

Die radiomorphologischen Variationen der Insertionsstelle des Ligamentum nuchae beim  
heranwachsenden Pferd

von Bernadette Rohwerder

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

Die radiomorphologischen Variationen der Insertionsstelle des Ligamentum nuchae beim  
heranwachsenden Pferd

Von Bernadette Rohwerder

Aus Münster

München 2020



Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes sowie gerichtliche Tiermedizin

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. H. Gerhards

Angefertigt in: Tierärztlichen Praxis Dr. med. vet. Michael Nowak

Mentor: Dr. med. vet. Michael Nowak



Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. H. Gerhards

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

Tag der Promotion: 25.07.2020



Widmung: Dr. Karl-Josef Boening



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>II. LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>3</b>
<b>1. ANATOMISCHE GRUNDLAGEN DES GENICKS BEIM PFERD</b>	<b>3</b>
1.1. KNÖCHERNE STRUKTUREN DES GENICKS	3
1.1.1. Entwicklung der knöchernen Anteile des Genicks	3
1.1.2. Die Nackenfläche	4
1.1.3. Atlas und Axis	5
1.2. KOPFGELLENKE	6
1.3. BÄNDER DES GENICKS	7
1.3.1. Kurze und lange Bänder des Genicks	7
1.3.2. Nackenband (Lig. nuchae)	8
1.3.3. Histologie der Insertion des Funiculus nuchae	10
1.4. SCHLEIMBEUTEL IM BEREICH DES GENICKS	12
1.5. MUSKULATUR DES GENICKBEREICHES	12
1.6. BIOMECHANIK DES NACKENBANDES	14
1.6.1. Statik	14
1.6.2. Biomechanische Funktion des Lig. nuchae	15
1.6.3. Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf das Lig. nuchae	16
<b>2. PATHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN DER SQUAMA OCCIPITALIS</b>	<b>18</b>
2.1. FRAKTUREN DES OS OCCIPITALE	18
2.2. INSERTIONSDESMOPATHIE	19
2.2.1. Vorkommen und Lokalisation	21
2.2.2. Krankheitsbild	24
2.3. DIAGNOSTIK	25
2.3.1. Bildgebende Diagnostik	25
2.3.2. Infiltrationsanästhesie	29
<b>3. MODERNE REITWEISE</b>	<b>29</b>

<b>III. MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>35</b>
<b>1. PATIENTENMATERIAL</b>	<b>35</b>
1.1. GRUPPEN	35
1.1.1. Gruppe 1	35
1.1.2. Gruppe 2	35
1.1.3. Gruppe 3	36
1.1.4. Gruppe 4	36
<b>2. METHODEN</b>	<b>36</b>
2.1. ANFERTIGUNG VON RÖNTGENAUFNAHMEN	36
2.2. RÖNTGENUNTERSUCHUNG	37
2.3. MESSMETHODIK UND GRADUIERUNG DER ERHOBENEN BEFUNDE	39
2.4. LAGEBESTIMMUNG DER KNÖCHERNEN REAKTIONEN	39
2.5. MESSMETHODIK	40
2.5.1. Lokalisation 1a und 1 b	40
2.5.2. Graduierung der Exostosen auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa	41
2.5.3. Vermessung der knöchernen Reaktionen für die Lokalisationen 2 und 3	45
2.5.4. Test zur Überprüfung der Messgenauigkeit	46
<b>3. STATISTIK</b>	<b>46</b>
<b>IV. ERGEBNISSE</b>	<b>49</b>
<b>1. PROBANDEN</b>	<b>49</b>
<b>2. BEFUNDE</b>	<b>50</b>
2.1. VORKOMMEN KNÖCHERNER VERÄNDERUNGEN	50
2.1.1. Einfluss des Geschlechts	52
2.1.2. Einfluss der sportlichen Nutzung	53
2.2. LOKALISATIONEN UND GRADUIERUNG DER BEFUNDE	54
2.2.1. Radiologische Veränderungen an Lokalisation 1a und 1b	54
2.2.2. Graduierung der Befunde an Lokalisation 1a und 1b	57
2.2.2.1. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 1	59
2.2.2.2. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 2	60
2.2.2.3. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 3	61
2.2.2.4. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 4	62

---

2.2.3.	Radiologische Veränderungen an Lokalisation 2	63
2.2.4.	Radiologische Veränderungen an Lokalisation 3	67
2.2.5.	Besondere Auffälligkeiten bei der Befundung	72
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>75</b>
<b>1.</b>	<b>AUSWERTUNGSKRITERIEN</b>	<b>75</b>
1.1.	PROBANDEN	75
1.2.	AUFNAHMETECHNIK UND METHODE	76
<b>2.</b>	<b>RADIOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN IM GENICKBEREICH</b>	<b>78</b>
2.1.	VORKOMMEN RADIOLOGISCHER VERDICHTUNGEN	78
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>89</b>
<b>VII.</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>93</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>97</b>
<b>IX.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>103</b>
<b>X.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>105</b>
<b>XI.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>107</b>
<b>1.</b>	<b>PFERDEDATEN</b>	<b>107</b>
<b>2.</b>	<b>BEFUNDE</b>	<b>115</b>
<b>XII.</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>123</b>



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

HNP	Head and Neck position
kv	Kilovolt
Lig.	Ligamentum
mAs	Milliampere-Sekunden-Produkt
M.	Musculus
Mm.	Musculi
n	Anzahl
Rölf	Röntgenleitfaden
s	Standardabweichung



## I. EINLEITUNG

Die ständig steigenden Ansprüche an die Leistungsbereitschaft des Pferdes setzen ein hohes Maß an Gesundheit und Rittigkeit voraus. Im Rahmen von Kauf- und Rittigkeitsuntersuchungen werden Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule und insbesondere des Genickbereiches immer häufiger angefertigt. Gerade beim jungen Pferd wird bei einer im Rahmen einer Kaufuntersuchung angefertigten Röntgenaufnahme des Genicks eine Aussage über spätere reiterliche Nutzbarkeit gewünscht.

Die moderne Röntgentechnik macht es heute einfach, qualitativ sehr hochwertige Röntgenaufnahmen am stehenden Pferd anzufertigen. Jedoch birgt die Auswertung der Aufnahme Schwierigkeiten, besonders bei klinisch unauffälligen Pferden, die im Rahmen einer Kaufuntersuchung mit erweitertem Standard einer Röntgenuntersuchung des Genicks unterzogen werden sollen. Ein Grund dafür ist, dass die aktuelle Fassung des Röntgenleitfadens (Rölf) keine Befundbeschreibung für den Genickbereich beinhaltet. Des Weiteren liegen kaum wissenschaftliche Beschreibungen über einen „Normalbefund“ in der Röntgendarstellung dieses Bereiches des Hinterhauptsbeines und über die klinische Signifikanz dieser Befunde vor. Zudem wurde bislang kein wissenschaftlich bestätigter und ursächlicher Zusammenhang zwischen knöchernen Reaktionen im Genickbereich und der reiterlichen Nutzung als Ursache beschrieben.

Das Ziel dieser Arbeit ist zum einen die Prävalenz von knöchernen Reaktionen im Genickbereich zu ermitteln. Zum anderen soll ein Verteilungsmuster der verschiedenen Ausprägungsgrade und Lokalisationen dieser Reaktionen bei heranwachsenden und teils nicht gerittenen Pferden mittels röntgenologischer Untersuchung bestimmt werden. Die Ergebnisse dieser Studie sollen helfen, einer präziseren Beschreibung eines „Normalbefundes“ des Hinterhauptsbeins näher zu kommen. Außerdem soll das Verständnis über den Einfluss der reiterlichen Nutzung auf die Entstehung und den Ausprägungsgrad der genannten Veränderungen erweitert werden.



## II. LITERATURÜBERSICHT

### 1. Anatomische Grundlagen des Genicks beim Pferd

Nach Nowak et. al. (1995) bilden die caudalen Anteile des Hinterhauptsbeins, die sogenannte Nackenfläche (Planum nuchale) sowie der erste und zweite Halswirbel die knöcherne Grundlage des Genicks. Die hier entlang ziehenden und ansetzenden Muskeln, namentlich die Bewegter des Kopfes (Mm. recti-, obliqui-, longus capitis) und der Halswirbelsäule (Mm. splenius-, longissimus-, semispinalis capitis) werden zusammen mit den Longitudinalbändern, den Halsfaszien und dem Nackenband dem Genickbereich zugerechnet.

