathologien der intrasynovialen Strukturen auf, sind Behandlungsversuche oft nicht erfolgreich und es entwickelt sich eine Chronizität.

### **2.2.2. Chronische aseptische Tenosynovitis**

Die chronische aseptische Tenosynovitis ist Folge der nicht abklingenden akuten Tenosynovitis. Gekennzeichnet ist sie durch chronische Veränderungen der Sehnenscheidenwand, die durch eine deutliche Verdickung auffällt (Dietz und Huskamp, 2006). Der Füllungsgrad der FBSS sowie das Lahmheitsbild des Pferdes können zwischen gering- und hochgradig variieren, wobei sich meist eine mittelgradige Füllung der FBSS sowie eine gering- bis mittelgradige Lahmheit einstellt. Zu den chronischen Tenosynovitiden zählt das Fesselringbandsyndrom, das aufgrund seiner komplexen ätiopathologischen Prozesse und dem häufigen Vorkommen als eigenes Krankheitsbild genannt wird.

### **2.2.3. Das Fesselringbandsyndrom**

Unter dem Fesselringbandsyndrom, im Englischen auch annular ligament constriction syndrome, wird die Einschnürung der FBSS primär oder sekundär durch das relativ unelastische FRB verstanden. Die Beweglichkeit der Beugesehnen kann somit eingeschränkt werden, wodurch es zu Schmerzhaftigkeit und Störungen im Bewegungsablauf kommen kann (Gerring und Webbon, 1984; Dik et al., 1995; Di Giovanni et al., 2016). In gravierenden Fällen wird von Drucknekrosen der Sehnen berichtet (Adams, 1974; Stashak, 1989).

### **2.2.3.1. Ätiologie**

Verschiedene ätiopathologische Prozesse können zur Entstehung des FRBS führen (Dik et al., 1995). Grundsätzlich lässt sich eine primäre Einschnürung der FBSS durch das FRB von einer sekundären Einschnürung unterscheiden.

### **2.2.3.2. Primäres FRBS**

Unter dem primären FRBS wird die Einschnürung der FBSS durch ein pathologisch verändertes FRB verstanden. Die FBSS und die intrasynovialen Strukturen weisen primär keine Veränderungen auf. Reparationsmechanismen als Reaktion auf eine primäre Desmitis oder Läsion des FRBs führen zur narbigen Retraktion desselben, welche eine Verdickung und fehlende Elastizität bedingt (Adams, 1974; Verschooten und Picavet, 1986; Owen et al., 2008; Wissdorf et al., 2010). Anders als beim sekundären FRBS zeichnet sich initial eine deutliche Schwellung des palmaren/plantaren Fesselkopfes als Zeichen der Verdickung des FRBs ab (McGhee et al., 2005; Owen et al., 2008). Durch die Strukturveränderung des FRBs kommt es zur Einengung der FBSS. Aufgrund des entstehenden Druckes kann es zur verminderten Gleitfähigkeit und Einschnürung der Beugesehnen in der FBSS kommen (Dik et al., 1995). Sekundäre Pathologien intrasynovialer Strukturen können die Folge sein. Eine zusätzliche subkutane Fibrose ist häufig mit den Veränderungen des FRBs vergesellschaftet (Owen et al., 2008). Da es sich aus histologischer Sicht bei den Veränderungen des FRBs, zum Zeitpunkt des manifesten FRBS, nicht um aktive Entzündungsprozesse handelt, wird je nach Literatur der Begriff der Desmopathie bevorzugt (Owen et al., 2008).

### **2.2.3.3. Sekundäres FRBS**

Bei dem häufiger auftretendem sekundären FRBS ist das FRB primär unverändert. Pathologien der FBSS oder innerhalb der FBSS führen zur vermehrten Füllung dieser. Durch die Ausdehnung kommt es zur sekundären Einschnürung der FBSS durch das FRB. Es ist zu bemerken, dass das FRB in diesen Fällen sekundär eine Desmitis entwickeln kann, was den Einengungsmechanismus folglich mit unterhält (Adams, 1974; Wissdorf et al., 2010).

Ursachen, die zur Distension der FBSS führen:

- Primäre Tenosynovitis (meist akut)
  - ➔ Ausgelöst durch: Traumata, Sepsis
- Sekundäre Tenosynovitis (meist chronisch)
  - ➔ Ausgelöst durch Pathologien intrasynovialer Strukturen

Folgende Veränderungen intrasynovialer Strukturen wurden im Zusammenhang mit dem FRBS nachgewiesen:

- Tendinitiden (Stashak, 1989)
- Longitudinale Faserrisse der Beugesehnen (Arensburg et al., 2011)
- Risse der Manica flexoria (Findley et al., 2012; Diekstatt et al., 2019)
- Rupturen des Mesotendineums der OBS (Owen et al., 2012)

Die am häufigsten auftretenden Pathologien innerhalb der FBSS, die im Zusammenhang mit einer aseptischen Tenosynovitis stehen, sind Risse der Manica flexoria und Faserrisse der TBS (Fortier, 2005; Thünker et al., 2019).

#### **2.2.4. Klinik**

Vorberichtlich werden die Pferde meist mit einer, seit längerer Zeit bestehenden, Lahmheit vorgestellt, die positiv auf Ruhe anspricht, aber bei Aufnahme des Trainings wieder auftritt (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Dik et al., 1995). Bei der klinischen Untersuchung fällt im Zuge der Adspektion eine gefüllte FBSS auf, welche auf Höhe des Fesselkopfes durch das FRB eingengt wird (Gerring und Webbon, 1984; Wilderjans et al., 2003), wodurch sich eine charakteristische Einziehung bildet. Abhängig von der primären Ursache, dem Vorstellungszeitpunkt und der aktuellen Belastung des Pferdes zeigt sich eine milde bis mittelgradige Lahmheit (Dik et al., 1995). Bei der Beugeprobe lässt sich eine schmerzhafteste Reaktion feststellen (Gerring und Webbon, 1984; Stanek und Edinger, 1990; Dik et al., 1995), auch die Palpation kann Schmerzreaktionen hervorrufen.

#### **2.2.5. Diagnose**

Im Zuge der klassischen Lahmheitsuntersuchung geben Vorbericht, Adspektion und Palpation erste Hinweise auf das Bestehen des FRBS.

Bei der Durchführung diagnostischer Leitungsanästhesien erzielt erst die Tiefe-4-Punkt-Anästhesie eine Lahmfreiheit, während die tiefe und mittlere palmare/plantare Nervenästhesien keine Verbesserung erbringen (Fiske-Jackson et al., 2012).

Eine intrasynoviale Anästhesie der FBSS ist die spezifischste Methode zur Bestätigung der Lokalisation (Fortier, 2005; Schramme und Smith, 2010; Fiske-Jackson et al., 2012). Je nach Ursache, die das FRBS bedingt, sprechen die Pferde unterschiedlich auf die Anästhesie an, oft wird nur eine Verbesserung des Gangbildes erreicht. Schädigungen der TBS sprechen besser auf eine Anästhesie an als Risse der Manica flexoria (Fiske-Jackson et al., 2012). Der Grund, weshalb Pathologien der Manica flexoria oft nur partiell auf eine intrasynoviale Anästhesie der



FBSS ansprechen, ist unklar (Fiske-Jackson et al., 2012). Beim Punktieren der FBSS empfiehlt es sich, die gewonnene Synovia makroskopisch und mikroskopisch zu untersuchen. In den meisten Fällen handelt es sich um eine aseptische Tendovaginitis mit Verringerung der Viskosität, bei ansonsten unauffälligen Parametern. Ein septisches Geschehen würde mit farblichen Veränderungen (Trübung), erhöhtem Totalprotein und erhöhter Gesamtzellzahl sowie erhöhter Anzahl an Neutrophilen einhergehen (Dietz und Huskamp, 2006). Diese Fälle würden sich aber bereits durch eine hochgradige Lahmheit und eventuell bestehendes Fieber hervorheben.

Zur genaueren Abklärung der Ursache ist weiterführende Diagnostik notwendig. Standardmäßig werden Röntgenbilder der Region angefertigt und eine ultrasonographische Untersuchung durchgeführt (Vanderpeeren und Saunders, 2009).

Zu weiteren bildgebenden Verfahren in der Region wie der Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) gibt es Studien (Cohen et al., 2008; Vanderpeeren et al., 2014; Lacitignola et al., 2015; Agass et al., 2017; Van Veggel et al. 2021). Diese Verfahren zählen jedoch nicht zu den gängigen Untersuchungsmethoden. Eine sich in den meisten Fällen anschließende Tendovaginoskopie ist von diagnostischem und therapeutischem Wert. Da diese sich in vielen Fällen als wichtigstes Diagnostikum bewiesen hat, wird sie an dieser Stelle mit aufgegriffen.

#### **2.2.5.1. Ultrasonographische Untersuchung**

Die Ultrasonographie ermöglicht es, Strukturveränderungen der Beugesehen darzustellen, vor allem auch solche, die sich im Zentrum der Sehne befinden und tenoskopisch nicht erkannt werden können (Edinger et al., 2005). Verdickungen des FRBs oder der Wand der FBSS, vermehrte synoviale Flüssigkeit mit Veränderungen der Echogenität sowie Verklebungen der OBS mit dem FRB sind weitere Pathologien, die im Zusammenhang mit dem FRBS mittels Ultrasonographie detektiert werden können. Eine mögliche Einschränkung der Gleitfähigkeit der Beugesehnen, ausgelöst durch das Syndrom, kann an der gebeugten Gliedmaße unter passiver Bewegung beurteilt werden (Di Giovanni et al., 2016). Eine ebenfalls im Zusammenhang mit einer Distension der FBSS beobachtete Pathologie stellt die Osteitis der Sesambeine dar. Osteolytische Prozesse führen zu Kontur- und Strukturveränderungen, die zu Teilen in der Ultrasonographie sichtbar gemacht werden können (Vanderpeeren et al., 2014). Wenngleich die ultrasonographische Untersuchung weitreichende diagnostische Möglichkeiten bietet, sind einige Limitationen zu nennen. Studien zeigen, dass nicht alle intrasynovialen Pathologien detektiert werden können. Longitudinale Faserrisse der TBS oder Verklebungen sind teilweise nur tenoskopisch erkennbar (Edinger et al., 2005). Zur Darstellung des FRBs gibt

es unterschiedliche Angaben in der Literatur. Eine differenzierte Darstellung von FRB und Subkutis mittels Ultrasonographie ist, nach Aussage einiger Autoren, nicht immer möglich. Erst eine deutliche Verdickung wird in der Ultrasonographie definiert sichtbar (Dik et al., 1995; Van den Berg et al., 1995; Edinger et al., 2005; McGhee et al., 2005) und lässt eine Messung der Dicke des FRBs zu, welche sich bei gleichzeitig verdicktem subkutanem Gewebe dennoch erschwert durchführen lässt.

Die Diagnose von Rissen der Manica flexoria wird mit einer Spezifität von 92 % und einer Sensitivität von 38 % angegeben (Smith und Wright, 2006). Longitudinale Faserrisse der TBS konnten in einer Studie mit einer Spezifität von 76 % und einer Sensitivität von 63 % präoperativ diagnostiziert werden (Arensburg et al., 2011). Verschiedene Studien haben sich mit der Aussagekraft der ultrasonographischen Untersuchung der FBSS befasst. In diesen sind sowohl falsch positiv als auch falsch negativ diagnostizierte Fälle beschrieben (Edinger et al., 2005; Arensburg et al., 2011; Fiske-Jackson et al., 2013; Thünker et al., 2019).

Neben der erschwerten Darstellbarkeit von Strukturen seien auch Artefakte erwähnt, die zur Missinterpretation führen können (Edinger et al., 2005).

Aus einer an Kadavern durchgeführten Studie konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass eine vorherige Ballonierung der FBSS mit Natriumchlorid-Lösung (NaCl) die Möglichkeit zur differenzierteren Darstellung von Bandstrukturen in der Ultrasonographie und im MRT bietet (Daniel et al., 2019).

Trotz der genannten Limitationen ist die ultrasonographische Untersuchung ein wichtiges Diagnostikum, nicht zuletzt, um eine Einschätzung zur Prognose abgeben zu können.

#### **2.2.5.2. Röntgenuntersuchung**

Neben der ultrasonographischen Untersuchung hat sich auch das Anfertigen von Röntgenbildern bewährt, weshalb die röntgenologische Untersuchung als gängiges Diagnostikum bei der ätiologischen Klärung einer Distension der FBSS herangezogen wird. Vor allem dient sie der Beurteilung der proximalen Sesambeine, da ein Zusammenhang zwischen einer Distension der FBSS und der nichtseptischen Osteitis der proximalen Sesambeine bestehen kann (Dabareiner et al., 2001; Vanderpeeren et al., 2014). Neben den gängigen Standardaufnahmen in vier Ebenen (lateromedial; dorso 15° proximal-palmaro(-plantaro) distal oblique; dorso 45° medio-palmaro(-plantaro) lateral oblique; dorso 45° latero-palmaro(-plantaro) medial oblique) hat sich die proximodistale Aufnahme "sesamoid Skyline" als hilfreich erwiesen, um bessere Kenntnis über die Facies flexoria der proximalen Sesambeine zu erhalten (Stanek und Edinger, 1990; Vanderpeeren und Saunders, 2009; Vanderpeeren et al., 2014).

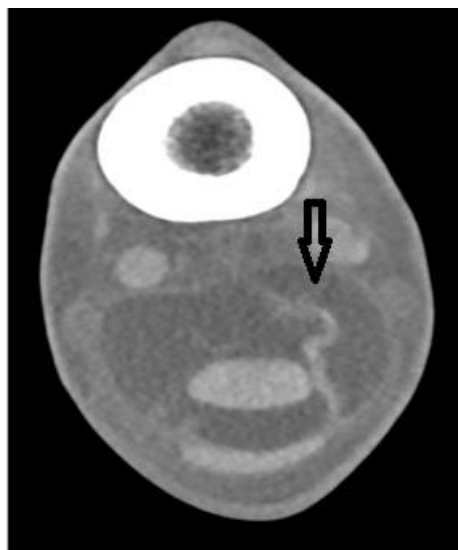
Mögliche Verkalkungen in der FBSS oder den Bandstrukturen können mittels Röntgen detektiert werden (Stanek und Edinger, 1990; Dik et al., 1995; Smith und Wright, 2006). Eine Möglichkeit, um für das FRBS relevante Weichteilstrukturen mittels Röntgen darstellen zu können, stellt das Kontrastmittel-Röntgen dar. Es erfolgt eine intrasynoviale Eingabe von Kontrastmittel, die zeitgleich mit einer intrasynovialen Anästhesie durchgeführt werden kann (Fiske-Jackson et al., 2012). Risse der Manica flexoria können mit einer hohen Sensitivität und einer hohen Spezifität präoperativ dargestellt werden. Die Angaben unterscheiden sich je nach Studie und berufen sich auf eine Sensitivität von 92 % bis 96 % und eine Spezifität von 56 % bis 80 %. Defekte der TBS können, je nach Literatur, mit einer Sensitivität von 54 % bis 57 % und einer Spezifität von 73 % bis 84 % detektiert werden (Fiske-Jackson et al., 2012, Kent et al., 2020). Eine Einengung durch das FRB kann nicht zuverlässig dargestellt werden (Sensitivität 71 %, Spezifität 45 %) (Kent et al., 2020). Insbesondere für Risse der Manica flexoria bietet das Kontrastmittel Röntgen ein gutes diagnostisches Hilfsmittel, wobei auch hier Fehler bei der Applikation zu Artefakten und nicht auswertbaren Ergebnissen führen können (Kent et al., 2020).

### **2.2.5.3. Computertomographie**

Das CT bietet ein dreidimensionales Bild und kann Knochenumbauprozesse, wie sie im Falle einer Osteolyse auftreten, in voller Ausprägung und im frühen Stadium darstellen (Vanderpeeren et al., 2014). CT und Kontrastmittel-CT bieten eine gute Möglichkeit, um Strukturen, die sich in der FBSS befinden, zu visualisieren (Agass et al., 2017) (Tab 2). Die Mesotendineums, die Manica flexoria, die OBS und die TBS können spezifisch dargestellt werden (Lacitignola et al., 2015). An dieser Stelle soll, mit Augenmerk auf die vorgelegte Studie, erwähnt werden, dass das Kontrastmittel-CT die Darstellung des Mesotendineums der OBS in 100 % der Fälle ermöglicht (Agass et al., 2017) und die Identifizierung von Läsionen an den Insertionsstellen und den damit einhergehenden Knochenumbauprozessen verbessert (Cohen et al., 2008). Eigene Erfahrungen an der Pferdeklinik Leichlingen zeigen, dass sich Risse der Manica flexoria gut im CT detektieren lassen (Abb. 4).

*Tabelle 2: Häufigkeit der Darstellung der Ränder der Beugesehnen, der Manica flexoria, des Mesotendineums der OBS und des FRBs in Prozent in CT und Kontrastmittel-CT (Agass et al., 2017)*

	CT	Kontrastmittel-CT
<b>Ränder OBS und TBS</b>	85%	100%
<b>Manica flexoria</b>	70%	90%
<b>Mesotendineum der OBS</b>	-	100%
<b>FRB</b>	85%	35%



*Abbildung 4: Transversale Schnittebene CT, Darstellung eines Risses der Manica flexoria (Quelle: Bildmaterial der Pferdeklinik Leichlingen GmbH)*

*Legende: Der schwarze Pfeil kennzeichnet die einseitig gelöste Manica flexoria*

#### **2.2.5.4. Magnetresonanztomographie**

Das high-field MRT bietet die Möglichkeit einer präzisen Darstellung von Weichteilgewebe und Knochen (Murray et al., 2005; Dyson et al., 2008). Das high-field MRT (3 Tesla) und das low-field MRT (0,27 Tesla) werden voneinander differenziert. Die Unterschiede liegen in der Schichtdicke und dem Auflösungsvermögen. Für den Bereich der distalen Gliedmaße ist es möglich, eine Untersuchung mittels low-field MRT am stehend sedierte Pferd durchzuführen. Eine Untersuchung derselben Region mittels high-field MRT erfordert eine Vollnarkose.

Die erhöhte Schichtdicke des low-field MRTs wirkt sich negativ auf die Detektion von Pathologien aus (Vallance et al., 2012). Dennoch können auch im low-field MRT teils Erkenntnisse gewonnen werden, welche mittels Sonographie und Röntgen in der Voruntersuchung nicht erkannt werden können. Hierzu zählen Läsionen der TBS, welche in der ultrasonographischen Untersuchung unentdeckt blieben und erst mittels low-field MRT detektiert werden konnten (Van Veggel et al., 2021).

#### **2.2.5.5. Tendovaginoskopie**

Die Tendovaginoskopie erlaubt eine Visualisierung und Beurteilung der FBSS und der intrasynovialen Strukturen (Nixon, 1990b; Nixon et al., 1993). Insbesondere randständige Fibrillationen oder Läsionen der Beugesehnen sowie evtl. bestehende Adhäsionen, die oftmals präoperativ nicht diagnostiziert werden konnten, können hier beurteilt werden (Smith und Wright, 2006). Beschriebene longitudinale Faserrisse der TBS, Risse der Manica flexoria, Rupturen des Mesotendineums der OBS, die mit dem FRBS im Zusammenhang standen, konnten teils erst mittels tenoskopischer Untersuchung detektiert werden (Wilderjans et al., 2003; Owen et al., 2012). Zu bemerken ist, dass in diesen Fällen keine MRT oder CT-Untersuchung vorausging. Auch ersetzt die Tendovaginoskopie keine ultrasonographische Untersuchung, da lediglich die Oberflächen der genannten Strukturen beurteilt werden können, was bedeutet, dass beispielsweise zentrale Läsionen innerhalb der Sehne in der Tendovaginoskopie unentdeckt blieben. Die sich gleichzeitig bietende Möglichkeit der therapeutischen Behandlung führte zur Etablierung der Tendovaginoskopie, im Falle des FRBS.

#### **2.2.6. Therapie**

##### **2.2.6.1. Konservative Behandlungsmöglichkeiten**

Sowohl beim primären als auch sekundären FRBS gehören zum konservativen Therapieansatz das Einhalten einer Boxenruhe sowie kontrollierte Schrittbewegung in Kombination mit systemischer Gabe von NSAIDS. Eine lokale Behandlung der FBSS durch Injektion von Kortikosteroiden und/oder Hyaluronsäure wird je nach Fall und Literatur durchgeführt. Eine einheitliche Aussage zur Indikation besteht nicht (Smith und Webbon, 1999; McGhee et al., 2005; Owen et al., 2008). Eine lokale Behandlung des FRBs durch Einreiben mit Dimethylsulfoxid wird im Zusammenhang mit einer Desmitis der FRBs beschrieben (McGhee et al., 2005).

### **2.2.6.2. Chirurgische Versorgung**

Als chirurgisch effektive Therapie hat sich die Desmotomie erwiesen (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Kersjes, 1985; Nixon, 1990a). Durch die Desmotomie des FRBs kommt es zur Druckentlastung in der FBSS. Es wird davon ausgegangen, dass dies einen analgetischen Effekt hat, indem der Druck auf Strukturen in und um die FBSS reduziert wird (Wilderjans et al., 2003; Diekstatt et al., 2019).

Aufgrund der beschriebenen Möglichkeit der Exploration der FBSS und der minimalinvasiven Durchführung hat sich die Desmotomie im Zuge der Tendovaginoskopie als vorteilhaft erwiesen (Fortier et al., 1999). Es besteht die Möglichkeit, gleichzeitig Adhäsionen zu lösen sowie synoviale Massen zu entfernen, Faserdefekte der Beugesehnen können geglättet werden (Fortier, 2005; Arensburg et al., 2011) und Risse der Manica flexoria können durch eine Teilresektion dieser behandelt werden (Smith und Wright, 2006; Schramme und Smith, 2010; Findley et al., 2012; Diekstatt et al., 2019).

Postoperativ werden die Pferde mindestens bis zum Ziehen der Fäden im Verband gehalten (Wilderjans et al., 2003; Smith und Wright, 2006). Es erfolgt eine systemische antibiotische sowie inflammatorische Therapie (Wilderjans et al., 2003; Smith und Wright, 2006; Diekstatt et al., 2019), wobei die Notwendigkeit der Applizierung von Antibiotika, vor dem Hintergrund der Entwicklung multiresistenter Keime, in Frage gestellt werden kann. Zur postoperativen intrasynovialen Behandlung mit Kortikosteroiden gibt es keine einheitlichen Angaben. Eine prophylaktische Injektion 2-12 Wochen postoperativ ist beschrieben (Nixon, 2002; Thünken et al., 2019), ebenso Behandlungen im Laufe der Rekonvaleszenz (Wilderjans et al., 2003; Findley et al., 2012).

Der Beginn der kontrollierten Schrittbewegung erfolgt, je nach Autor unterschiedlich, 2 Tage – 4 Wochen postoperativ (Gerring und Webbon, 1984; Nixon, 2002; Wilderjans et al., 2003; Diekstatt et al., 2019; Thünken et al., 2019). Zur Vermeidung von Adhäsionen des durchtrennten FRBs, der Manica flexoria (im Falle einer Resektion) oder anderer Strukturen innerhalb der FBSS, sowie dem verfrühten Zusammenwachsen des Fesselringbandes sollte ein dosiertes Schrittprogramm (2 Minuten pro Tag) möglichst früh gestartet werden (Diekstatt et al., 2019). Die Steigerung des Schrittprogramms erfolgt unterschiedlich schnell und wird je nach Befund unterschiedlich lang für den Zeitraum der Rekonvaleszenz beibehalten. Sekundäre Tenosynovitiden, denen strukturelle Schädigungen der Sehnen zugrunde liegen, sind als Beispiele für Fälle mit einer langen Rekonvaleszenz zu nennen.

Im Falle des primären FRBS ist neben der Desmotomie noch die Desmoplastie zu nennen. Hierbei handelt es sich um ein Splitting des FRBs. Können im Ultraschall Läsionen im FRB

ausgemacht werden, wird mit einem Skalpell, unter Allgemein- oder Lokalanästhesie, eine Stichinzision durch Haut und Unterhaut gesetzt bis in die Läsion des FRBs. Die Tiefe der Inzision im FRB macht ca. 50 % der Dicke aus. Die Ausrichtung des Skalpells und die Anzahl an nötigen Inzisionen variiert je nach Chirurgen und Läsion. Die FBSS wird dabei nicht eröffnet. Es erfolgt kein Verschluss der Haut, die Pferde werden im Verband gehalten und erhalten 6 Wochen Boxenruhe mit Schrittbewegung an der Hand bis zur Nachkontrolle (McGhee et al., 2005).

### **2.2.7. Prognose**

Einheitliche Aussagen zur Prognose im Falle des FRBs können nicht getroffen werden, da diese maßgeblich von der zugrunde liegenden Primärerkrankung abhängt (Schramme und Smith, 2010).

#### **2.2.7.1. Primäres Fesselringbandsyndrom**

Die Beteiligung weiterer Strukturen beeinflusst die prognostischen Aussichten maßgeblich. Eine alleinige Desmitis/Desmopathie des FRBs wird mit positiven Resultaten von 69.2 % angegeben. Unter einem positiven Resultat versteht sich die Rückkehr zur vorherigen Nutzung. Tritt zusätzlich zur Desmitis/Desmopathie des FRBs eine subkutane Fibrose auf, wird der Erfolg mit 41.9 % angegeben (Owen et al., 2008). Die Dicke des FRBs macht prognostisch keinen signifikanten Unterschied. Angegebene Prozentzahlen beinhalten Fälle, die konservativ oder chirurgisch behandelt wurden (Owen et al., 2008). Bezüglich der Beeinflussung der Prognose durch die Therapie liegen unterschiedliche Angaben in der Literatur vor. Teilweise wird der konservative Therapieversuch nicht als erfolgsversprechend angesehen (Verschooten und Picavet, 1986). Eine andere Studie konnte keinen Unterschied im Vergleich zwischen konservativer Behandlung, Desmoplastie und Desmotomie des FRBs, im Falle einer primären Desmitis des FRBs, feststellen (McGhee et al., 2005). Auch zwischen einem konservativen Therapieversuch, der Desmotomie und der Desmotomie in Kombination mit einer Tendovaginoskopie wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Owen et al., 2008). Einschränkung muss hier aber erwähnt werden, dass in der Studie die meisten Fälle chirurgisch versorgt wurden und es keine einheitlichen Kriterien zur Fallselektion gab, sodass der direkte Vergleich zwischen konservativen Versuch und chirurgischem nicht gezogen werden kann.

#### **2.2.7.2. Sekundäres Fesselringbandsyndrom**

Ein konservativer Therapieversuch kann angestrebt werden, wenn noch keine deutlichen Veränderungen des FRBs oder intrasynovialer Strukturen vorliegen (Smith und Webbon, 1999) und ist im Falle einer akuten Tendovaginitis ohne weitere Pathologien zur Vermeidung des

FRBS oft erfolgsversprechend. Handelt es sich um eine sekundäre Tendovaginitis, der Pathologien der Bandstrukturen zugrunde liegen, sind konservative Therapien nicht effektiv und eine Chronizität stellt sich ein, die im FRBS resultieren kann (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Kersjes, 1985; Nixon, 1990a). Bei einem manifestierten FRBS kommt es, spätestens bei der Rückkehr zur Belastung, zum Rezidiv, weshalb konservative Ansätze nicht das gewünschte Ergebnis liefern (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984; Kersjes, 1985; Nixon, 1990a). Weist der Patient bei Vorstellung bereits ein massiv verdicktes FRB auf oder ist ein Riss der Manica flexoria eindeutig feststellbar, kann auf den konservativen Therapieansatz verzichtet werden.

Auch nach chirurgischer Therapie hängt der Erfolg von der primären Ursache ab. Nach erfolgter Desmotomie werden für Risse der Manica flexoria positive Resultate von 53 % bis zu 79 % angegeben (Smith und Wright, 2006; Findley et al., 2012; Diekstall et al., 2019; Thünker et al., 2019). Bei einigen Pferden werden Rezidive beschrieben, welche eine zwischenzeitige intrasynoviale Behandlung mit Kortikosteroiden oder eine systemische Gabe von NSAIDs notwendig machten, wodurch eine entzündlich bedingte Distension der FBSS verhindert werden soll (Findley et al., 2012).

Pathologien der TBS werden im Vergleich zu Rissen der Manica flexoria prognostisch schlechter eingeschätzt (Smith und Wright, 2006; Arensburg et al., 2011; Findley et al., 2012). Die Angaben zu positiven Resultaten, bei longitudinalen Faserrissen der TBS und anderen Läsionen der TBS unterscheiden sich in der Literatur und werden mit 23 % bis 58 % angegeben (Wilderjans et al., 2003; Smith und Wright, 2006; Arensburg et al., 2011; Thünker et al., 2019, Veggel et al., 2021). Einen beeinflussenden Faktor für die Prognose stellt die Lokalisation der TBS-Läsion dar. Schädigungen der TBS im Bereich des Übergangs der TBS von ihrem oviden in den bilobulären Teil sind prognostisch schlechter (23 % positive Resultate) (Veggel et al., 2021). Als erklärender Ansatz für die schlechtere Prognose gilt die Zentrierung der Kräfte an dieser Stelle (Veggel et al., 2021).

Tenosynovitiden mit diagnostizierten Adhäsionen entwickeln sich nach chirurgischer Versorgung gut und werden mit positiven Ergebnissen von 72 % angegeben (Fortier et al., 1999).