#### 1.1. Knöcherne Strukturen des Genicks

##### 1.1.1. Entwicklung der knöchernen Anteile des Genicks

Die knöcherne Grundlage des Schädels besteht aus dem Neurokranium (Hirnschädel) und dem Splanchnokranium (Gesichtsschädel), welche sich nach SCHNORR & KRESSIN (2011) je nach Anteil wie folgt entwickeln:

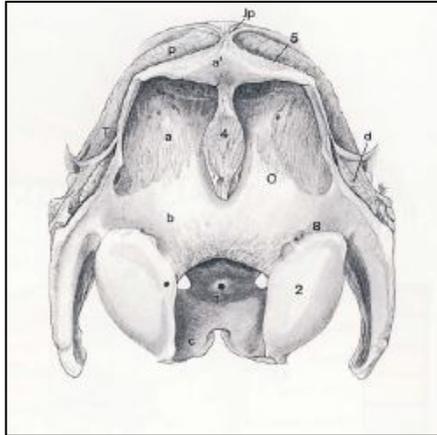
- Direkte desmale Ossifikation; aus Mesenchymzellen entwickeln sich direkt Osteoblasten
- Indirekte chondrale Ossifikation; aus Mesenchymzellen entstehen zuerst Knorpelmodelle, welche anschließend durch enchondrale Ossifikation verknöchern

Durch eine ausschließlich enchondrale Entwicklung bilden sich im Bereich des Hirnschädels das Keilbein und das Siebbein, im Bereich des Gesichtsschädels das Zungenbein, Amboss und Steigbügel, sowie die Muschelbeine. Eine Entwicklung durch desmale Ossifikation liegt im Bereich des Neurokraniums am Zwischenscheitelbein, Scheitelbein, Stirnbein und im Bereich des Viscerokraniums am Nasenbein, Tränenbein, Jochbein, Oberkieferbein, Zwischenkieferbein, Gaumenbein, Pflugcharbein, Flügelbein und Unterkiefer vor. Besonderheiten stellen am Hirnschädel das Hinterhauptsbein und das Schläfenbein und am Gesichtsschädel der Hammer dar, welche als Mischknochen angesehen werden (Schnorr & Kressin 2011).

### 1.1.2. Die Nackenfläche

Die knöcherne Grundlage des Planum nuchale wird allein durch das Hinterhauptsbein (*Os occipitale*) gebildet (Wissdorf & Otto 2010). Die Lamina externa der sogenannten Hinterhauptschuppe (*Squama occipitalis*) und die Seitenteile (*Partes laterales*) des *Os occipitale* formen die nach rostral konvexe Nackenfläche (Nickel et al. 2004; Wissdorf & Otto 2010). Nach dorsal wird das Planum nuchale durch die scharfe *Crista nuchae* begrenzt. Die Seitenteile des *Os occipitale* begrenzen das Hinterhauptsloch (*Foramen magnum*) mit ihren Gelenkknorren (*Condyli occipitales*), welche mit ihren cranialen Gelenkgruben des Atlas das Atlanto-Okzipitalgelenk bilden. Lateral der Gelenkknorren ragen aus der Nackenfläche jeweils die beiden langen Muskelfortsätze (*Processus paracondylares*) hervor, die in Richtung Unterkiefer verlaufen (Wissdorf & Otto 2010).

Von der *Squama occipitalis* entspringt die sogenannte *Protuberantia occipitalis externa* (Hinterhauptsstachel), welche als eine von Gruben und Rauigkeiten umgebene knöcherne Erhebung beschrieben wird und die knöcherne Basis der occipitalen Verankerung des Nackenbandes (*Funiculus nuchae*) bildet (Nickel et al. 2003a). Die *Protuberantia occipitalis externa* liegt nach BUDRAS & RÖCK (1994) median auf halber Länge einer Verbindung zwischen *Crista nuchae* und *Foramen magnum*. Das nach NICKEL et al. (2003a) stachelförmige Erscheinungsbild der *Protuberantia occipitalis externa* wird durch entsprechende Abbildungen verdeutlicht und die *Protuberantia occipitalis externa* als nach caudal gerichtete spornartige Verlängerung der *Crista occipitalis externa* bzw. der *Crista sagittalis externa* dargestellt (Abb. 1) (Weiler 2001). In einem Vergleich verschiedener Definitionen und sowie zeichnerischer und fotografischer Darstellungen dieses Bereiches wird der Insertionsbereich des *Funiculus nuchae* zum einen als ovale rhomboide leicht aufgeraute Fläche zum anderen als von Rauigkeiten umgebener Sporn beschrieben, wobei sich die Ausdehnung des Ansatzbereiches teils erheblich unterscheidet (Weiler 2001).



**Abbildung 1:** Nackenwand des Schädels; JP Os interparietale, P Os parietale, T Os temporale, a Squama occipitalis, b Pars lateralis, d Pars petrosa des Os temporale, 1 Foramen magnum, 2 Condylus occipitalis, 4 Protuberantia occipitalis externa, Crista nuchae (aus Nickel et al. 2003a)

### 1.1.3. Atlas und Axis

Der Aufbau eines Wirbels weist in Grundzügen immer dasselbe Muster auf. Jeder Wirbel besteht aus einem Wirbelkörper (Corpus vertebrae), Wirbelbogen (Arcus vertebrae) und Wirbelfortsatz (Processus vertebrae) (König & Liebich 2005). Der Wirbelkörper bildet den ventralen Grundbestandteil eines jeden Wirbels. Dieser ist durch eine craniale konvexe Endfläche (Caput vertebrae) und eine caudale konkave Endfläche (Fossa vertebrae) gekennzeichnet. Dorsal wird der Wirbelkörper durch den Wirbelbogen überspannt und begrenzt das Wirbelloch (Foramen vertebrale). Die einzelnen aufgereihten Foramina vertebralia bilden in ihrer Gesamtheit den Wirbelkanal (Canalis vertebralis), welcher das Halsmark aufnimmt. Cranial und caudal weist jeder Wirbelbogen je einen Einschnitt die sogenannte Incisura vertebralis cranialis respektive caudalis auf. Diese Formen mit dem Einschnitt des jeweils benachbarten Wirbels das Zwischenwirbelloch (Foramen intervertebrale), durch welches die Segmentalnerven des Halsmarks austreten. Außerdem besitzt jeder Wirbel sogenannte Wirbelfortsätze (Processus vertebrae), welche zur Anheftung von Muskeln und Bändern sowie der gelenkigen Verbindung der benachbarten Wirbelkörper dienen. Man unterscheidet im Bereich der Halswirbelsäule einen dorsalen Dornfortsatz (Processus spinosus), zwei Querfortsätze (Processus transversi) und vier Gelenkfortsätze

(Processus articulares craniales et caudales) (König & Liebich 2005).

Die ersten beiden Halswirbel dienen der Kopfbewegung und unterscheiden sich dementsprechend in der Form von den übrigen Halswirbeln (Nickel et al. 2003a). Dem ersten Halswirbel, auch als Atlas oder Kopfträger bezeichnet, fehlt ein eigenständiger Wirbelkörper, so dass allein ein knöcherner Ring entwickelt ist (König & Liebich 2005). An seinem dorsalen Seitenteil (Massa lateralis) entspringt beidseits ein prominenter Querfortsatz der sogenannte Atlasflügel (Ala atlantis), dessen freier Rand beim Pferd immer tastbar ist (Nickel et al. 2003a; Wissdorf & Otto 2010). Dieser wird an seiner Basis vom Flügelloch (Foramen alare) durchbohrt, welchem benachbart das seitliche Wirbelloch (Foramen vertebrale laterale) anliegt (König & Liebich 2005). An der Innenfläche stülpt sich in der Medianen zur Artikulation mit dem Zahn (Dens) des zweiten Halswirbels die Fovea articularis caudalis mit der Fovea dentis ein (Nickel et al. 2003a). Der zweite Halswirbel, auch Axis oder Dreher genannt, entlässt von seinem Wirbelbogen einen sehr prominenten kammförmigen Fortsatz (Processus spinosus), welcher nach caudal gespalten ist und beidseits in die caudalen Gelenkfortsätze (Procc. articulares caudales) ausläuft (König & Liebich 2005; Nickel et al. 2003a). Das craniale Ende des Axis ist durch den Zahn (Dens axis) gekennzeichnet, welcher ein eigenes Ossifikationszentrum besitzt und erst mit 7-9 Monaten mit dem Wirbelkörper verschmilzt (König & Liebich 2005; Wissdorf & Otto 2010). Mit seinem schaufelförmigen Aussehen ist der Dens axis der Fovea dentis des Atlas angepasst. Die Incisura vertebralis lateralis ist beim Pferd durch einen Knochensteg zwischen Proc. spinosus und Wirbelkörper zu einem Foramen vertebrale laterale modifiziert, welches zum Austritt der Spinalnerven dient (Nickel et al. 2003a).