Einen weiteren wichtigen Faktor der Genesung stellt die Zeit der Rekonvaleszenz dar, in der das Pferd kontrolliert im Schritt bewegt wird. Dieser Zeitraum unterscheidet sich je nach primärer Ursache. Bei longitudinalen Faserrissen wird eine Schrittphase von bis zu 6 Monaten angegeben (Wilderjans et al., 2003).



Die Distension der FBSS ist bei positivem postoperativem Verlauf rückläufig, eine weiterhin hochgradige Füllung wird als Indikator eines negativen Endergebnisses gewertet (Fortier et al., 1999; Wilderjans et al., 2003; Arensburg et al., 2011).

Eine gering- bis mittelgradige Distension bleibt allerdings in den meisten Fällen (88 - 100 %) zurück und ist als kosmetisches Problem zu werten (Wilderjans et al., 2003; Arensburg et al., 2011). Ein möglicher Grund dafür ist die, nach der Desmotomie mögliche, Ausdehnung der FBSS nach palmar/plantar, welche ansonsten durch das FRB verhindert wird.

### **2.3. Entwicklung der chirurgischen Methodik**

Verschiedene Techniken der Desmotomie wurden über die Jahre erprobt. Diese Techniken sollen im Folgenden präsentiert werden. Die Vor- und Nachteile werden im Anschluss erörtert.

#### **2.3.1. Techniken der Desmotomie**

##### **2.3.1.1. Offene Desmotomie**

Unter Allgemeinanästhesie wird eine Inzision lateral der Beugesehnen und palmar/plantar des Nerven-Gefäß-Bündels durch Haut und Unterhaut gesetzt und das FRB freipräpariert. Dann wird das FRB und die Sehnenscheide durchtrennt (Adams, 1974; Gerring und Webbon, 1984). Es findet demnach eine Eröffnung der Sehnenscheide statt, wodurch eine Sicht auf die Beugesehnen möglich ist. Anschließend werden die Unterhaut und Haut vernäht, die FBSS wird nicht verschlossen.

##### **2.3.1.2. Blinde Desmotomie**

Die Technik wird unter Allgemeinanästhesie (Norrie, 1977; Nixon, 1990a) oder am stehend sedierten Pferd mit Lokalanästhesie beschrieben (Nixon, 1990a).

Im Gegensatz zur offenen Desmotomie werden Haut und Unterhaut nicht über die gesamte Länge des FRBs eröffnet, sondern eine ca. 2cm große Inzision über dem proximalen Rand des FRBs palmar/plantar des Nerven-Gefäßbündels gesetzt. Die Instrumente (Schere oder gebogenes Tenotom) werden blind bis zum distalen Rand des FRBs vorgeführt und die Desmotomie wird durchgeführt (Norrie, 1977; Nixon, 1990a). Auch hierbei wird im Zuge der Desmotomie, wenn auch größtenteils von Haut gedeckt, die FBSS auf ganzer Länge des FRBs eröffnet. Im Anschluss erfolgt ein Verschluss der Haut und Unterhaut, die FBSS wird nicht verschlossen.

##### **2.3.1.3. Extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie**

Die extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie beschreibt eine chirurgische Technik, bei welcher die Desmotomie des FRBs durchgeführt werden kann, ohne dass die FBSS eröffnet wird

(Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998). Voraussetzung für die Möglichkeit der extrasynovialen Desmotomie stellt das Mesotendineum zwischen OBS und FRB in der palmaren/plantaren Medianen dar, wodurch ein extrasynovialer Raum gegeben ist. Unter Allgemeinanästhesie wird eine Hautinzision abaxial parallel zur Mittellinie gesetzt und die Haut anschließend seitlich weggeklappt. Nach der Präparation erfolgt die Schnitfführung durch das FRB in der palmaren/plantaren Mittellinie. Die FBSS wird dabei nicht eröffnet (Kersjes, 1985). Um Blutungen zu minimieren, kann vorab ein Stauschlauch (Esmarch-Schlauch) angelegt werden (Kersjes,1985). Abschließend werden Unterhaut und Haut verschlossen.

Die modifizierte Technik ist unter Allgemeinanästhesie und am stehend sedierten lokal anästhesierten Pferd beschrieben. Es erfolgt zunächst eine 2cm lange Inzision der Haut im proximalen Bereich des FRBs, danach wird das FRB vorsichtig mit einem 15ner Skalpell unter Schutz einer Kellyschere blind durchtrennt (Hawkins und Churchill, 1998). Haut und Unterhaut werden verschlossen.

#### **2.3.1.4. Endoskopisch geleitete Desmotomie**

Die Operation wird unter Allgemeinanästhesie durchgeführt. Die FBSS wird mit Ringerlösung balloniert, sodass der proximale Seitenblindsack der FBSS distal des FRBs deutlich hervortritt. Verschiedene Punktionsstellen stehen dafür zur Auswahl. So können die zwei proximalen Seitenblindsäcke medial und lateral, die zwei distalen Seitenblindsäcke medial und lateral sowie der unpaare Palmar-/Plantarblindsack genutzt werden (Wissdorf et al., 2010). Nach einer Stichinzision (6-12 mm) in die Aussackung des proximalen Seitenblindsacks wird der Trokar eingeführt und das Arthroskop eingebracht (Nixon, 1990b; Diekstatt et al., 2019). Die Portale können, abhängig von der Indikation, medial oder lateral gesetzt werden. Nach Evaluation der FBSS wird das FRB durchtrennt, wobei zwei grundlegende Vorgehensweisen unterschieden werden können. Die Methode, bei der eine Schlitzkanüle verwendet wird (Nixon et al., 1993) und die sogenannte „free-hand“ Methode, wobei auf genanntes Instrument verzichtet wird (McIlwraith et al., 2015). Für beide Methoden wird proximal des FRBs und lateral/medial der OBS eine Stichinzision gesetzt, durch welche das Instrument (Schlitzkanüle, (curved) hook-knife, 90-degree-blade oder right angle blade) von proximal nach distal, unter Zurückziehen des Arthroskops, eingeführt wird. Wenn sichergestellt ist, dass keine Strukturen geschädigt werden, wird je nach Methode entweder eine Schneide (90-degree angle-blade) durch die Schlitzkanüle geführt und das FRB durchtrennt oder die Desmotomie ohne vorheriges Einbringen der Schlitzkanüle durchgeführt (Nixon et al., 1993; Wilderjans et al., 2003;

Mellwraith et al., 2015). Da die distale Begrenzung des FRBs nahe des Arthroskops liegt, empfiehlt es sich nach erfolgter Desmotomie das Arthroskop durch das proximale Portal einzuführen, um die Durchtrennung des distalen Anteils des FRBs zu überprüfen (Wilderjans et al., 2003). Nach erfolgtem Eingriff werden die Hautportale verschlossen.

Die Verwendung eines Stauschlauchs während der OP zur Verringerung des Blutdrucks im Operationsfeld ist beschrieben (Nixon et al. 1993), allerdings kommen signifikante intraoperative Blutungen bei der tenoskopisch geleiteten Desmotomie nicht vor (Diekstatt et al., 2019). Eine Möglichkeit, die auf die Minimierung von Blutungen abzielt, ist die Verwendung eines Elektrokauters zur Durchtrennung des FRBs (McCoy und Goodrich, 2012).

### **2.3.1.5. Ultraschall-assistierte Technik der Desmotomie**

Mit der ultraschallgeleiteten Desmotomie des FRBs, wird eine weitere modifizierte Technik der blinden Desmotomie beschrieben (Espinosa et al., 2017). Die Methodik kann am stehenden und anästhesierten Pferd durchgeführt werden. Am sedierten Pferd wird das Bein nach erfolgter Anästhesie der Region in einem Splint fixiert, um das Bein zu stabilisieren. Die FBSS wird mit steriler NaCl-Lösung balloniert, bis der proximale Seitenblindsack der FBSS sichtbar ist. Mithilfe des Ultraschalls wird die Stelle für den Hautschnitt ausgemacht, der später dem Instrumentenzugang dient. Die Haut- und Unterhautinzision wird innerhalb des lateralen proximalen abaxialen Recessus gesetzt, an der Stelle, an welcher der Abstand zwischen dem lateralen Bereich der FBSS und dem lateralen Rand der OBS am größten ist. Eine zweite Inzision durch Haut und Unterhaut wird distal des distalen Randes des FRBs durchgeführt, sowie es für den tenoskopischen Standardzugang üblich ist. Diese wird als Anhaltspunkt genutzt, um die distale Begrenzung des FRBs präzise auszumachen. Mittels Stichinzision wird ein Zugang zur FBSS geschaffen. Das Instrument (hook knife) wird durch den proximalen Zugang in die FBSS eingeführt und unter Ultraschallkontrolle bis zur zweiten Inzisionsstelle vorgeführt, anschließend wird das FRB durchtrennt. Die Haut wird im Anschluss verschlossen.

### **2.3.2. Vor- und Nachteile der beschriebenen Techniken im Vergleich**

Unabhängig von der Methodik der Desmotomie ist eine Notwendigkeit der Allgemeinanästhesie für den Patienten als nachteilig anzusehen, da sie ein Mortalitätsrisiko mit sich bringt (Johnston et al., 2002; Hopster, 2018). Für elektive Eingriffe, zu denen die Desmotomie zählt, ist eine Mortalitätsrate von 0.9 % angegeben (Johnston et al. 2002).

Ursächlich sind in den meisten Fällen Komplikationen wie Herz-Kreislauf-Versagen (33 %), Frakturen in der Aufstehphase oder Myopathien (32 %) (Johnston et al. 2002). Folglich bietet die Möglichkeit, die Desmotomie am stehend sedierten Pferd durchzuführen, eine

Vermeidung dieser Risiken. Auf die erschwerten Bedingungen für den Chirurgen, wie schlechte Ergonomie und Verletzungsrisiko bei Unkooperativität des Patienten, soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die Eröffnung der FBSS ist, hinsichtlich des Infektionsrisikos, als nachteilig anzusehen, bietet aber je nach Methodik die Möglichkeit der Exploration der FBSS, weshalb Vor- und Nachteile im Folgenden für die vorab beschriebenen Methoden, verglichen werden. Tabelle 3 bietet eine Übersicht über die zu vergleichenden Kriterien.

*Tabelle 3: Vergleichende Übersicht der chirurgischen Techniken der Desmotomie*

	Allgemeinanästhesie erforderlich	Eingriff unter Sedation im Stehen möglich	Hautschnitt	Eröffnung der FBSS	Exploration der FBSS
<b>Offene Desmotomie</b>	Ja	-	Gesamte Länge des FRBs	Ja	Zu Teilen
<b>Blinde Desmotomie</b>	Möglich	Ja	2 cm	Ja	Nein
<b>Extasynoviale Desmotomie</b>	Ja	-	Gesamte Länge des FRBs	Nein	Nein
<b>Extrasynoviale Desmotomie (modifiziert)</b>	Möglich	Ja	2 cm	Nein	Nein
<b>Endoskopisch geleitete Desmotomie</b>	Ja	-	2 Stichinzisionen (6-12mm)	Ja	Ja
<b>Ultraschall assistierte Desmotomie</b>	Möglich	Ja	2 Stichinzisionen (6-12mm)	Ja	Nein

### **2.3.2.1. Offene Desmotomie**

Der sich über die gesamte Länge des FRBs erstreckende Hautschnitt mit der darunterliegenden eröffneten FBSS stellt vergleichsweise eine relativ invasive Möglichkeit der Desmotomie dar. Es besteht ein erhöhtes Risiko der Ausbildung von Wundkomplikationen und Synovialfisteln (Nixon, 1990a; Fortier et al., 1999). Als Vorteil, im Vergleich zur blinden und extrasynovialen Desmotomie, lässt sich die zu Teilen mögliche Visualisierung der FBSS und die Möglichkeit des Lösens von Adhäsionen nennen. Im Vergleich zur tenoskopisch geleiteten Desmotomie bestehen aus rein medizinischer Sicht keine Vorteile, wirtschaftlich vorteilig sind die geringeren Kosten der Instrumentarien und der geringere Kostenaufwand für den Besitzer.

### **2.3.2.2. Blinde Desmotomie**

Im Vergleich zu der offenen Desmotomie zählt die blinde Desmotomie zu einem minimalinvasiven Verfahren und bietet den Vorteil, dass das Risiko der Nahtdehiszenz, Fistelbildung und der Gelenksinfektion aufgrund der deutlich kleineren Inzisionen reduziert ist. Ebenso verkürzt sich die Dauer der Rekonvaleszenz und eine schnellere Rückkehr zur

Bewegung ist möglich (Nixon, 1990a; Nixon et al., 1993; Fortier et al., 1999). Einen Nachteil des blinden Vorgehens stellt die Gefahr der iatrogenen Verletzung wichtiger Strukturen dar sowie die fehlende Möglichkeit zur Kontrolle der vollständigen Durchtrennung des FRBs. Weiterhin muss nachteilig erwähnt werden, dass keine Beurteilung der intrasynovialen Strukturen möglich ist und somit evtl. bestehende Verklebungen, Risse der Manica flexoria, longitudinale Faserrisse der TBS oder andere Pathologien nicht zur Kenntnis genommen werden können.

#### **2.3.2.3. Extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie**

Die zwei unterschiedlichen, vorab beschriebenen, Techniken der extrasynovialen Desmotomie unterscheiden sich maßgeblich in der Länge des Hautschnittes. Beide Techniken vergleichend stellt der größere Hautschnitt, welcher sich über die gesamte Länge des FRBs erstreckt (Kersjes, 1985), ein höheres Risiko der Nahtdehizens dar, das durch die Lokalisation auf Höhe eines bewegungsreichen Gelenkes noch erhöht wird. Vorteilhaft bietet der große Schnitt eine Sichtkontrolle während der Desmotomie. Eine Exploration der FBSS ist bei beiden Methoden nicht möglich. Beide Techniken stellen die einzige Methodik dar, bei der die FBSS nicht eröffnet wird, was bei erfolgreicher OP das Risiko der Bildung einer Synovialfistel und Sepsis der FBSS ausschließt. Dieser Vorteil soll vor dem Hintergrund der vorgelegten Studie in Frage gestellt werden.

#### **2.3.2.4. Endoskopische Desmotomie**

Durch die nur kleine Inzision, die für den tenoskopischen Zugang notwendig ist, stellt sie ebenfalls eine minimalinvasive Methode dar. Komplikationen wie Wunddehizens, das Auftreten einer Synovialfistel oder das Entstehen von Adhäsionen in der Phase der Rekonvaleszenz sind deutlich reduziert (Fortier et al., 1999). Sie erlaubt die direkte Visualisierung des FRBs sowie der intrasynovialen Strukturen und bietet zusätzlich die Option der Behandlung, wie beispielsweise dem Lösen von Adhäsionen, dem Entfernen synovialer Massen, dem Glätten von Sehnenfibrillierungen oder auch Behandlung bei Ruptur der Manica flexoria (Nixon et al., 1993; Fortier et al., 1999; Arensburg et al., 2011; Diekstatt et al., 2019). Nachteilig zu nennen ist die vergleichsweise teure Ausstattung an Geräten, die für diesen Eingriff benötigt wird. Aufgrund der genannten Vorteile wird die tenoskopische geleitete Desmotomie standardmäßig verwendet.