## 1.2. Kopfgelenke

Die Verbindung der Wirbelsäule mit dem Schädel wird durch die Articulatio atlanto-occipitalis (erstes Kopfgelenk) und die Articulatio atlanto-axialis (zweites Kopfgelenk) hergestellt. Sie dienen der Bewegung des Kopfes (König & Liebich 2005). Das erste Kopfgelenk ist ein zweiteiliges Ellipsoidgelenk, in welches der jeweilige Condylus occipitalis des Os occipitale mit der jeweiligen Fovea articularis cranialis des Atlas artikuliert und von einer eigenständigen Gelenkscapsel umgeben wird. Mit fortschreitendem Alter kommunizieren die beiden Gelenkhöhlen im ventralen Bereich. Die Seitenbänder (Ligg. lateralia) ziehen beidseits von

der medialen Fläche des Processus paracondylaris des Os occipitale zu der Basis der Atlasflügel und überbrücken den Gelenkspalt (König & Liebich 2005). Eine flächenhafte, bindegewebige Verstärkung der Gelenkscapsel wird durch die Membrana atlanto-occipitalis ventralis respektive dorsalis gebildet. Diese verschließen den erweiterten Gelenkspalt (Spatium atlantooccipitale) (König & Liebich 2005.; Nickel et al. 2003a). Die Bewegung des ersten Kopfgelenkes beschränkt sich fast ausschließlich auf Streckung und Beugung. Das zweite Kopfgelenk zeichnet sich durch eine gelenkige Verbindung zwischen dem Dens axis und der Fovea dentis des Atlas sowie seitlich gelegen der Facies articulares craniales des Axis mit den Foveae articulares caudales aus (König & Liebich 2005). Diese drei ineinander übergehenden Gelenksflächen werden von einer einheitlichen Gelenkscapsel umgeben (König & Liebich 2005; Nickel et al. 2003a). Als sogenanntes Zapfgelenk lässt das zweite Kopfgelenk fast ausschließlich Drehbewegungen des Kopfes zu. Auch in diesem Gelenk existiert eine Gelenkscapselverstärkung im dorsalen Bereich, die Membrana atlantoaxialis dorsalis. Zusätzlich sind vom Dens axis ausgehend zum inneren Grund des Atlas ziehend die sogenannten Ligamenta alaria entwickelt und zur ventralen Verstärkung des Gelenkes das Lig. axiale ventrale, welches zwischen Tuberculum ventrale des Atlas und der Crista ventralis des Axis verkehrt (Nickel et al. 2003a). Eine ebenfalls stabilisierende Wirkung besitzt das zwischen Dens axis und Os occipitale verlaufende Lig. longitudinale dentis (König & Liebich 2005).

### 1.3. Bänder des Genicks

#### 1.3.1. Kurze und lange Bänder des Genicks

An der Stabilisierung der Wirbel untereinander ist der Bandapparat maßgeblich beteiligt. Hierbei unterscheidet man zwischen kurzen Bändern, welche zwei benachbarte Wirbel miteinander verbinden und lange Bänder, welche über längere Wegstrecken die Wirbelsäule zur funktionellen Einheit werden lassen (Wissdorf & Otto 2010). Zu den kurzen Bändern im Bereich des Genicks gehören folgende Strukturen:

- *Lig. longitudinale dentis*: von der Dorsalfläche des Dens axis zieht es flächig verbreitert an die Pars basilaris des Os occipitale.
- *Ligamenta alaria*: das Lig. alare dextrum respektive sinistrum zieht zwischen Dens axis und der gleichseitigen Innenfläche des Arcus ventralis atlantis entlang.

- *Ligamenta flava*: verschließen als elastische Platten die Spatia interarcualia zwischen den Wirbelbögen, zu ihnen wird auch die Membrana atlantooccipitalis dorsalis gerechnet.

Im Bereich des Genicks hat das folgende lange Band seinen Ursprung:

- *Lig. longitudinale dorsale*: im Wirbelkanal am Dens axis beginnend auf der Dorsalfläche der Wirbelkörper liegend heftet es sich den Bandleisten und Zwischenwirbelscheiben an.

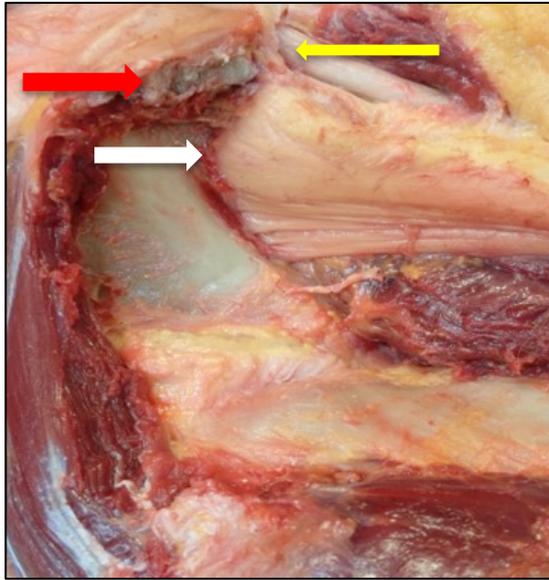
### 1.3.2. Nackenband (Lig. nuchae)

Das Nackenband (Lig. nuchae) wird folgendermaßen beschrieben (König & Liebich 2005; Nickel et al. 2003a; Wissdorf & Otto 2010):

Das Nackenband besteht aus zwei jeweils vollständig paarig ausgebildeten Anteilen:

- Nackenstrang (Funiculus nuchae oder pars occipitalis)
- Nackenplatte (Lamina nuchae oder pars cervicalis)

Der Nackenstrang entspringt beidseits als runder Strang an der Protuberantia occipitalis externa des Os occipitale und der ventral davon gelegenen Grube (Abb. 2). Aus funktionellen Gesichtspunkten wird die occipitale Verankerung des Funiculus nuchae als Insertion und somit als beweglich (Punctum mobile) bezeichnet. Aus anatomischer Sicht hingegen wird die Verankerung als Ursprung (Origo) und somit als unbewegliche (Punctum fixum) angesehen (Berg 1992). In einer Untersuchung von WEILER (2001) wurde gezeigt, dass zusätzlich zu der Befestigung des Hauptstranges an der Protuberantia occipitalis externa ein laminärer Anteil wenige Zentimeter vor dem Hinterhauptsbein entlassen wird und an die Crista nuchae zieht.