### **2.3.2.5. Ultraschall-assistierte Desmotomie**

Bei dieser Methodik ist keine Visualisierung der FBSS möglich. Ohne den direkten Vergleich zur vorherig beschriebenen blinden Desmotomie gemacht zu haben, wird von einem geringeren Risiko iatrogenen Schädigung durch die ultraschallgestützte Platzierung der Instrumente ausgegangen (Espinosa et al., 2017). Probleme bei der kompletten Durchtrennung des FRBs bei pathologisch verdicktem FRB wurden beschrieben (Espinosa et al., 2017), was im Falle eines FRBS ein Problem darstellen könnte.

Der Verzicht auf eine Allgemeinanästhesie sowie eine teure Ausstattung an Geräten, die im Falle der Tendovaginoskopie nötig wären, ist vorteilig, ansonsten besteht kein weiterer Mehrwert.

## **3. Material und Methoden**

### **3.1. Zielsetzung**

Die Studie wurde durchgeführt, um die folgenden Fragen zu beantworten:

- Ist die konventionelle Mittellinien-Desmotomie des FRBs ein extrasynovialer chirurgischer Eingriff?
- Korreliert eine Eröffnung der FBSS, im Zuge der konventionellen Mittellinien-Desmotomie, mit bestimmten morphologischen Variationen des Mesotendineums?
- Gibt es Unterschiede in der Ausbildung des Mesotendineums zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen und kann die Ausbildung des Mesotendineums bei einem Pferd von Gliedmaße zu Gliedmaße variieren?
- Bestehen morphologische Unterschiede in der Anheftung des Mesotendineums an die OBS und das FRB?

### **3.2. Tiermaterial**

60 Gliedmaßen (30 Vorder- und 30 Hintergliedmaßen) von 15 Pferden verschiedener Rassen (darunter 10 Warmblüter, zwei Friesen und drei Ponyrassen: Norweger, Haflinger und Welsh Cob) wurden in die Arbeit eingebunden. Die Pferde wurden aus medizinischen Gründen eingeschläfert, die in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Studie standen. Bei keinem der Pferde wurde vor der Euthanasie eine Erkrankung im Bereich des Vorder- oder Hinterfußes diagnostiziert. Es bestanden keine pathologischen Veränderungen der FBSS oder des FRBs. Bei den Pferden handelte es sich um 5 Stuten und 10 Wallache im Alter von 1 bis 29 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 15 Jahren. Die Gliedmaßen wurden entweder im Radiokarpal- oder im Talokruralgelenk exartikuliert und innerhalb von 12 Stunden nach der Euthanasie für die Kadaverarbeiten verwendet. Die Gliedmaßen sowie weiteres Arbeitsmaterial wurden durch die Pferdeklinik Leichlingen gestellt.

### **3.3. Methode**

Die Gliedmaßen wurden, auf der Grundlage der Desmotomietechnik, einer der folgenden zwei Gruppen zugeteilt. An den linken Vorder- (VL) und linken Hintergliedmaßen (HL) wurde eine palmare/plantare Mittellinien-Desmotomie des FRBs durchgeführt (Gruppe 1). An den rechten Vorder- (VR) und Hintergliedmaßen (HR) wurde eine lateropalmare/lateroplantare Desmotomie des FRBs (Gruppe 2) durchgeführt (Abb.5).

### **3.3.1. Verfahren und Messungen**

Alle Gliedmaßen wurden in horizontaler Position mit der palmaren/plantaren Seite nach oben fixiert. Der proximolaterale Seitenblindsack der FBSS wurde punktiert und mit bis zu 50 ml NaCl-Lösung balloniert, bis die FBSS makroskopisch und palpatorisch gefüllt war. Die Haut wurde inzidiert, um die subkutanen, anatomischen Strukturen freizulegen. An allen Gliedmaßen wurde die Länge des FRBs von proximal nach distal in der Mittellinie gemessen. Alle Messungen wurden mit einem Stechzirkel, mit einer Messgenauigkeit von 1 mm, vorgenommen. Die Dicke des FRBs wurde subjektiv beurteilt und entweder als normgerecht oder verdickt klassifiziert. Gliedmaßen, bei denen das FRB subjektiv verdickt erschien, führten zum Ausschluss aller Gliedmaßen dieses Pferdes aus der Studie, um eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse, durch vorherrschende pathologische Prozesse in der betreffenden Region, zu vermeiden.

#### **3.3.1.1. Gruppe 1: Mittellinien-Desmotomie**

Die palmare/plantare Desmotomie des FRBs wurde in der Mittellinie mit einem Skalpell (Nr. 21) durchgeführt (Abb.5). Ziel war es, die zuvor ballonierte FBSS nicht zu eröffnen. Jede Eröffnung der FBSS, die durch die Freisetzung von Flüssigkeit aus der FBSS festgestellt wurde, wurde dokumentiert.

Anschließend wurde das FRB vom Mesotendineum ausgehend von der Inzisionslinie präpariert und nach medial und lateral abgeklappt, wodurch die Anheftung des Mesotendineums an der OBS freigelegt wurde (Abb. 6). Die Länge (proximal bis distal) sowie die Breite (medial bis lateral) der Anheftung des Mesotendineums an der OBS wurden gemessen. Darüber hinaus wurde die Kontinuität der Anheftung des Mesotendineums an der OBS beurteilt und zwischen einer kontinuierlichen und einer diskontinuierlichen Anheftung unterschieden. Eine Anheftung des Mesotendineums an der OBS über die gesamte Länge des FRBs wurde als kontinuierliche Anheftung definiert. Eine Anheftung des Mesotendineums an der OBS, die nicht auf ganzer Länge des FRBs ausgebildet war oder deren Anheftung Unterbrechungen aufwies, wurde als diskontinuierliche Anheftung definiert. Die Breite des Mesotendineums wurde auf drei verschiedenen horizontalen Ebenen gemessen, deren Abstände gleichmäßig waren: proximal, zentral und distal (Abb. 6). Im Falle einer diskontinuierlichen Anheftung, auf der Höhe eines ausgewählten Messpunkts, wurde die Breite an dieser Stelle mit 0 mm angegeben. Nach der Messung der Breite des Mesotendineums an den drei angegebenen Stellen wurde eine weitere Kategorisierung vorgenommen. Mesotendineums mit einer Breite von mindestens 4 mm in allen gemessenen Bereichen wurden als breit bezeichnet, während Mesotendineums mit einer Breite von weniger als 4 mm in einem Bereich als schmal bezeichnet wurden.



### 3.3.1.2. Gruppe 2: lateropalmare/- plantare Desmotomie

Die Desmotomie des FRBs wurde ca. 10 mm lateral der palmaren/plantaren Mittellinie (d.h. lateral der Befestigung des Mesotendineums am FRB) mit einem Skalpell (Nr. 21) durchgeführt (Abb.5). Anschließend wurde das Mesotendineum aus der abaxialen Perspektive beurteilt und die Kontinuität der Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB bewertet. Schließlich wurde das Mesotendineum durchtrennt und die Anheftung, sowohl an der OBS als auch am FRB, vermessen und wie oben beschrieben kategorisiert (Abb.6).

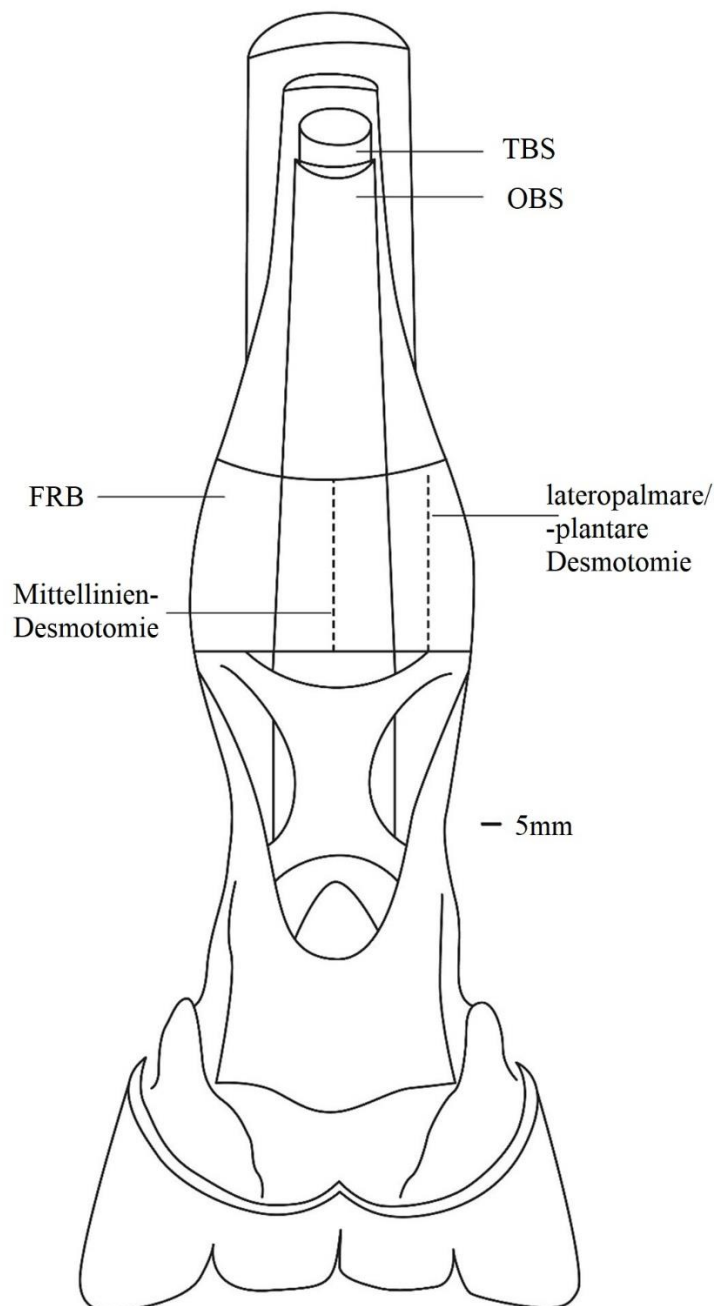
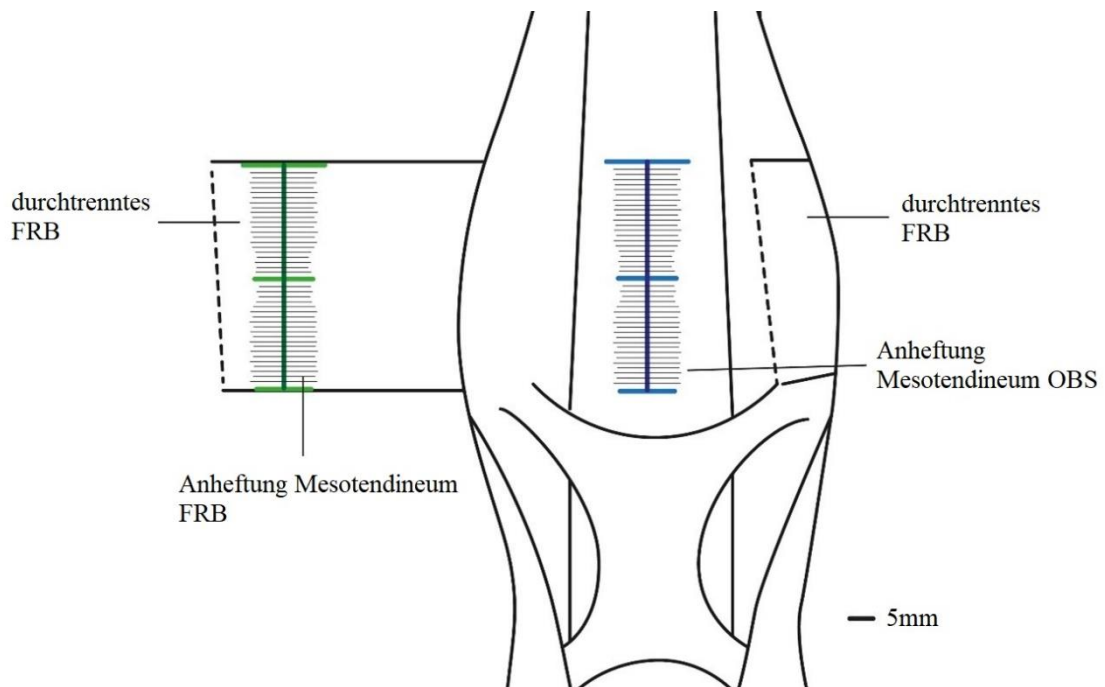


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Schnittführung bei der Mittellinien-Desmotomie und der lateropalmaren/-plantaren Desmotomie des Fesselringbandes



*Abbildung 6: Schematische Darstellung der Messpunkte der Anheftung des Mesotendineum an OBS und FRB*

*Legende: Dunkelgrüne Linie: Längenmessung Anheftung Mesotendineum am FRB*

*Hellgrüne Linie von proximal nach distal: Breite Anheftung Mesotendineum am FRB proximal, zentral, distal*

*Dunkelblaue Linie: Längenmessung Anheftung Mesotendineum an der OBS*

*Hellblaue Linie von proximal nach distal: Breite Anheftung Mesotendineum an der OBS proximal, zentral, distal*

## **4. Ergebnisse**

Die Eröffnung der FBSS trat bei 50 % (n=15) der Gliedmaßen in Gruppe 1 (Mittellinien-Desmotomie) auf und korrelierte mit bestimmten morphologischen Variationen des Mesotendineums. Unterschiede in der Konformation des Mesotendineums der OBS können, von Gliedmaße zu Gliedmaße innerhalb eines Pferdes und zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen, variieren.

### **4.1. Morphometrische Bewertung**

#### **4.1.1. Fesselringband (Gruppe 1 und 2)**

An den Vordergliedmaßen wies das FRB eine Länge von 41 mm bis 66 mm auf (Mittelwert: 52 mm). An den Hintergliedmaßen wies das FRB eine Länge von 30 mm bis 58 mm auf (Mittelwert: 46 mm).

#### **4.1.2. Anheftung des Mesotendineums an der OBS (Gruppen 1 und 2)**

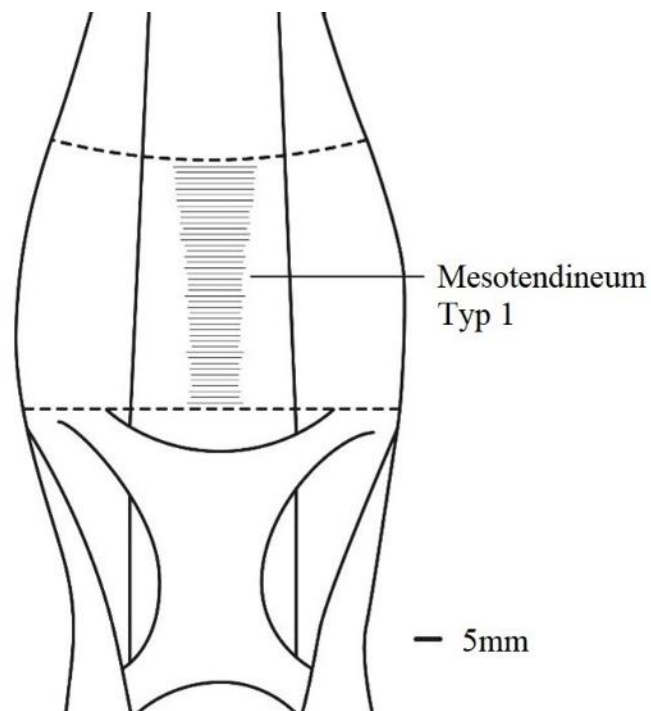
Alle Gliedmaßen (n = 60) wiesen ein Mesotendineum auf, wobei Unterschiede in der Anheftung festgestellt wurden. Basierend auf der Anheftung des Mesotendineums an der OBS wurde eine retrospektive Klassifizierung der morphologischen Variationen des Mesotendineums vorgenommen.

##### **4.1.2.1. Kontinuierliches Mesotendineums (Typ 1 und 2)**

Insgesamt 43 (71.7 %) Gliedmaßen wiesen ein durchgehendes Mesotendineum auf, bei dem die Länge der Anheftung des Mesotendineums an der OBS der Länge des FRBs entsprach. Unterschiede bestanden in der Breite der Anheftung. Es wurde zwischen Typ 1 und 2 unterschieden.

#### 4.1.2.1.1. Typ 1

In den Fällen des Typs 1 betrug die Breite des Mesotendineums an keiner Stelle weniger als 4 mm (Abb.7; Abb.11). Von den 43 Gliedmaßen wiesen 30 (69.8 %) ein breites Mesotendineum auf (Typ 1), was der Hälfte der insgesamt verwendeten Gliedmaßen entsprach.

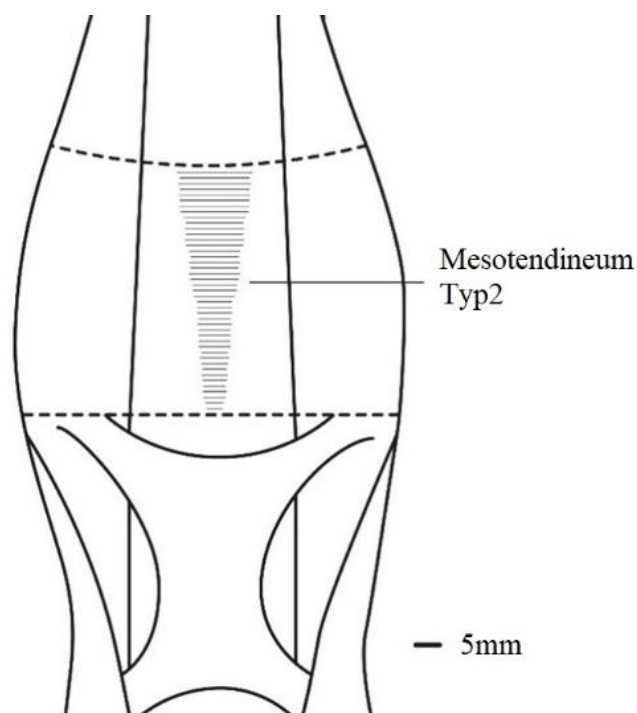


*Abbildung 7: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 1*

*Legende: Das gestrichelte Feld stellt die Anheftungszone des Mesotendineums an der OBS dar*

#### 4.1.2.1.2. Typ 2

Bei Typ 2 wies das Mesotendineum an mindestens einer der gemessenen Stellen eine Breite von weniger als 4 mm auf, was als schmales Mesotendineum definiert wurde (Abb.8; Abb.11). 13 (30.2 %) der Pferde mit einem kontinuierlichen Mesotendineum wiesen ein schmales Mesotendineum auf, was 21.7 % der Gesamtzahl entspricht. In den meisten dieser 13 Fälle (n=9) befand sich der schmale Teil im distalen Drittel. Bei den übrigen vier Gliedmaßen befand sich der schmale Teil zentral, in einem dieser vier Fälle wurde sowohl zentral als auch distal eine schmale Anheftung vermessen.



*Abbildung 8: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 2*

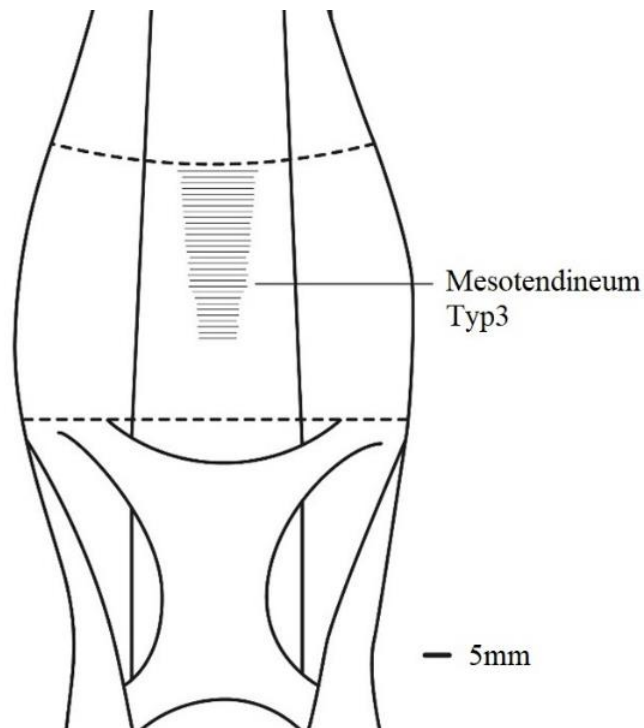
*Legende: Das gestrichelte Feld stellt die Anheftungszone des Mesotendineums an der OBS dar*

#### 4.1.2.2. Diskontinuierliches Mesotendineum (Typ 3 und 4)

Insgesamt 17 (28.3 %) der Gliedmaßen wiesen ein nicht durchgängiges Mesotendineum auf, bei dem der Ansatz des Mesotendineums an der OBS nicht über die gesamte Länge des FRBs ausgebildet ist. Es wurde zwischen Typ 3 und 4 unterschieden.

##### 4.1.2.2.1. Typ 3

In Fällen des Typs 3 erstreckte sich das Mesotendineum, bezogen auf die Länge des FRBs, über die proximalen zwei Drittel und war im distalen Drittel nicht ausgebildet (Abb.9; Abb.11). Dies war bei 11 Gliedmaßen (64.7 %) mit diskontinuierlichem Mesotendineum bzw. bei 18.3 % aller untersuchten Gliedmaßen der Fall.

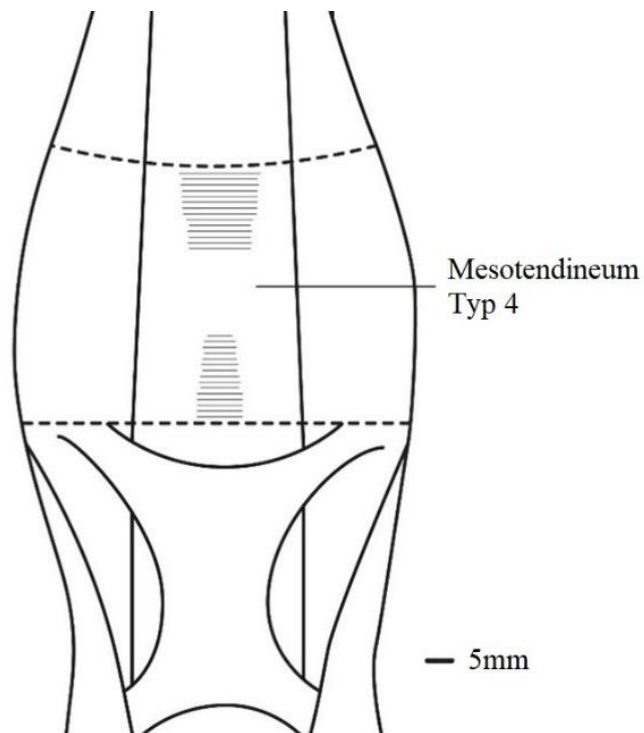


*Abbildung 9: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 3*

*Legende: Das gestrichelte Feld stellt die Anheftungszone des Mesotendineums an der OBS dar*

#### 4.1.2.2.2. Typ 4

In Fällen des Typs 4 wies das Mesotendineum eine Diskontinuität zwischen dem proximalen und dem distalen Drittel, bezogen auf die Länge des FRBs, auf (Abb.10; Abb.11). Dies war bei 6 (35.5 %) der Gliedmaßen mit einem diskontinuierlichen Mesotendineum der Fall und machte 10 % der Gesamtzahl bezogen auf alle untersuchten Gliedmaßen aus.



*Abbildung 10: Schematische Darstellung des Mesotendineums Typ 4*

*Legende: Das gestrichelte Feld stellt die Anheftungszone des Mesotendineums an der OBS dar*

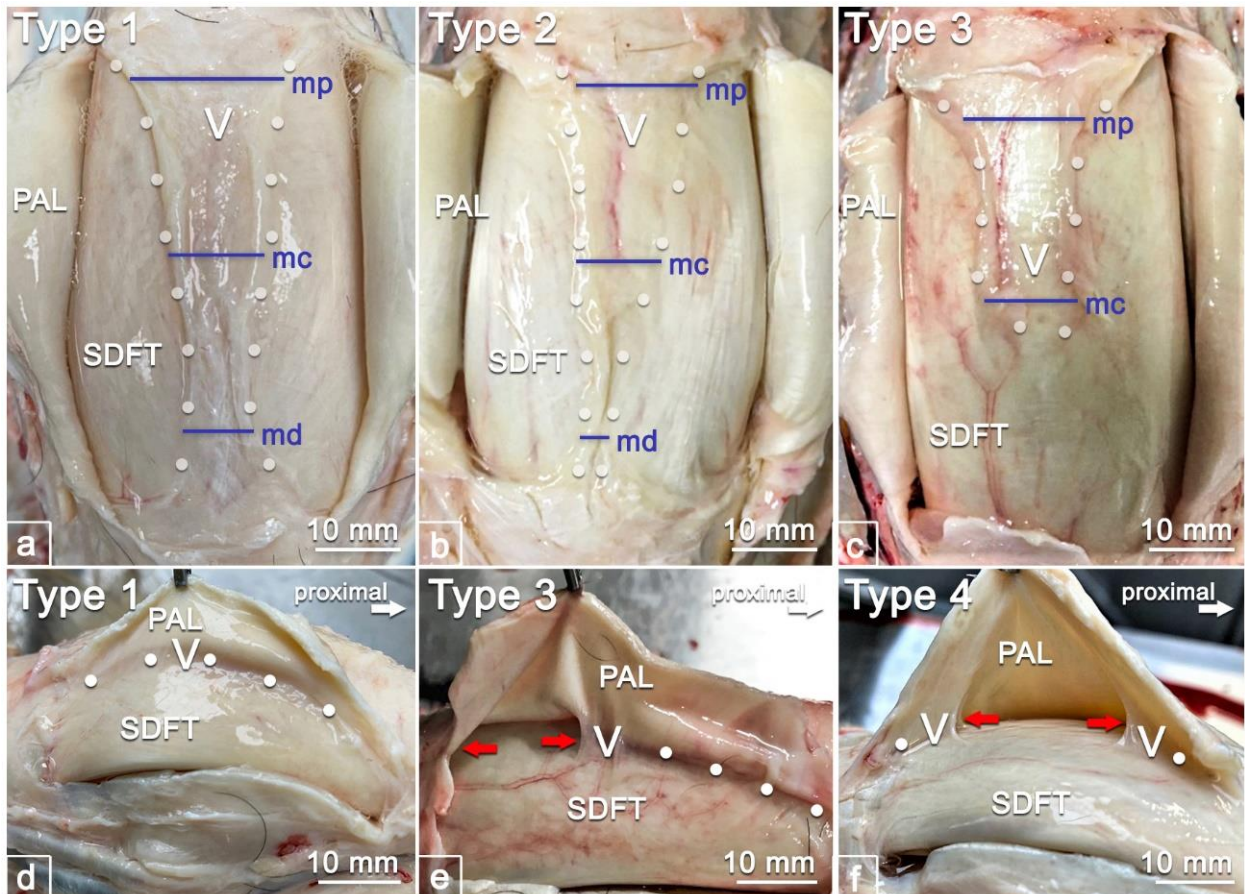


Abbildung 11: Übersicht der verschiedenen Typen des Mesotendineums  
(Quelle: Orth et al., 2022)

Legende: a-c palmar/plantare Aufsicht auf das Mesotendineum (V) und die OBS (SDFT) nach Mittellinien-Desmotomie des FRBs (PAL)

Die weißen Punkte markieren die äußere Begrenzung des Mesotendineums

Die blauen Linien markieren die Stellen der Breitenmessung der Anheftung des Mesotendineums, mp: proximale Messung, mc: zentrale Messung, md: distale Messung

d-f laterale Aufsicht auf das Mesotendineum (V) und die OBS (SDFT) nach lateraler Desmotomie  
Die weißen Punkte zeigen die Anheftung des Mesotendineums

Die roten Pfeile zeigen auf die Unterbrechung der Anheftung des Mesotendineums



### 4.1.3. Messungen des Mesotendineums an der OBS (Gruppen 1 und 2)

Deutliche Unterschiede wurden bei der Breite der Anheftung an der OBS festgestellt. Die Anheftungsbreite variierte von 0 mm (keine Anheftung) bis zu 26 mm (Tabelle 4).