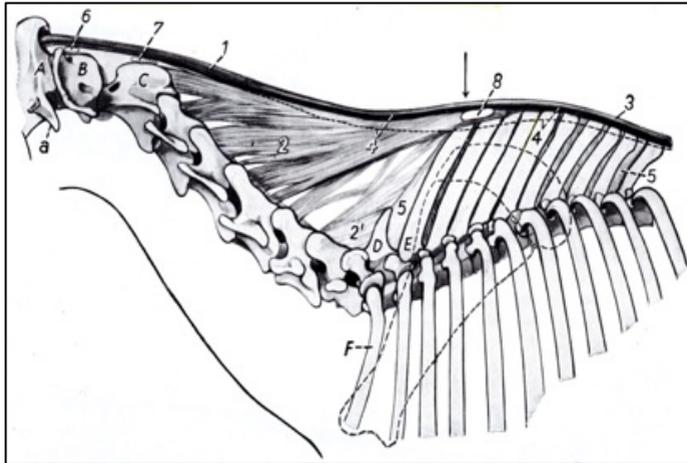


**Abbildung 2:** *Funiculus nuchae im Bereich der occipitalen Verankerung (weißer Pfeil) mit seiner nach dorsal fächerartig aufgespannten Lamina elastica (gelber Pfeil) und die Endsehne des M. semispinalis capitis mit seiner occipitalen Verankerung (roter Pfeil)*

Der paarig angelegte Strang besteht nach caudal verlaufend aus zwei rein elastischen, ovalen Faserbündeln, welche median durch Bindegewebe verbunden sind (Weiler 2001). Vom Os occipitale nimmt der zuerst abgeflachte und kräftige Faserstrang im weiteren Verlauf eine runde Form an und überquert die ersten beiden Halswirbel ohne Verbindung mit ihnen aufzunehmen. Auf Höhe des dritten Halswirbels vereinigt sich der Nackenstrang mit der Nackenplatte. Ab dem vierten Halswirbel verbreitert sich das Nackenband nach caudal verlaufend, um ab dem dritten und vierten Brustwirbel an den Dornfortsätzen anzuheften (Wissdorf & Otto 2010). Die so geformte Widerristkappe verbindet sich mit der Nackenplatte und geht so in das Rückenband (Lig. supraspinale) über.

Die Nackenplatte besteht aus zwei Teilen, einem paarigen cranialen Teil und einem unpaaren caudalen Teil (Wissdorf & Otto 2010). Der paarige craniale Teil entspringt beidseits am Processus spinosus bzw. am Tuberculum dorsale des zweiten bis vierten Halswirbels und verläuft konvergierend nach caudodorsal. Der caudale Teil entspringt an den Dornfortsätzen des fünften bis siebten Halswirbels und verläuft ebenfalls nach caudodorsal bis zum

Dornfortsatz des ersten Brustwirbels. Auf Höhe der Dornfortsätze des zweiten bis sechsten Brustwirbels geht der Hauptteil der Nackenplatte in die Widerristkappe über und setzt sich gemeinsam mit dem Nackenstrang im Rückenband fort (Abb. 3) (Wissdorf & Otto 2010).



**Abbildung 3:** *Lig. nuchae (1) und Lig. supraspinale (3) am knöchernen Präparat dargestellt (aus Nickel, Schummer, 2004)*

### 1.3.3. Histologie der Insertion des Funiculus nuchae

Etwa 10-15 cm vor dem Ansatz des Funiculus nuchae an der Protuberantia occipitalis externa weist der paarige Strang im Schnittbild eine Kleeblatt ähnliche (oder: kleeblattähnliche) Gestalt auf (Abb. 4) (Weiler 2001). Makroskopisch weist das elastische Gewebe eine charakteristische gelbliche Färbung auf. In der Medianen sind die beiden Stränge durch grüliches Bindegewebe miteinander verbunden (Weiler 2001).



**Abbildung 4:** Querschnitt des Funiculus nuchae einige cm hinter seinem Ansatz am Os occipitale mit seiner typischen kleeblattartigen Form (aus Weiler 2001)

Weiler (2001) beschreibt in seiner Darstellung der histologischen Untersuchungsbefunde, dass die elastischen Faserbündel des Funiculus nuchae bis kurz vor seinem knöchernen Ansatz einen parallelen Verlauf haben und mit lockerem Bindegewebe umfasst werden. Dieses Bindegewebe weist kollagenfaserige Anteile auf, welche mit dem Alter zunehmen. Etwa 0,5 cm hinter dem Ansatz hört der parallele Verlauf abrupt auf und die Faserbündel des Funiculus nuchae spleißen sich stark auf. Einige Fasern bilden durch Auffaserung eine netzförmige Verbindung untereinander. Durch eine Zunahme des Anteils an kollagenfaserigem Bindegewebe im Bereich des Ansatzes kommt es insgesamt zu einer deutlichen Querschnittszunahme. Es scheint, als würde der Anteil an kollagenen Fasern in diesem Bereich dominieren.

Weiter wird beschrieben, dass dieser Verlauf der elastischen Fasern auf das Knochengewebe unterschiedlich ist zu dem von Sehnen-, Gelenkscapsel- und Bandansätzen, bei welchen die Fasern direkt unverzweigt in den Knochen hineinstrahlen und dort fest verankert sind. In der Humanmedizin wird der reguläre Aufbau faserknorpeliger Sehnenansätze in vier Zonen aufgeteilt (Benjamin et al. 2006; Dj et al. 1997). Die tendinöse Zone ist verantwortlich für die Zugkraft, die nicht mineralisierte und die mineralisierte chondroide Zonen werden als sogenannte „Dehnungsbremse“ bezeichnet und schützen vor Scherkräften. Wohingegen die anschließende, knöcherne, Zone eine sehr geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber Zugkräften aufweist (Benjamin et al. 2006; Dj et al. 1997, Benjamin et al. 1997, Clark et al. 1998, Knese

& Biermann 1958, Tuite et al. 1997). Der Insertionsbereich der Protuberantia occipitalis externa weist ein anderes Erscheinungsbild auf (Weiler 2001). Der aufgeraute Knochen des Insertionsgebietes zeigt auch histologisch keine geschlossene Knochendecke, sondern ist von lakunenartigen Einbuchtungen unterbrochen. Diese sind von gut vaskularisiertem periostalem Bindegewebe ausgefüllt. Somit fehlt in diesem Bereich eine bedeckende mineralisierte chondroide Zone (Weiler 2001). Nur im Bereich der Leistenkämme zwischen den Lakunen findet sich eine der Sehneninsertion ähnliche Zonierung, an welche sich die Zone mit elastischen und kollagenen Fasern anschließt. Der Durchtritt von elastischen Fasern durch die mineralisierte und nicht-mineralisierte Schicht dient als Schutz vor Scherkräften, während die Zunahme an kollagenen Fasern im Ansatzbereich als Schutz vor Rupturen verstanden wird, da die Zugfestigkeit von Kollagenfasern deutlich höher ist, als die von elastischen Fasern (Benjamin u. a. 2006).

#### 1.4. Schleimbeutel im Bereich des Genicks

Zwischen dem Nackenstrang und den ersten beiden Halswirbeln werden im Laufe der Zeit durch mechanische Einwirkung zwei Genickschleimbeutel ausgebildet (König & Liebich 2005; Wissdorf & Otto 2010).

- *Bursa subligamentosa nuchalis cranialis*: Dieser Schleimbeutel liegt zwischen dem Tuberculum dorsale des Atlas und dem Funiculus nuchae.
- *Bursa subligamentosa nuchalis caudalis*: Dieser Schleimbeutel befindet sich zwischen dem Processus spinosus axis und dem Funiculus nuchae.

#### 1.5. Muskulatur des Genickbereiches

Im Bereich des Genicks verlaufen insbesondere die als „besondere Kopfbeweger“ bezeichneten Muskeln und verbinden die ersten beiden Halswirbel mit dem Occiput (Nickel et al. 2003a). Funktionell stellt diese Muskelgruppe eine Verlängerung der Halsmuskulatur nach cranial dar und dient der Feinabstimmung von Richtungsänderungen, insbesondere des Atlantooccipital- und Atlantoaxialgelenkes (König & Liebich 2005). Dies sind vor allem Nick- und Schüttelbewegungen, aber auch das Schrägstellen des Kopfes bis zum „Nach-hinten Wenden“ des Kopfes.