*Tabelle 4: Anheftung des Mesotendineums an der OBS*

Ausprägungsform		Breite Mesotendineum proximal OBS (mm)	Breite Mesotendineum mittig OBS (mm)	Breite Mesotendineum distal OBS (mm)
<b>Typ 1</b>	Mittelwert	17.7	12.6	11.8
	Minimum	10	5	4
	Maximum	26	23	23
	N	30	30	30
<b>Typ 2</b>	Mittelwert	15.8	8.8	3.4
	Minimum	12	1	1
	Maximum	21	16	10
	N	13	13	13
<b>Typ 3</b>	Mittelwert	16.5	12.1	0
	Minimum	11	9	0
	Maximum	24	18	0
	N	11	11	11
<b>Typ 4</b>	Mittelwert	16.7	0	9.3
	Minimum	13	0	1
	Maximum	21	0	16
	N	6	6	6

#### **4.1.4. Messungen des Mesotendineums an OBS und FRB (Gruppe 2)**

Die Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB sowie die retrospektive Einteilung in die verschiedenen Typen werden in Tabelle 5 aufgelistet. Beim Vergleich der Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB wurden in 24 Fällen (80 %) geringgradige Unterschiede in der Anheftung des Mesotendineums an direkt gegenüberliegenden Positionen festgestellt. Die Unterschiede in der Anheftungsbreite hatten in 93.3 % (n=28) der Fälle keinen Einfluss auf die Zuordnung zu den definierten Mesotendineum-Typen. Lediglich in einer Gliedmaße (3.3 %) wurde eine Diskontinuität des Mesotendineums aufgrund einer ausschließlich am FRB vorhanden unterbrochenen Anheftung festgestellt. Aufgrund der hohen Symmetrie in der Anheftung des Mesotendineums am FRB und an der OBS erscheint es gerechtfertigt, die Messergebnisse der Anheftung des Mesotendineums an der OBS, die an allen 60 Gliedmaßen erhoben werden konnten, auch für die Anheftung an das FRB anzunehmen. Aufgrund der Mittellinien-Desmotomie war die direkte Messung der Anheftung des Mesotendineums am FRB in Gruppe 1 nicht möglich.

*Tabelle 5: Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB sowie die retrospektive Einteilung in die verschiedenen Typen*

Bein	Anheftung an der OBS					Anheftung an der FRB				
	proximal	mittig	distal	kontinuierlich/ diskontinuierlich (k/d)	Typ	proximal	mittig	distal	kontinuierlich/ diskontinuierlich (k/d)	Typ
1	14mm	14mm	12mm	k	1	16mm	16mm	18mm	k	1
2	17mm	14mm	15mm	k	1	17mm	11mm	4mm	k	1
3	11mm	10mm	0mm	d	3	23mm	20mm	0mm	d	3
4	11mm	10mm	7mm	k	1	19mm	17mm	16mm	k	1
5	15mm	15mm	1mm	k	2	20mm	18mm	14mm	k	1
6	14mm	13mm	5mm	k	1	14mm	12mm	5mm	k	1
7	13mm	10mm	0mm	d	3	16mm	14mm	0mm	d	3
8	17mm	18mm	0mm	d	3	17mm	1mm	0mm	d	3
9	21mm	22mm	20mm	k	1	23mm	14mm	11mm	k	1
10	24mm	10mm	13mm	k	1	16mm	5mm	18mm	k	1
11	21mm	19mm	14mm	k	1	20mm	16mm	16mm	k	1
12	22mm	10mm	15mm	k	1	13mm	5mm	18mm	k	1
13	15mm	11mm	9mm	k	1	22mm	17mm	9mm	k	1
14	25mm	18mm	14mm	k	1	5mm	4mm	15mm	k	1
15	18mm	11mm	0mm	d	3	26mm	14mm	0mm	d	3
16	21mm	14mm	19mm	k	1	14mm	9mm	11mm	k	1
17	14mm	16mm	23mm	k	1	15mm	17mm	12mm	k	1
18	17mm	6mm	8mm	k	1	19mm	9mm	11mm	k	1
19	25mm	23mm	17mm	k	1	30mm	24mm	21mm	k	1
20	24mm	5mm	12mm	k	1	34mm	9mm	17mm	k	1
21	19mm	15mm	0mm	k	3	23mm	17mm	0mm	d	3
22	19mm	13mm	1mm	k	2	17mm	3mm	2mm	k	2
23	15mm	0mm	8mm	d	4	15mm	0mm	15mm	d	4
24	19mm	0mm	15mm	d	4	10mm	0mm	21mm	d	4
25	12mm	13mm	13mm	k	1	14mm	13mm	13mm	k	1
26	24mm	11mm	12mm	k	1	30mm	16mm	19mm	k	1
27	24mm	11mm	0mm	d	3	28mm	13mm	0mm	d	3
28	21mm	0mm	1mm	d	4	19mm	14mm	1mm	k	2
29	13mm	0mm	15mm	d	4	14mm	0mm	17mm	d	4
30	10mm	6mm	4mm	k	1	11mm	4mm	6mm	k	1

#### 4.2. Eröffnung der FBSS (Gruppe 1)

Eine Eröffnung der FBSS fand bei 50 % (n=15) der Gliedmaßen statt. Es kam bei allen Gliedmaßen eines diskontinuierlichen Typs (Typs 3 und 4) (n=7) und bei acht Gliedmaßen mit Mesotendineum des Typs 2 zur Eröffnung der FBSS. Eine extrasynoviale Desmotomie war bei allen Gliedmaßen mit einem Mesotendineum Typ 1 (n=12) und bei den übrigen drei von 11 Gliedmaßen mit einem Mesotendineum Typ 2 möglich. Die Eröffnung der FBSS erfolgte häufiger an den Vordergliedmaßen (n=10) als an den Hintergliedmaßen (n=5). Tabelle 6 gibt Übersicht über die Eröffnung der FBSS.

*Tabelle 6: Eröffnung FBSS nach Mittellinien-Desmotomie*

Pferd	Gliedmaße	Typ Mesotendineum	Eröffnung FBSS
1	VL	1	Nicht eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
2	VL	3	Eröffnet
	HL	2	Nicht eröffnet
3	VL	2	Eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
4	VL	3	Eröffnet
	HL	2	Eröffnet
5	VL	2	Eröffnet
	HL	2	Nicht eröffnet
6	VL	1	Nicht eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
7	VL	2	Eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
8	VL	3	Eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
9	VL	1	Nicht eröffnet
	HL	2	Eröffnet
10	VL	1	Nicht eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
11	VL	3	Eröffnet
	HL	2	Eröffnet
12	VL	2	Eröffnet
	HL	4	Eröffnet
13	VL	1	Nicht eröffnet
	HL	1	Nicht eröffnet
14	VL	3	Eröffnet
	HL	4	Eröffnet
15	VL	2	Eröffnet
	HL	2	Nicht eröffnet

### 4.3. Verteilung der Typen

Alle in der Arbeit herausgestellten morphologischen Variationen konnten sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen nachgewiesen werden, jedoch war die Verteilung von Typ 1 und Typ 3 zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen ungleich (Tabelle 7).

Typ 1 wurde bei 60 % (n=18) der Hintergliedmaßen und bei 40 % (n=12) der Vordergliedmaßen festgestellt, während Typ 3 bei 3.3 % (n=1) der Hintergliedmaßen gegenüber 33.3 % (n=10) der Vordergliedmaßen festgestellt wurde.

Die verschiedenen Ausprägungen des Mesotendineums konnten innerhalb eines Pferdes von Gliedmaße zu Gliedmaße variieren. Vier Pferde wiesen in allen vier Gliedmaßen ein Mesotendineum vom Typ 1 auf. Die meisten Pferde (n=9) zeigten zwei verschiedene Typen in den vier Gliedmaßen. Nur zwei Pferde wiesen mehr als zwei verschiedene Typen auf.

*Tabelle 7: Verteilung der verschiedenen Typen des Mesotendineums*

*Legende: S=Stute; W=Wallach; WB=Warmblut*

Pferd	Alter	Sex	Rasse	Typen Mesotendineum							
				1		2		3		4	
				Vorder- gliedmaße	Hinter- gliedmaße	Vorder- gliedmaße	Hinter- gliedmaße	Vorder- gliedmaße	Hinter- gliedmaße	Vorder- gliedmaße	Hinter- gliedmaße
1	18	S	WB	2	2						
2	10	S	WB		1		1	2			
3	24	W	WB		2	2					
4	13	W	WB				1	2	1		
5	15	W	WB	1	1	1	1				
6	15	W	WB	2	2						
7	13	W	Friese	1	2	1					
8	15	W	Friese		2			2			
9	12	W	WB	2	1		1				
10	28	W	Norweger	2	2						
11	1	S	WB				2	2			
12	16	W	Hallinger			1				1	2
13	8	W	Welsh	2	2						
14	16	S	WB					2			2
15	11	S	WB		1	1	1			1	
			<b>Total</b>	<b>12 (20%)</b>	<b>18 (30%)</b>	<b>6 (10%)</b>	<b>7 (11.7%)</b>	<b>10 (16.7%)</b>	<b>1 (1.7%)</b>	<b>2 (3.3%)</b>	<b>4 (6.7%)</b>
				<b>30 (50%)</b>		<b>13 (21.7%)</b>		<b>11 (18.3%)</b>		<b>6 (10%)</b>	

## **5. Diskussion**

In der vorliegenden Arbeit wurde die Morphologie des Mesotendineums der OBS untersucht sowie deren Bedeutung für die Desmotomie in der palmaren/plantaren Mittellinie eruiert. In der Studie wurden insgesamt 60 Gliedmaßen verwendet. Morphologische Daten wurden an allen 60 Gliedmaßen erhoben, eine palmare/plantare Mittellinien-Desmotomie wurde an 30 Gliedmaßen durchgeführt.

### **5.1. Morphologie des Mesotendineums**

Das Vorhandensein des Mesotendineums der OBS in jeder Gliedmaße konnte in dieser Studie bestätigt werden.

Bisher bekannte Messungen des Mesotendineums ergaben eine durchschnittliche Breite von 14.7 mm proximal, 11.9 mm zentral und 9.6 mm distal, wobei der schmalste Messwert 8 mm im distalen Teil betrug und keine Variationen in der Ausbildung des Mesotendineums beschrieben wurden (Hawkins und Churchill, 1998).

Die tendenzielle Verschmälerung des Mesotendineums von proximal nach distal konnte in der vorgelegten Arbeit bestätigt werden (Hawkins und Churchill, 1998). Allerdings konnten Unterschiede in der Morphologie des Mesotendineums detektiert werden, die eine retrospektive Einteilung in vier verschiedene Typen möglich machte.

Insbesondere das mögliche Vorhandensein eines diskontinuierlichen Mesotendineums widerspricht der vertretenden Auffassung, dass durch das Mesotendineum palmaroaxial/plantaroaxial stets ein extrasynovialer Raum gebildet wird, welcher Voraussetzung für eine extrasynoviale Desmotomie ist (Gerring und Webbon, 1984; Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998). Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Resultate ist die größere Anzahl von Gliedmaßen, die in der vorgelegten Studie verwendet wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass der diskontinuierliche Typ häufiger an den Vordergliedmaßen auftritt. Die Tatsache, dass die vorderen Gliedmaßen einer höheren Belastung ausgesetzt sind (Back et al., 1995), weist auf eine mögliche belastungsinduzierte Ausgestaltung des Mesotendineums hin. Dieser Hypothese konnte mit den Daten der vorliegenden Studie allerdings nicht weiter nachgegangen werden und bleibt weiterführenden Untersuchungen vorbehalten.

Schädigungen des Mesotendineums wurden in zwei Fällen in Verbindung mit dem FRBS beschrieben, in einem Fall an der Vorder- und in einem anderen Fall an der Hintergliedmaße

(Owen et al., 2012). Es ist möglich, dass chronischer Stress zu Veränderungen des Mesotendineums führen kann oder dass ein bestimmter Typ für das FRBS prädisponiert.

Da in dieser Studie ausschließlich mit Kadaverbeinen gearbeitet wurde, welche frei von pathologischen Veränderungen waren, können keine Aussagen über einen kausalen Zusammenhang zwischen der Morphologie des Mesotendineums und dem Auftreten des FRBS getroffen werden. Weitere Studien, die einen möglichen Zusammenhang untersuchen, wären dafür erforderlich.

Zwar gibt es unterschiedliche Aussagen über Prädispositionen des FRBS an Vorder- oder Hintergliedmaßen, die sich je nach Rasse unterscheiden (Stanek und Edinger, 1990; Ruprecht, 1993; Dik et al., 1995; Wright und McMahon, 1999; Wilderjans et al., 2003; Arensburg et al., 2011), allerdings konnten in dieser Arbeit aufgrund der Studiengröße und der ungleichen Rassenverteilung, keine Zuordnung der verschiedenen Mesotendineums in Bezug auf Rasse oder Alter vorgenommen werden. Das Vorkommen aller vier Typen des Mesotendineums beim Warmblut lässt einen Zusammenhang zwischen unterschiedlicher Morphologie und Rasse zweifelhaft erscheinen.

In der bisherigen Literatur wird angenommen, dass das Mesotendineum die OBS mit Blut versorgt (Gerring und Webbon, 1984; Durham und Dyson, 2011). Für das Vinculum tendineum wird eine eher führend-stabilisierende Funktion vermutet (Neumeier et al., 2004). Bei einer derart variablen Ausprägung stellt sich die Frage, ob die Funktion des Mesotendineums der OBS nur in der Blutversorgung liegt oder auch führend-stabilisierenden Charakter hat, ähnlich wie es für die Vincula tendineum beschrieben ist. Des Weiteren ergibt sich die Frage, ob die unterschiedliche Morphologie Einfluss auf die Funktion des Mesotendineums hat und eventuell mit der Ätiopathogenese des FRBS zusammenhängt.

## **5.2. Eröffnung der FBSS: chirurgische Relevanz**

Entgegen der bestehenden Auffassung, dass eine Desmotomie in der palmaren/plantaren Mittellinie nicht zur Eröffnung der FBSS führt und die einzige Möglichkeit der extrasynovialen Desmotomie darstellt (Kersjes, 1985; Hawkins und Churchill, 1998), zeigt diese Studie deutlich, dass trotz optimaler Voraussetzung zur präzisen Schnittführung eine extrasynoviale Desmotomie aufgrund der Formvarianz des Mesotendineums nicht immer möglich ist. Ein diskontinuierliches Mesotendineum führt immer zur Eröffnung der FBSS. Bei Typ 3 und 4 wurde die FBSS in 100 % der Fälle eröffnet. Bei Typ 2 wurde die FBSS in den meisten Fällen (72.6 %) aufgrund eines schmalen Mesotendineums eröffnet. Die tendenzielle Verschmälerung des Mesotendineums von proximal nach distal erhöht das Risiko der Eröffnung im distalen Bereich. Auf der Grundlage der erzielten Ergebnisse ist eine sichere

extrasynoviale Desmotomie nur bei Pferden mit einem Mesotendineum des Typs 1 möglich. Wird eine Desmotomie am stehenden Pferd mit Lokalanästhesie blind durchgeführt (Hawkins und Churchill, 1998), ist eine präzise Schnittführung erschwert und somit die Chance einer extrasynovialen Desmotomie bei einem schmalen Mesotendineum vermutlich noch geringer. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein steigender Füllungsgrad der FBSS die Wahrscheinlichkeit einer Eröffnung während der Desmotomie ungünstig beeinflussen könnte, da das Mesotendineum unter vermehrter Spannung schmaler werden könnte. Die Eröffnung der FBSS (n=15) trat häufiger an den Vordergliedmaßen (n=10/15, 66.7 %) als an den Hintergliedmaßen (n=5/15, 33.3 %) auf. Dies passt zu den gewonnenen Erkenntnissen, dass Typ 1, der eine sichere extrasynoviale Desmotomie ermöglicht, häufiger an den Hintergliedmaßen festgestellt wurde (n=18/30, 60 %), während Typ 3, der in jedem Fall zur Eröffnung des FBSS führt, häufiger an den Vordergliedmaßen festgestellt wurde (n=10/30, 33.3 %).