Die dorsalen Kopfbeweger des Genickbereiches spielen eine große Rolle. Zu Ihnen werden



Weiterhin liegen im Genickbereich noch folgende Muskeln der dorsalen Wirbelsäulenmuskulatur (König & Liebich 2005):

- **M.splenius**

Ursprung:	Dornfortsätze dritter bis fünfter Brustwirbel und Fascia thoracolumbalis
Ansatz:	Crista nuchae und Proc.mastoideus des Os temporale, Querfortsätze dritter bis fünfter Halswirbel
Funktion:	Strecken, Heben und Seitwärtswiegen von Kopf und Hals
  
- **M. semispinalis capitis**

Ursprung:	Querfortsätze erster bis siebter Brustwirbel und Gelenksfortsätze des fünften bis sechsten Halswirbel
Ansatz:	Squama occipitalis
Funktion:	Heben und Seitwärtsbiegen von Kopf und Hals

## 1.6. Biomechanik des Nackenbandes

### 1.6.1. Statik

Die Statik befasst sich mit der Erhaltung des Gleichgewichtes des gesamten Körpers sowohl in der Ruhe, als auch in der Bewegung (König & Kassianoff 2002). Sie beschreibt alle passiven und aktiven Einflüsse des Bewegungsapparates, die zur Erhaltung des Gleichgewichts des Pferdekörpers erforderlich sind. Er ist dann im Gleichgewicht, wenn sich die auf ihn einwirkenden Kräfte gegenseitig aufheben.

Weiter wird von KÖNIG & KASSIANOFF (2002) beschrieben, dass der Aufbau des Rumpfes mit einer Bogenbrücke, wie folgend beschrieben, verglichen werden kann. Der tragende Bogen

ist dabei die Brust- und Lendenwirbelsäule sowie das Becken, während Kopf- und Halswirbelsäule die vordere Konsole und Kreuzbein und Schwanzwirbel die hintere Konsole bilden. Der vordere Teil zeichnet sich durch seine extreme Beweglichkeit aus, wohingegen die caudalen Anteile von Kreuzbein und Schwanzwirbel als nahezu unbeweglicher Anbau befestigt sind. Das Gewicht von Kopf und Hals wird nahezu passiv durch das elastische Lig. nuchae gehalten. Drei sehnig verstärkte Muskeln unterstützen das Nackenband in seiner Position. Der M. longissimus cervicis und der M. spinalis thoracis et cervicis sind dabei in ihrer Funktion als Halsträger anzusprechen, während der M. semispinalis capitis als Kopfträger fungiert. Da das Nackenband an den Dornfortsätzen, die Kopf- und Halsträger an den Quer- und Gelenkfortsätzen befestigt sind, wölbt sich der Rücken bei langgestrecktem Hals und tiefem Kopf ohne Muskelkraft auf. Der hintere Anbau der Bogenbrücke ist nur mit dem letzten Lendenwirbel beweglich verbunden, während er am Becken nahezu unbeweglich befestigt ist.

Weiter wird beschrieben, dass die Lage des Körperschwerpunktes für statische und dynamische Aktionen von Bedeutung ist. Bei einem Pferd mit neutraler Kopf-Hals-Haltung liegt er dort, wo die Mediane von der Transversalachse geschnitten wird, welche durch die 12. Rippe verläuft (König und Kassianoff 2002). Wird dieser Punkt auf den Boden projiziert, wird deutlich, dass der Körperschwerpunkt näher an der Vorhand liegt. Daraus ergibt sich, dass ca. 54% des Körpergewichtes auf den Schultergliedmaßen und ca. 44% auf den Beckengliedmaßen liegen (König und Kassianoff 1998).

#### **1.6.2. Biomechanische Funktion des Lig. nuchae**

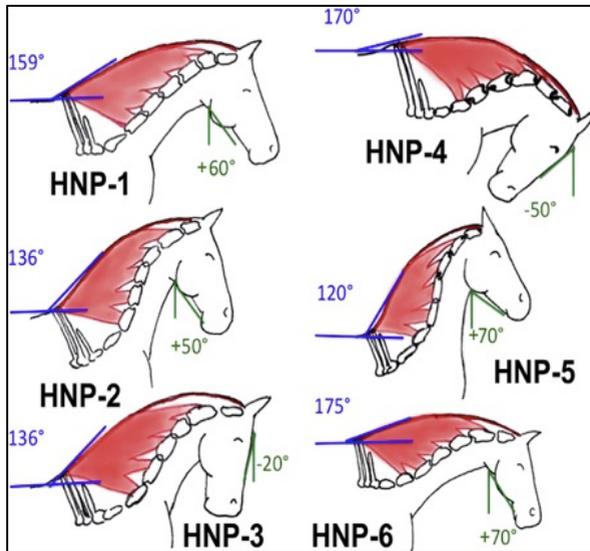
Das Lig. nuchae ist die bedeutendste elastische Struktur des Kopf-Hals-Bereiches beim Pferd, seine Hauptfunktion ist die passive Extension des Halses (Zsoldos & Licka 2015). Dadurch wird dem Lig. nuchae bei Halsbewegung im Stand der Ruhe und in aufrechter Position die Funktion der Stabilisierung des Kopf -und Hals-Bereiches zugesprochen (Gellman & Bertram 2002). Durch die besonderen elastischen Eigenschaften des Lig. nuchae kann diese Konstruktion des Kopf-Hals-Bereiches des Pferdes Energie während der Beugung und Streckung des Halses speichern und somit Muskelkraft einsparen, was in der Folge Effizienz und Körperstabilität in der Bewegung steigert (Gellman & Bertram 2002). Im Gegensatz zu den Verankerungen der kollagenhaltigen und wenig elastischen Sehnen-, Band- und Gelenkapselansätze besteht der Funiculus nuchae aus Bündeln dicker, scheinbar parallel

verlaufender, elastischer Fasern, die untereinander vernetzt sind, während die Fasern im lamellären Teil des Bandes aus vorwiegend kollagenhaltige Fasern zusammengesetzt sind (Weiler 2001). Diese Kombination von verschiedenen elastischen Fasern resultiert aus den besonderen mechanischen Eigenschaften des Bandes (Gellman & Bertram 2002).

In der Bewegung bilden Kopf und Hals mit Unterstützung des Nackenbandes einen wichtigen Balance-Mechanismus (Moore 2010). Einige Studien haben den Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die Balance und die Auswirkung auf den gesamten Körper sowohl in der Bewegung als auch im Stand der Ruhe untersucht. Dieser Balance-Mechanismus wird durch das sogenannte Spannungssystem, welches sich aus einem oberen Spannungsgurt (Lig. nuchae, Lig. supraspinale, M. longissimus dorsi) und einem unteren Spannungsgurt (Hals- und Bauchdeckenmuskulatur) zusammensetzt (Weishaupt et.al 2006). Dadurch werden Kopf, Hals, Rücken und Hinterbeine zu einer funktionellen Einheit verbunden. In dieser Einheit werden bei einer vorwärts-abwärts gerichteten Haltung (Stirnlinie vor der Senkrechten) das Lig. nuchae gespannt und der Rücken mit wenig Kraftaufwand aufgewölbt (Weishaupt et al. 2006). Dies wird unterstützt, indem durch gezielte Kontraktion der Bauchdeckenmuskulatur das Becken angehoben wird und das Pferd mit beiden Hinterbeinen unter den Schwerpunkt tritt. Hingegen geht eine extrem hohe Kopf-Hals-Haltung mit einer starken Extension der thorakolumbalen Wirbelsäule einher (Gomez et al. 2008), wobei diese Haltung einen größeren Einfluss auf die Lokomotion zu haben scheint, indem die Belastung auf die Vordergliedmaßen erhöht wird, als eine tiefe Kopf-Hals-Haltung (Weishaupt et al. 2006). Durch eine evolutionär und zuchtbedingte Längenzunahme des gesamten Halsbereiches scheint der Einfluss der Halsbewegung auf den gesamten Körper um einiges größer zu werden (Van Weeren et al. 2010).