In Bezug auf die Verteilung zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben zum Vorkommen des FRBSs.

Es wird sowohl ein erhöhtes Vorkommen in den Vordergliedmaßen (Stanek und Edinger, 1990; Ruprecht, 1993; Wright und McMahon, 1999; Wilderjans et al., 2003; Arensburg et al., 2011) als auch ein rasseabhängiges erhöhtes Vorkommen in den Hintergliedmaßen beschrieben (Dik et al., 1995). Für die primäre Desmitis/Desmopathie des FRBs wurde eine Prädisposition an den Hintergliedmaßen festgestellt (Owen et al., 2008). Andere Autoren geben keine Unterschiede in der Verteilung an (Gerring und Webbon, 1984; Verschooten und Picavet, 1986; Nixon, 1990a). Bei einer Prädisposition des FRBS für die Vordergliedmaßen muss davon ausgegangen werden, dass eine derartige Studie bei Pferden mit FRBS im Gesamten in einer erhöhten Anzahl an eröffneten FBSS resultieren würde.

### **5.3. Relevanz für die klinische Untersuchung**

Aufgrund der Konsequenzen bei der Desmotomie erscheint eine vorherige Bestimmung der Ausprägung des Mesotendineums bei geplanter extrasynovialer Mittellinien-Desmotomie sinnvoll und notwendig.

Die Aussagen zur Darstellung des Mesotendineums im Ultraschall unterscheiden sich je nach Autor. Einige beschreiben die Darstellbarkeit des Mesotendineums im Ultraschall, wenn die FBSS ausgedehnt ist und keine wesentliche Verengung des FRBs vorliegt (Wilderjans et al., 2003; Arensburg et al., 2011). Andere Autoren geben an, das Mesotendineum nicht darstellen zu können, auch nicht nach Ballonierung der FBSS mit NaCl-Lösung, welche eine differenziertere Beurteilung von Bandstrukturen mittels Ultraschalls ermöglicht (Daniel et al.,



2019). Eine Veränderung des FRBs, wie sie häufig beim FRBS anzutreffen ist, erschwert die Diagnostik weiter.

Eine von den Autoren durchgeführte Voruntersuchung von Fällen des FRBSs hat gezeigt, dass diese anatomischen Variationen nicht mittels Ultraschalls unterschieden werden können und dass eine Unterscheidung zwischen Mesotendineum, OBS und FRB nicht immer sicher möglich ist. Um die verschiedenen Ausprägungen des Mesotendineums darzustellen, wurde eine Ultraschalluntersuchung des palmar/plantaren Fesselkopfs durchgeführt. Im Falle einer möglichen Visualisierung wurde die Breite des Mesotendineums im Ultraschallbild gemessen. Es musste festgestellt werden, dass eine definierte Darstellung des Mesotendineums über den gesamten Verlauf und eine Unterscheidung zwischen Mesotendineum, OBS und FRB nicht konstant möglich ist. Daher konnte keine Aussage über die Breite und Kontinuität des Mesotendineums getroffen werden. Aufgrund der inkonsistenten Darstellung des Mesotendineums wurde die Studie nicht fortgesetzt.

Eine weitere Option zur Bestimmung der Ausprägung des Mesotendineums könnte eine Kontrastradiographie der Region nach Ballonierung der FBSS mit einem Kontrastmittel sein. Es bleibt jedoch fraglich, ob relevante morphologische Unterschiede im zweidimensionalen Röntgenbild dargestellt werden können. In den bisherigen Artikeln zur Röntgenkontrastuntersuchung der FBSS wird das Mesotendineum nicht erwähnt (Fiske-Jackson et al., 2012; Kent et al., 2020). Es bleibt daher zweifelhaft, ob eine der genannten diagnostischen Untersuchungen zuverlässige Ergebnisse liefern kann.

Auch im low-field MRT ist eine kontinuierliche Darstellung des Mesotendineums nicht möglich. Da das high-field MRT eine detaillierte Darstellung von Weichteilgewebe ermöglicht (Murray et al., 2005; Dyson et al., 2008), ist eine Darstellung des Mesotendineums, die sich zur morphologischen Beurteilung anbietet, wahrscheinlich. Das Kontrast-Mittel CT bietet in 100 % der Fälle eine Darstellung des Mesotendineums (Agass et al., 2017). Während diese Verfahren eine Option für weitere Forschungsprojekte sein könnten, sind sie als Voruntersuchung für klinische Eingriffe aufgrund der damit verbundenen Kosten eher unrealistisch.

Auch wenn die Tendovaginoskopie keine klinische Voruntersuchung darstellt, soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass das Mesotendineum darstellbar ist und gelegentlich eine Diskontinuität festgestellt werden kann (persönliche Kommunikation Prof. Astrid Rijkenhuizen). Eine Unterscheidung zwischen Typ 1 und 2 ist jedoch nicht möglich. Darüber

hinaus ist die Identifikation von Typ 3 schwierig, da die Anheftung des Mesotendineums nicht bis zum distalen Rand des FRBs zu beurteilen ist.

Ein Zusammenhang zwischen klinisch manifestem FRBS und Morphologie des Mesotendineums der OBS wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. Eine zukünftige Studie, die das Auftreten des FRBS und die Morphologie des Mesotendineums untersucht, wäre für weitere Erkenntnisse von großem Interesse.

Von klinischer Relevanz in dieser Arbeit ist das gewonnene Wissen um die Unterschiede in der Morphologie des Mesotendineums und die damit einhergehenden Konsequenzen für die Desmotomie, welche das Bewusstsein um mögliche Komplikationen im seltenen Fall einer geplanten Mittellinien-Desmotomie ändert.

#### **5.4. Limitationen der Studie**

Die relativ geringe Fallzahl und die heterogene Verteilung der Rassen erlaubten keine umfassende statistische Analyse der Daten. Insbesondere konnte nicht geklärt werden, ob Alter und/oder Rasse des Pferdes die Morphologie des Mesotendineums beeinflussen. Des Weiteren wurde bei der Hälfte der untersuchten Gliedmaßen das FRB durchtrennt, ohne dass die Möglichkeit bestand, die Anheftung des Mesotendineums am FRB zu messen. Dies war dem Ziel der Studie geschuldet, die Inzidenz einer unerwünschten Eröffnung der FBSS während der Desmotomie des FRBs in der Mittellinie zu bewerten. Daher wurde die Klassifizierung des Mesotendineums hauptsächlich auf der Grundlage der Anheftung des Mesotendineums an der OBS vorgenommen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Anheftungsseite des Mesotendineums an der OBS die Anheftungsseite am FRB nahezu widerspiegelt und die geringgradigen Unterschiede für die Kategorisierung der verschiedenen Typen keine wesentliche Rolle spielen.

#### **5.5. Schlussfolgerung**

Zusammenfassend lässt sich anhand der Studie bezogen auf die Forschungsfragen, ob eine konventionelle Mittellinien-Desmotomie ein extrasynovialer Eingriff ist und ob eine Eröffnung der FBSS im Zuge der Mittellinien Desmotomie mit bestimmten morphologischen Variationen des Mesotendineums korreliert, konstatieren, dass eine extrasynoviale Mittellinien-Desmotomie des FRBs aufgrund der unterschiedlichen Morphologie des Mesotendineums nicht immer gewährleistet ist. Es bleibt unklar, ob die beschriebenen Typen des Mesotendineums ein Spektrum anatomischer Variationen darstellen oder ob dies in einigen Fällen für einen bestimmten pathologischen Zustand repräsentativ ist. Die Kadaverbeine durften für die Studie allerdings makroskopisch keine Veränderungen aufweisen, weshalb anzunehmen ist, dass es sich um ein Spektrum anatomischer Variationen handelt. Weitere Studien sind erforderlich und

von großem Interesse, um die Korrelation zwischen den in dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen über die morphologischen Variationen des Mesotendineums und dem Auftreten des FRBS zu bewerten.

Bezugnehmend auf die Fragen, ob ein Unterschied in der Ausbildung des Mesotendineums zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen besteht und ob die Ausbildung des Mesotendineums bei einem Pferd von Gliedmaße zu Gliedmaße variieren kann, lässt sich festhalten, dass die vier detektierten Typen des Mesotendineums sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen vorgefunden wurden. Auch wenn sich eine Tendenz für das vermehrte Auftreten des Typs 3 an den Vorder- und des Typs 1 an den Hintergliedmaßen abzeichnete, reichen die erhobenen Daten nicht für eine statistische Analyse. Variationen der Morphologie des Mesotendineums bei einem Pferd sind möglich und wurden in den meisten Fällen detektiert. Des Weiteren konnte geklärt werden, ob morphologische Unterschiede in der Anheftung des Mesotendineums an OBS und FRB bestehen. Die Ergebnisse zeigen, dass nur geringgradige Abweichungen in der Anheftung des Mesotendineums festgestellt wurden, die keinen maßgeblichen Einfluss auf die retrospektive Klassifizierung des Mesotendineums hatten.

## 6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Breite und Länge der Anheftung des Mesotendineums an der OBS und dem FRB bestimmt, um Erkenntnis über etwaige anatomische Formvariationen zu erlangen und somit gegebene Konsequenzen für eine Mittellinien-Desmotomie einschätzen zu können.

Es wurden insgesamt 60 Gliedmaßen (30 Vorder- und 30 Hintergliedmaßen) präpariert. An 30 Gliedmaßen wurde eine Mittellinien-Desmotomie durchgeführt und in diesem Zuge die Eröffnung der FBSS untersucht. Anschließend wurde die Anheftung des Mesotendineums an der OBS vermessen. An den anderen 30 Gliedmaßen wurde eine laterale Desmotomie durchgeführt und die Anheftung des Mesotendineums an der OBS und dem FRB vermessen.

Retrospektiv konnten 4 verschiedene Typen des Mesotendineums ausgemacht werden, die sich in ihrer Kontinuität und Breite der Anheftung unterschieden.

Insgesamt 43 (71.7 %) Gliedmaßen wiesen ein durchgehendes Mesotendineum auf, bei dem die Länge der Anheftung des Mesotendineums an der OBS der Länge des FRBs entsprach. Dazu gehörten Typ 1 und 2.

In den Fällen des Typs 1 betrug die Breite des Mesotendineums an keiner Stelle weniger als 4 mm, was als breites Mesotendineum definiert wurde. 30 Gliedmaßen wiesen ein Mesotendineum des Typs 1 auf.

Bei Typ 2 wies das Mesotendineum an mindestens einer der gemessenen Stellen eine Breite von weniger als 4 mm auf, was als schmales Mesotendineum definiert wurde. Dies traf in 13 Fällen zu.

Insgesamt 17 (28.3 %) der Gliedmaßen wiesen ein diskontinuierliches Mesotendineum auf, bei dem der Ansatz des Mesotendineums an der OBS nicht über die gesamte Länge des FRBs ausgebildet war. Hierzu gehörten Typ 3 und 4.

In Fällen des Typs 3 war das Mesotendineum in den proximalen zwei Dritteln ausgebildet und im distalen Drittel, bezogen auf die Länge des FRBs, nicht vorhanden. Dies war bei 11 Gliedmaßen der Fall.

In Fällen des Typs 4 wies das Mesotendineum eine Diskontinuität zwischen dem proximalen und dem distalen Drittel, bezogen auf die Länge des FRBs, auf. Dies war bei 6 Gliedmaßen der Fall.

Eine Eröffnung der FBSS fand in 50.0 % der Fälle statt und stand mit der Morphologie des Mesotendineums in Zusammenhang. Es konnte festgestellt werden, dass ein diskontinuierliches

Mesotendineum im Zuge der Desmotomie zwangsläufig zur Eröffnung der FBSS führte. Bei einem Mesotendineum des Typs 2 wurde eine Eröffnung in 8 von 11 Fällen festgestellt. Eine extrasynoviale Desmotomie war nur in Fällen eines Mesotendineums des Typs 1 und in 3 Fällen des Typs 2 möglich.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass es anatomische Formvarianzen des Mesotendineums der OBS gibt aufgrund welcher eine extrasynoviale Desmotomie nicht immer möglich ist.

## 7. Summary

In the present work, the width and length of the attachment of the mesotendineum at the superficial digital flexor tendon (SDFT) and palmar/plantar annular ligament (PAL) was measured to identify differences in the conformation of the mesotendineum, which do not allow for an extrasynoviale midline desmotomy of the PAL in every horse.

A total of 60 limbs (30 forelimbs and 30 hindlimbs) were prepared. A midline desmotomy was performed on 30 limbs and the opening of the digital flexor tendon sheath (DFTS) was examined during this procedure. Subsequently, the attachment of the mesotendineum to the SDFT was measured. A lateral desmotomy was performed on the other 30 limbs, and the attachment of the mesotendineum to the SDFT and the PAL was measured.

Retrospectively, 4 different types of mesotendineum could be identified, differing in their continuity and width of attachment.

A total of 43 (71.7 %) limbs had a continuous mesotendineum in which the length of attachment of the mesotendineum at the SDFT covered the length of the PAL. This included type 1 and 2. In type 1, the width of the mesotendineum was not less than 4 mm at any point, which was classified as a broad mesotendineum. 30 limbs showed a broad mesotendineum (type 1). In type 2 cases, the mesotendineum had a width of less than 4 mm in at least one of the measured locations, which was classified as a thin mesotendineum. 13 limbs showed a thin mesotendineum.

A total of 17 (28.3 %) of the limbs had a non-continuous mesotendineum, where the attachment of the mesotendineum of the SDFT is not covering the entire length of the PAL. This included type 3 and 4.

In type 3 cases, the mesotendineum was formed in the proximal two thirds and absent in the distal third, relative to the length of the PAL. This was the case in 11 limbs. In type 4 cases, the mesotendineum showed discontinuity between the proximal and distal third, relative to the length of the PAL. This was the case in 6 limbs.

Opening of the DFTS occurred in 50 % of the cases and was related to morphological variation in the attachment of the mesotendineum. Opening of the DFTS was evident in every limb that had a discontinuous mesotendineum (type 3 and 4). With a type 2 mesotendineum, opening was noted in 8 of 11 cases. An extrasynovial desmotomy was only possible in cases of a type 1 mesotendineum and in three limbs featuring a mesotendineum type 2.

The results of the study show that there are morphological variations of the mesotendineum of the SDFT, due to which an extrasynovial midline desmotomy is not always possible.