### **1.6.3. Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf das Lig. nuchae**

Um die Belastungen und Eigenschaften des Nackenbandes bei unterschiedlichen Kopf-Hals-Haltungen zu beurteilen, wurden verschiedene biomechanische Untersuchungen durchgeführt, die sich auf ein standardisiertes Schema mit sechs verschiedenen sogenannten „head and neck positions“ (HNP) beziehen (Abb. 5) (Elgersma et al. 2010; Nestadt et. al. 2015; Weishaupt et al. 2006)



**Abbildung 5:** Modell der sechs verschiedenen HNP mit entsprechenden Gradeinteilungen (aus Nestadt et al. 2015)

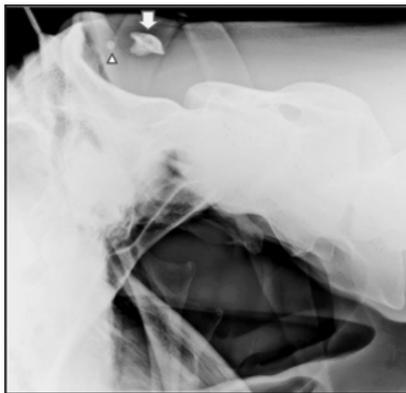
Der Zug auf das Nackenband ist abhängig von der Kopf-Hals-Haltung und ist von der Lokalisation (Occiput, C2, C3, C4, C5). Die größte Belastung auf das Lig. nuchae in fast allen Positionen ist auf Höhe C2, nur in der Hyperflexion in HNP4 wurde eine höhere Belastung am Ansatz am Os occipitale gemessen (Elgersma u. a. 2010). In einer Studie an fünf fötalen Kadavern wurde die Längenänderung des Lig. nuchae in verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen vermessen. Die Längenzunahme in verschiedenen Positionen ist nicht regelmäßig, sondern zeigt auch deutliche Unterschiede zwischen dem Funiculus nuchae und der Lamina nuchae (Nestadt et al. 2015). Die größten Unterschiede gibt es in HNP3 und HNP4, wobei in der Hyperflexion des Halses festgestellt wurde, dass die funktionelle Einheit zur gleichmäßigen Verteilung der Belastung gestört ist (Nestadt et al. 2015). An einigen Lokalisationen scheint es in diesen Positionen zu übermäßigen Dehnungskräften im Lig. nuchae zu kommen. Als die komfortabelste Position wird HNP6 angesehen, da durch die regelmäßige Dehnung der Kopf-Hals-Bereich mehr mechanische Unterstützung bekommt und somit Muskelkraft eingespart wird.

## 2. Pathologische Veränderungen der Squama occipitalis

### 2.1. Frakturen des Os occipitale

Nach BREHM et al. (2016) können 2 Formen von Frakturen im Bereich des Os occipitale unterschieden werden:

- Frakturen der pars basilaris des Os occipitale (Körper), welcher den hinteren Abschnitt des Hinterhauptes darstellt und meist letal verlaufen
- Offene oder geschlossene Avulsionsfrakturen und –fissuren im Bereich der Squama occipitalis, als Folge von Überschlägen mit Auftreffen auf dem Hinterhauptstein (Abb.6)



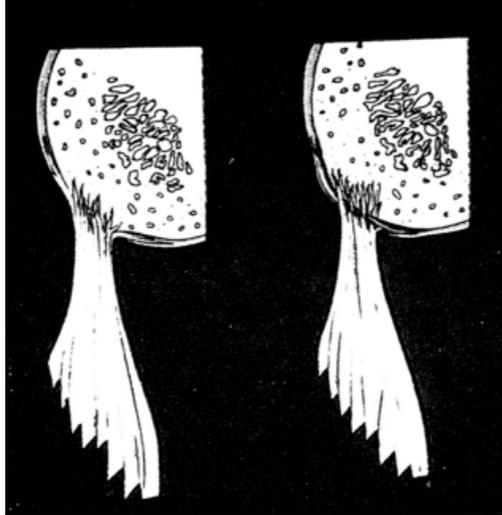
**Abbildung 6:** Seitliche Röntgenaufnahme der Genickregion mit zwei Avulsionsfragmenten caudal der Squama occipitalis (weiße Pfeile) (aus Voigt et al. 2009)

Als Ursache werden schwerwiegende Traumen durch Stürze oder Unfälle angegeben (Brehm et al. 2016). Klinisch zeigen betroffene Patienten unterschiedlich starke Schwellungen im Bereich des Genicks. Die Palpation dieser Region ist meist schmerzhaft. Kopf und Hals werden dabei auch häufig in einer gestreckten Position gehalten, in seltenen Fällen kommt es auch zu Tortikollis. Auch neurologische Ausfallerscheinungen werden berichtet (Feary et al. 2007; Swarbrick et al. 2016; Voigt et al. 2009). Bei Avulsionsfrakturen der Squama occipitalis mit Desmitis des Lig. nuchae zeigen betroffene Patienten häufig Kopfschütteln (Voigt et al. 2009).

Die Diagnosestellung erfolgt mit Hilfe des Vorberichtes, der klinischen Symptomatik und der bildgebenden Diagnostik. Dadurch, dass das Lig. nuchae durch Zug das Fragment nach caudal verlagert, lässt sich die Fraktur in der Regel gut in einer seitlichen Röntgenaufnahme des Genickbereiches darstellen. Zur Bestimmung der exakten Lage des Fragmentes sind Schrägaufnahmen oder eine ventrodorsale Aufnahme nötig. Zur Untersuchung der Weichteilstrukturen eignet sich die Ultraschalluntersuchung (Swarbrick et al. 2016). Allerdings ist die Untersuchung der Genickregion sehr schwierig und kann zusätzlich bei traumatischen Ereignissen auch durch zum Beispiel subkutane Blutungen erschwert sein (Dyson 2011; Swarbrick et al. 2016). Als Goldstandard zur Untersuchung der Genickregion mit seinen knöchernen Anteilen wird die computertomographische Untersuchung angegeben (Dyson 2011).

## **2.2. Insertionsdesmopathie**

Eine Störung der Funktion des Lig. nuchae kann durch eine krankhafte Veränderung, wie eine Überdehnung oder Quetschung im Bereich des Ansatzes des Bandes am Os occiput entstehen. Verschiedenste Untersuchungen im Bereich der Gliedmaßen haben gezeigt, dass diese Veränderungen zu Schmerzen und somit auch zu Lahmheit führen können (Huskamp & Nowak 1988). Als Insertionsdesmopathie werden pathologische Veränderungen im Ursprungs- und Ansatzbereich von Bändern, Sehnen und Gelenkkapseln bezeichnet. Wobei der Ansatz nur teilweise über das Periost verläuft, der Großteil des Gewebes entspringt direkt vom Knochen. Bei Überbelastung der Ursprungs- oder Ansatzbereiche kann es zur Traumatisierung von Weichteil- oder Knochengewebe kommen (Huskamp & Nowak 1988). Bei starken Traumatisierungen kann es auch zu Avulsionen des Knochens kommen (Abb. 7). Im Zuge der Abheilung kommt es in den betroffenen Bereichen zu Vernarbungen des Bindegewebes und einer Ausdehnung des knöchernen Anteils des Ansatzes. Die Folge einer solchen meist abgeheilten Verletzung ist eine Insertionsexostose (Huskamp & Nowak 1988).

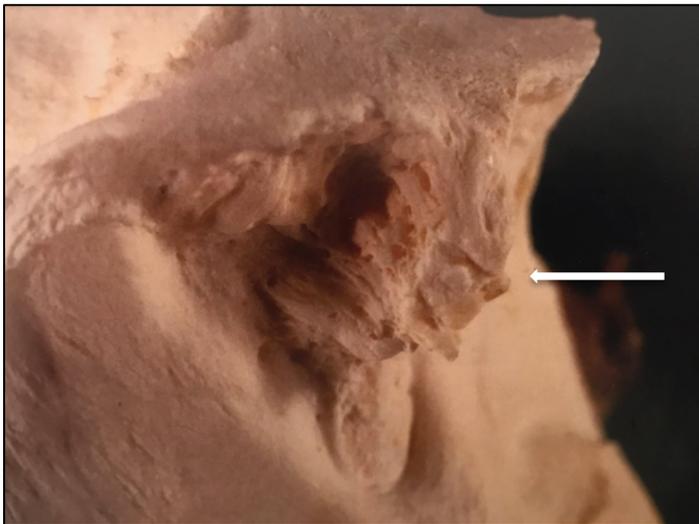


*Abbildung 7: Links: Sharpey-Fasern, die als kollagene Fasern mit und ohne Beteiligung des Periosts in die Kortikalis eindringen. Rechts: pathologische Situation mit subperiostalem Hämatom und Abriss einzelner Faserbündel (aus Huskamp & Nowak 1988)*

Bei der Insertionsdesmopathie des Funiculus nuchae kann es bei wiederholter Traumatisierung zu partiellen Zerreißen des Weichteilgewebes und zur Reizung der chondroiden Matrix kommen (Schüttert & Nowak 2000). Auch hier sind bei einem starkem Trauma Ausrisse des knöchernen Anteils möglich. In der Abheilungsphase kommt es zur langfristig narbigen Abheilung des Weichteilgewebes und zur Verknöcherung der geschädigten knöchernen Matrix verschiedenen Ausmaßes, welche als Insertionsexostose bezeichnet werden (Abb.7). Pathohistologisch lassen sich im Bereich der nicht mineralisierten chondroiden Zone der Insertion polymorphe Inseln mineralisierten Faserknorpels verbunden durch zellreiches kollagenfaseriges Gewebe nachweisen (Huskamp & Nowak 1988; Weiler 2001). Die isolierten mineralisierten Faserknorpelherde zeigen oft zentrale Verknöcherungen durch enchondrale Ossifikation, wodurch die Knochengebilde zu lamellären Knochen umgebaut werden und dabei einzelne Osteone entwickeln (Weiler 2001). Des Weiteren gibt es auch fokale Alterationen der Insertion, welche der Breite und dem Verlauf der mineralisierten chondroiden Zone entspricht. Auch hier kann ein Umbau von Faserknorpel zu Knochengebe nachgewiesen werden.

Nach WEILER (2001) gibt es auf Grund der oben genannten pathohistologischen Befunde zwei verschiedene Pathogenesen für die Entwicklung von Exostosen (Abb.8):

- Durch enchondrale Ossifikation des metaplastischen Knorpelgewebes entstandene Knochengewebsinseln, die unmittelbar vor der Protuberantia occipitalis externa liegen und sich durch Größenzunahme und Verschmelzung schließlich zu Knochengewebe entwickeln
- Durch landzungenartige Ausdehnung des der Protuberantia occipitalis externa aufsitzenden mineralisierten Faserknorpels, welcher enchondral ossifiziert.



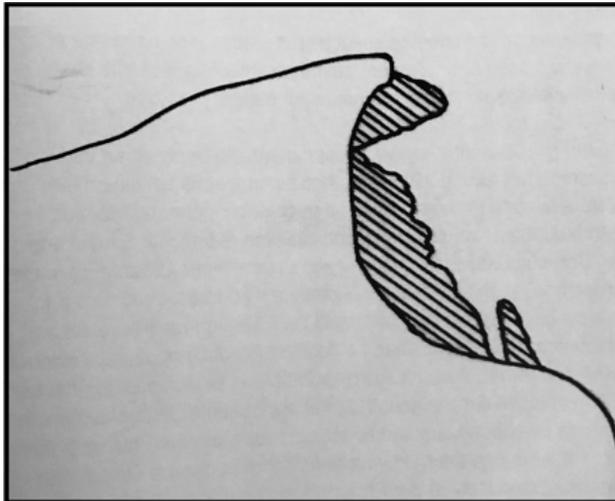
*Abbildung 8: Exostose der Protuberantia occipitalis externa (weißer Pfeil) am Schädel eines 15-20 Jahre alten Warmblutpferdes (aus Weiler 2001)*

#### 2.2.1. Vorkommen und Lokalisation

Insertionsexostosen am Os occipitale stellen nicht selten Zufallsbefunde dar. In einer Studie von 300 Patienten verschiedener Altersklassen der Tierklinik Hochmoor, bei denen aus unterschiedlichen Gründen das Genick im seitlichen Strahlengang geröntgt worden war, wurden bei mehr als 70 % aller Patienten Veränderungen der knöchernen Kontur des Ansatzes

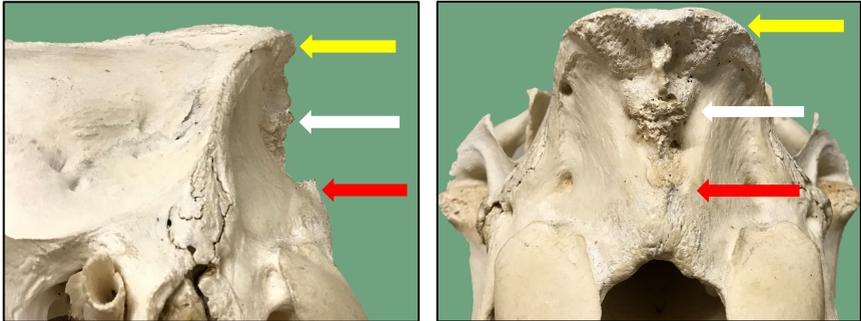
des Lig. nuchae festgestellt (Nowak et al. 1995). Durch pathomorphologische Untersuchungen in Einzelfällen wurde bestätigt, dass die röntgenologisch festgestellten Verschattungen von dem Ansatz des Funiculus nuchae ausgehen und es sich um eine chondroide Metaplasie mit dystrophen Mineralisationen handelt (Dyson 2003; Weiler 2001). Es ließen sich nach WEILER (2001) drei typische Lokalisationen festhalten (Abb. 9):

- Im dorsalen Teil des Insertionsgebietes unmittelbar im Anschluss der Crista nuchae, so dass die Crista sagittalis externa über die Crista nuchae hinaus zum Atlanto-occipitalgelenk um etwa 1-1,5 cm verlängert scheint
- Im mittleren Teil des Insertionsgebietes auf halber Länge einer Verbindung zwischen Crista nuchae und Foramen nuchae, die fast im rechten Winkel zum Planum nuchae emporragen
- Eine im spitzen Winkel zur Crista nuchae gerichtete Exostose von knapp 1 cm Länge am ventralen Rand der Protuberantia occipitalis externa



**Abbildung 9:** Typische Lokalisationen von Exostosen der Protuberantia occipitalis externa, sowie isolierte Verschattungen (jeweils schraffiert) (aus Weiler 2001)

Letztgenannte Exostosen sind bislang wenig in der Literatur beschrieben (Abb.10). COOPER (2018) gibt an, dass dieser stachelartige „physeal spike“ in der Medianen liegt.



**Abbildung 10:** Seitenansicht (links) und Ansicht von caudal auf den Genickbereich eines Pferdeschädels (rechts) mit einer geringgradigen Ausziehung der Crista nuchae (gelber Pfeil), einer Exostose im Bereich der Protuberantia occipitalis externa (weißer Pfeil) und einer Exostose am ventralen Rand der Protuberantia occipitalis externa (roter Pfeil)

Es wird beschrieben, dass diese Veränderung vornehmlich bei Warmblutpferden, die im Spring- oder Dressursport genutzt werden, auftritt (Schüttert & Nowak, 2000). Bestätigt wird dies in einer kleineren Studie an Vollblütern in der derartige Veränderungen in nur 5 % aller Fälle festgestellt werden konnten (Dyson 2003). Auch bei Trabern sind die beschriebenen Befunde selten festzustellen (Weiler 2001).

In einigen wenigen pathomorphologischen Studien an anatomischen Präparaten von Pferdeschädeln wurde die Ausformung der Protuberantia occipitalis externa nach Rasse, Alter und Ausprägung beurteilt. So wurde in einer anatomischen Untersuchung von 60 Pferdeschädeln mit dem Alter von 6-38 Jahren eine deutliche knöcherne Erhabenheit in 80% (48 Schädel) im occipitalen Insertionsbereich des Funiculus nuchae festgestellt (Weiler 2001). Nur 20% der Pferdeschädel hingegen wiesen ein befundfreies Erscheinungsbild auf. Die Protuberantia occipitalis externa war bei diesen 20% als ovale bis rhomboide aufgeraute Fläche zwischen Foramen magnum und Crista nuchae mit einer grabenähnlichen Einkerbung im Randgebiet zur Squama occipitalis ausgeprägt (Weiler 2001). Auch bei weniger großen Schädeln von Ponys und einigen wenigen Warm- und Kaltblutschädeln war eine Exostose nicht

ausgeprägt. In einer archäologischen Untersuchung an Pferdeschädeln von sowohl untrainierten, als auch trainierten Pferden zeigte sich ein Zusammenhang der Ausprägung von Insertionsexostosen mit dem Alter (Bendrey 2008). Auch die Nutzung zeigte einen Zusammenhang mit dem Ausprägungsgrad der Exostosen, das heißt trainierte Pferde wiesen deutlich gravierendere Reaktionen am Ansatz des Funiculus nuchae auf. In einer röntgenstrukturanalytischen Untersuchung wurde festgestellt, dass bei den untersuchten Präparaten des Ansatzbereiches bei Warmblutpferden bis 4 Jahren ein glattes Erscheinungsbild im Röntgenbild zeigte. Erst in der Altersgruppe 4 Jahre und älter wiesen 75% der untersuchten Schädel eine Insertionsexostose auf (Weiler 2001).