## 8. Referenzen

- Adams, O.R. (1974) Constriction of the palmar (volar) or plantar annular ligament of the fetlock in the horse. *Veterinary medicine small animal clinician*, 69, 327-329
- Agass, R., Dixon, J., Fraser, B. (2017) Computed tomographic contrast tomography of the digital flexor tendon sheath of the equine hindlimb. *Veterinary Radiology Ultrasound*, 00, 1-10
- Arensburg, L., Wilderjans, H., Simon, O., Dewulf, J. and Boussauw, B. (2011) Nonseptic tenosynovitis of the digital flexor tendon sheath caused by longitudinal tears in the digital flexor tendons: A retrospective study of 135 tenoscopic procedures. *Equine Veterinary Journal*, 6, 660- 668
- Back, W., Schamhardt, H.C., Hartman, W., Barneveld, A. (1995) Kinematic differences between the distal portions of the forelimbs and hind limbs of horses at the trot. *American Journal of Veterinary Research*, 56 (11),1522-8. PMID: 8585667.
- Barr, A.R., Dyson, S.J., Barr, F.J. and O'Brien, J.K. (1995) Tendonitis of the deep digital flexor tendon in the distal metacarpal/metatarsal region associated with tenosynovitis of the digital sheath in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 27, 348-355
- Bode, H. (1940) Chirurgisch anatomische Untersuchungen an der gemeinschaftlichen Beugesehnenscheide des Pferdes. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Cohen, J.M., Schneider, R.K., Zubrod, C.J., Sampson, S.N., Tucker, R.L. (2008) Desmitis of the distal digital annular ligament in seven horses: MRI diagnosis and surgical treatment. *Veterinary Surgery*, 34, 336-344
- Dabareiner, R.M., Watkins, J.P., Carter, G.K., Honnas, C.M., Eastman, T. (2001) Osteitis of the axial border of the PBS in horses: eight cases (1993-1999). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 219,82-86
- Daniel, A.J., Leise B.S., Selberg, K.T., Barrett, M.F. (2019) Enhanced ultrasonographic imaging of the equine distal limb using saline injection of the digital flexor tendon sheath: A cadaver study. *The Veterinary Journal*, 247, 26-31
- Denoix, J.M. (1994) Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs. *Veterinary Clinics of North America*, 10, 273- 316



- Di Giovanni, D.L., Rademacher, N., Riggs, L.M., Baumruck, R.A., Gaschen, L. (2016) Dynamic sonography of the equine metacarpo(tarso)phalangeal digital flexor tendon sheath. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 00, 1-10
- Diekstall, M., Rijkenhuizen, A.B.M. and Gudehus, T. (2019) Tenoscopic resection of the manica flexoria in 21 horses using a two-portal unilateral technique. *Equine Veterinary Education*, 32, 66-71
- Dietz, O., Huskamp, B. (2017) *Handbuch Pferdepraxis (4.Auflage)*, Enke-Verlag, Stuttgart, 44-46, 1002-1008
- Dik, K.J., van den Belt, A.J., Keg, P.R. (1991) Ultrasonographic evaluation of fetlock annular ligament constriction in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 23, 285-288
- Dik, K.J., Dyson, S.J. and Vail, T.B. (1995) Aseptic tenosynovitis of the digital flexor tendon sheath, fetlock and pastern annular ligament constriction. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 11(2), 151- 162
- Durham, M., Dyson, S.J. (2011) *Applied anatomy of the musculoskeletal system*. 2<sup>nd</sup> ed. St. Louis
- Dyson, S., Blunden, T. and Murray, R. (2008) The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint: Magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Veterinary Journal*, 40, 538-544
- Edinger, J., Möbius, G., Ferguson J. (2005) Comparison of tenoscopic and ultrasonographic methods of examination of the digital flexor tendon sheath in horses. *Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 18, 209-214
- Espinosa, P., Nieto, J.E., Snyder, J.R., Galippo, L.D., Katzman, S.A. (2017) A novel ultrasonographic assisted technique for desmotomy of the palmar/plantar annular ligament in horses. *Veterinary Surgery*, 00, 1-10
- Findley, J.A., De Oliveira, F., Bladon, B. (2012) Tenoscopic Surgical Treatment of Tears of the Manica Flexoria in 53 Horses. *Veterinary Surgery*, 41, 924-930
- Fiske-Jackson, A.R., Barker, W.H.J., Eliashar, E., Foy, K., Smith, R.K.W. (2012) The use of intrathecal analgesia and contrast radiography as preoperative diagnostic methods for digital flexor tendon sheath pathology. *Equine Veterinary Journal*, 45, 36-40

- Fortier, L.A., Nixon, A.J., Ducharme, N.G., Mohammed, H.O. and Yeager, A. (1999) Tenoscopic examination and proximal annular ligament desmotomy for treatment of equine complex digital sheath tenosynovitis. *Veterinary Surgery*, 28, 429-435
- Fortier, L.A. (2005) Indications and techniques for tenoscopic surgery of the digital flexor tendon sheath. *Equine Veterinary Education*, 17, 218-224
- Gerring, E.L. and Webbon, P.M. (1984) Fetlock annular ligament desmotomy: A report of 24 cases. *Equine Veterinary Journal*, 16 (2), 113- 116
- Hawkins, D.L., Churchill, E.A. (1998) Extrasynovial palmar-plantar annular ligament desmotomy. *Proceeding, American Association of Equine Practitioners, Baltimore, MD.*
- Hopster, K. (2018) Anaesthesia-related equine fatalities: How good are we? *Equine Veterinary Journal*, 0, 1–2
- Johnston, G.M., Eastment, J.K., Wood, J. and Taylor, P.M. (2002) The confidential enquiry into perioperative equine fatalities (CEPEF): mortality results of phases 1 and 2. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 29, 159-170.
- Kent, A.V., Chesworth, M.J., Wells, G., Gerdes, C., Bladon, B.M., Smith, R.K.W., Fiske-Jackson, A.R. (2020) Improved diagnostic criteria for digital flexor tendon sheath pathology using contrast tenography. *Equine Veterinary Journal*, 52, 205-212
- Kersjes (1985) THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM/ Muscles and Tendons. In: *Atlas of large animal surgery*. Ed: A.W. Kersjes, F. Nemeth and L.E. Rutgers, Baltimore/ London Williams&Wilkins, 108
- Koch, T., Berg, R. (1992) *Lehrbuch der Veterinäranatomie, Band I: Bewegungsapparat*, 5. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, 53-54
- König, H.E., Liebich, H. G. (2012) *Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Fünfte Auflage, Schattauer GmbH, Stuttgart, 29-32, 170-173, 202-207
- Lacitignola, L., De Luca, P., Guarracino, A., Crovace, A. (2015) Computed Tomographic Tenography of Normal Equine Digital Flexor Tendon Sheath: An Ex Vivo Study. *Veterinary Medicine International*, 1–5.

- Murray, R.C., Branch, M.V., Tranquille, C. and Woods, S. (2005) Validation of magnetic resonance imaging for measurement of equine articular cartilage and subchondral bone thickness. *American Journal of Veterinary Research* 66, 1999-2005
- McCoy, A.M., Goodrich, L.R. (2012) Use of a radiofrequency probe for tenoscopic-guided annular ligament desmotomy. *Equine Veterinary Journal*, 44, 412-415
- McGhee, J.D., White, N.A., Goodrich, L.R. (2005) Primary desmitis of the palmar and plantar annular ligaments in horses: 25 cases (1990-2003). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226, 83-86
- McIlWraith, C.W., Nixon, A.J., Wright, I.M. (2015) *Diagnostic and surgical arthroscopy in the horse*. 4te Auflage, Elsevier-Verlag, China, 356ff.
- Neumeier, W., Waibl, H., Meyer, W. (2004) Topographie und Struktur des Vinculum tendinis in der Fesselbeugesehnscheide des Pferdes. *Pferdeheilkunde*, 20, 37-41
- Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. (2004) *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I Bewegungsapparat* 8. Unveränderte Auflage, Parey Verlag, Stuttgart, 256, 282, 414
- Nixon, A.J. (1990a) Annular ligament constriction. *Current practice of equine surgery*. White NA, Moore J.N. (editor) Philadelphia, Lippincott, 435-441
- Nixon, A.J. (1990b) Endoscopy of the digital flexor tendon sheath in horses. *Veterinary Surgery*, 19, 266-271
- Nixon, A.J., Sacus, A.E. and Ducharme, N.G. (1993) Endoscopically assisted annular ligament release in horses. *Veterinary Surgery*, 22, 501-507
- Nixon, A.J. (2002) Arthroscopic surgery of the carpal and digital sheaths. *Clinical techniques. Equine practice*, 1, 245-256
- Nomina Anatomica Veterinaria (2017): 6<sup>th</sup> ed., Int. Committee Vet. Anat. Nomenclature, Editorial Committee Hanover (Germany), Ghent (Belgium), Columbia, MO (U.S.A.), Rio de Janeiro (Brazil).
- Norrie, R.D. (1977) Constriction of the palmar(volar) or plantar annular ligament of the fetlock in the horse. *American Association of Equine Practitioners*, 23, 217
- Orth, S., Staszyc C., Rijkenhuizen, A.B.M. (2022) The mesotendineum of the superficial digital flexor tendon (SDFT). *Equine Veterinary Education*, 00, 1-10

- Owen, K.R., Dyson, S.J., Parkin, T.D.H., Singer, E.R., Kristoffersen, M., Mair, T.S. (2008) Retrospective study of palmar/plantar annular ligament injury in 71 horses: 2001-2006. *Equine Veterinary Journal*, 40 (3), 237-244
- Owen, K.R., Hinnigan, G.J., Singer, E.R. (2012) Rupture of the Vinculum in Association with Tendon Injury within the Digital Flexor Tendon Sheath in Two Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 32, 851-857
- Ruprecht, M. (1993) Zur Striktur des Fesselringbandes/durch das Fesselringband beim Pferd: Untersuchung der Gefäßversorgung und katamnestische Erhebung. Dissertation Veterinärmedizinische Universität Wien
- Schramme, M.C., Smith, R.K. (2010) The soft tissues: Diseases of the digital flexor tendon sheath, palmar annular ligament, and digital annular ligaments. In: Dyson, S.J., Ross, M.W. (editors). *Diagnosis and Management of lameness in the horse*. Second edition, Elsevier Saunders, St. Louis, 764ff.
- Smith, R.W., Webbon, P.M. (1999) Palmar annular ligament syndrome. In: *Equine Medicine and Surgery*. 5<sup>th</sup> Edition, Mosby, St. Louis, 1577-1578
- Smith, M.R.W. and Wright, I.M. (2006) Noninfected tenosynovitis of the digital flexor tendon sheath: a retrospective analysis of 76 cases. *Equine Veterinary Journal*, 38 (2), 134- 141
- Stanek, C., Edinger, H. (1990) Röntgendiagnostik bei der Striktur des Fesselringbandes bzw. Durch das Fesselringband beim Pferd. *Pferdeheilkunde*, 6, 125-128
- Stashak, T. S. (1989): *Adam`s Lahmheit bei Pferden*. 3. Aufl. bearbeitet von Wissdorf, H., Verlag M.&H. Schaper, Alfeld-Hannover, 475 - 479
- Thünker, S., Oosterlinck, M., Vanderperren, K. Martens, A. (2019) Long-term results of lesions in the digital flexor tendon sheath: a retrospective study of fifty horses. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*
- Vallance, S.A., Bell, R.J.W., Spiret, M., Kass, P.H., Puchalski, S.M. (2012) Comparisons of computed tomography, contrast enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. *Anatomic visualisation scores*, 44, 51-56
- Van den Berg, M.J., Rijkenhuizen, A.B.M., Nemeth, F. and Gruys, E. (1995) The fetlock tunnel syndrome: A macroscopic and microscopic study. *Veterinary Quarterly* 17(4), 138- 142

- Vanderpeeren, K., Saunders, J.H. (2009) Diagnostic imaging of the equine fetlock region using radiography and ultrasonography. Part 1: Soft tissues. *The Veterinary Journal*, 181, 111-122
- Vanderpeeren, K., Bergmann, H.J., Spoormakers, T.J.P., Pille, F., Duchateau, L., Puchalski, S.M., Saunders, J.H. (2014) Clinical, radiographic, ultrasonographic and computed tomographic features of nonseptic osteitis of the axial border of the proximal sesamoid bones. *Equine Veterinary Journal*, 46, 463-467
- Van Veggel, E.C.S., Selberg, K., van der Velde-Hoogelander, B., Vanderpeeren, K. Cokelaere, S.M., Bergmann, H. (2021) Deep digital flexor tendon injury at the level of the proximal phalanx in frontlimbs with tendon sheath distension characterized by standing low-field magnetic resonance imaging in horses: 13 cases (2015-2021). *Frontiers in Veterinary science* Volume
- Verschooten, F., Picavet, T-M. (1986) Desmitis of the fetlock annular ligament in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 18 (2), 138-142
- Wilderjans, H., Boussaw, B., Madder, K. and Simon, O. (2003) Tenosynovitis of the digital flexor tendon sheath and annular ligament constriction syndrome caused by longitudinal tears in the deep digital flexor tendon: a clinical and surgical report of 17 cases in Warmblood horses. *Equine Veterinary Journal*, 35, 270- 275
- Wissdorf, H., Gerhards H., Huskamp B., Deegen B. (2010) *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. Dritte Auflage, Verlag M.&H. Schaper, Alfeld-Hannover, 422-430
- Wright, I.M., McMahon, P.J. (1999) Tenosynovitis associated with longitudinal tears of the digital flexor tendons in horses: A report of 20 cases. *Equine Veterinary Journal*, 31, 12-18

## **9. Eigene Publikationen**

Die in der Promotionsschrift dargestellten Daten wurden bereits vorab publiziert.

Orth, S., Staszuk, C. und Rijkenhuizen, A.B.M. (2022) The mesotendineum of the superficial digital flexor tendon (SDFT). *Equine Veterinary Education*, 00, 1-10. Available from:  
<https://doi.org/10.1111/eve.13680>

## **10. Erklärung**

Ich erkläre: Ich habe die vorliegende Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Saskia Maria Orth

## **11. Danksagungen**

Mein größter Dank gilt Prof. Astrid Rijkenhuizen und Prof. Dr. Carsten Staszuk für das Zustandekommen dieser Arbeit, das Lehren des wissenschaftlichen Arbeitens, die stetige Unterstützung sowie die unermüdlichen Korrekturvorschläge. Trotz der räumlichen Entfernung habe ich mich stets gut betreut gefühlt.

Astrid, Dir möchte ich noch besonders für deine stetige Motivation und Hilfe danken, die weit über das Nötige hinausging.

Des Weiteren danke ich der Pferdeklinik Leichlingen für die Möglichkeit der Entstehung dieser Arbeit neben dem Praxisalltag und möchte mich an dieser Stelle außerdem für meine praktische Ausbildung bedanken.

Ein letzter Dank gilt Freunden und Familie. Vielen Dank an Lotte, Michi, Elena und Lukas für die Unterstützung und Korrekturen. Vielen Dank an Alex für die große mentale Unterstützung! Und natürlich ein besonderer Dank meinen Eltern, die mir sowieso in jeglicher Lebenssituation beistehen und im Rahmen der Arbeit besonders mitgefiebert haben.