### **2.2.2. Krankheitsbild**

Die Insertionsdesmopathie des Lig. nuchae an der Protuberantia occipitalis externa ist ein noch wenig erforschtes Gebiet. Anlässlich der Equitana-Fachtagung 1995 wurde die Insertionsdesmopathie des Nackenbandansatzes erstmals als eigenständige Erkrankung im Bereich des Genicks von NOWAK et al. 1995 vorgestellt. Als Grund für die partielle Zerreißung von Weichteil- und Knochengewebe in diesem Bereich wird eine einmalige oder wiederholte Traumatisierung des paarigen Nackenstranges angegeben. Traumatisierungen können durch direkte Einwirkung wie das „in das Halfter hängen“, wenn das Pferd angebunden ist, geschehen. Aber auch auslösende Noxen wie eine überhöhte Zugbelastung im Insertionsbereich im Zusammenhang mit der reiterlichen Nutzung werden als Ursache beschrieben (Dyson 2003; Meyer 1996). Betroffene Pferde zeigen meist „Rittigkeitsprobleme“ wie Kopfschütteln, Halsschlagen, Probleme in einer gebeugten Kopf-Hals-Haltung, permanent „gegen den Zügel“ arbeiten (Dyson, 2003; Nowak et al. 1995). Auch HÜNTEMANN (2006) wies in einer klinischen und radiologischen Studie einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Rittigkeitsproblemen und dem Vorkommen einer Insertionsdesmopathie nach. In schwerwiegenden Fällen mit Ausrissfragmenten von der knöchernen Verankerung am Os occipitale nach wahrscheinlich starken stumpfen Traumatisierungen kann es zu schwerwiegenden Symptomen wie Kopfschütteln auch im Stand der Ruhe und sogar neurologischen Auffälligkeiten wie Nystagmus und Kopfschiefhaltung kommen (Swarbrick et al. 2016; Voigt et al. 2009).

Adspektorisch und palpatorisch ist der Genickbereich häufig unauffällig, nur bei traumatischer Ursache wird von Hautwunden im Genickbereich berichtet (Dyson, 2003; Nowak et al. 1995; Swarbrick et al. 2016). Eine Untersuchung sollte daher auch in der Bewegung erfolgen,

ausgebunden an der Longe und unter dem Sattel. Häufig zeigen Pferde mit Pathologien im Genickbereich eine tiefe und leicht gestreckte Kopf-Hals-Haltung in der Bewegung (Benoit 2016). Es wird eine unstete Kopfhaltung vor allem in versammelten Lektionen, bis hin zum Strecken und Herausheben des Kopfes und Halses berichtet (Dyson 2003, Nowak & Schüttert 1998). Auch ein vertikales und/oder horizontales Kopfschütteln wird in einigen Fällen beobachtet (Dyson 2003).

### **2.3. Diagnostik**

#### **2.3.1. Bildgebende Diagnostik**

Der Ansatz des Lig. nuchae am Os occipitale ist mit verschiedenen Techniken der bildgebenden Diagnostik darstellbar. Zur bildgebenden Routinediagnostik im Bereich der Insertion des Lig. nuchae sowie der Halswirbelsäule werden seitliche Röntgenbilder angefertigt. Diese werden am stehenden und sedierten Pferd angefertigt. Das zu untersuchende Pferd sollte auf einer geraden Ebene stehen, alle vier Gliedmaßen gleichmäßig belasten und Kopf und Hals in einer Geraden mit dem Rücken halten, wobei eine Rotation des Kopfes vermieden werden sollte (Butler et al. 2017; Dyson 2011). Es sollte ein Strickhalfter ohne metallische Schnallen verwendet werden und die Ohren mit Klebestreifen nach vorne fixiert werden, um Überlagerungen der Ohrknorpel mit dem Os occipitale und Atlas zu vermeiden (Butler et al. 2017). Der Kopf sollte in einer möglichst neutralen Position mit den Nüstern auf Höhe des Buggelenkes getragen werden (Brehm & Nowak 2016). Die Anfertigung von orthograden Röntgenbildern ist für eine korrekte Auswertung obligat (Butler et al. 2017). Bei Vorliegen von Exostosen können sie in Größe und Form bestimmt werden, aber auch Avulsionsfragmente können dargestellt werden. Allerdings handelt es sich um eine Darstellung chronischer Veränderungen in Form von Exostosen (Nowak et al. 1995; Weiler 2001). In einem frühen Stadium sind häufig keine Veränderungen sichtbar, erst nach zwei bis drei Wochen zeigen sich vom Periost ausgehende Reaktionen (Nowak & Tietje 1999). Im weiteren Verlauf werden die Insertionsexostosen als unförmige Gebilde röntgenologisch sichtbar, welche in die Richtung des inserierenden Lig. nuchae ausgerichtet sind (Abb. 10). Auf Grund der Chronizität der Veränderungen reicht die röntgenologische Darstellung der Insertionsexostose im Bereich der Protuberantia occipitalis externa allein nicht als Beweis für die Ursache der klinisch manifesten Erkrankung (Nowak 2016). Eine Untersuchung der umliegenden Weichteilstrukturen wird als

notwendig angegeben.

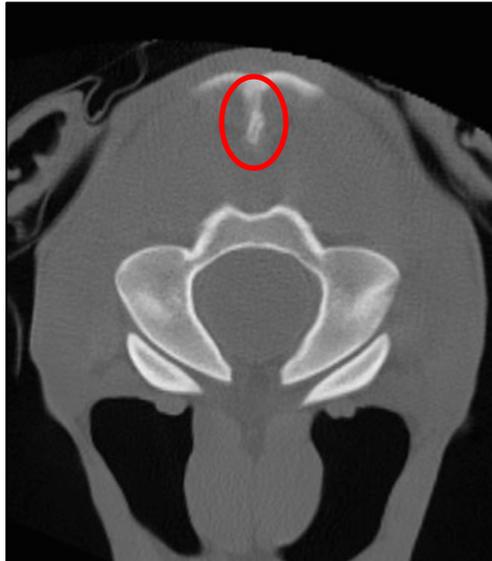


*Abbildung 11: Röntgenologische Darstellung des Ansatzbereiches des Lig. nuchae mit Insertionsexostose im seitlichen Strahlengang*

Die Ultraschalluntersuchung des Ansatzes des Lig. nuchae stellt ein kostengünstiges und nicht invasives bildgebendes Verfahren dar, welches als eine optimale Ergänzung zu der röntgenologischen Untersuchung dient und einen guten Überblick über den Genickbereich verschaffen kann (Head 2014). Mit der Hilfe der Ultrasonographie können morphologische Veränderungen von Sehnen, Bändern, Muskeln, Gelenken, subkutanem und peritendinösem Gewebe, Gefäßen und auch Konturen von kortikalem Knochen dargestellt werden (Baxter & Stashak 2012). Im Bereich des Ansatzes des Lig. nuchae können somit sowohl Weichteilschäden als auch Umbauprozesse am knöchernen Ansatz dargestellt werden (Brehm & Nowak 2016). Nach BAXTER & STASHAK (2012) können durch Ultraschalluntersuchungen Veränderungen der Bänder und Sehnen durch Größe, Form, Struktur, Position und Faseranordnung bestimmt werden. Vor allem die Echogenität wird zur Beurteilung von Läsionen verwendet. Je geringer die Dichte einer Struktur ist, desto anechogener stellt sie sich im Ultraschall dar. Auch für die Beurteilung des Heilungsverlaufes eignet sich die Ultraschalluntersuchung anhand der oben genannten Parameter gut. Für das Lig. nuchae werden eine longitudinale und eine transversale Darstellungen beschrieben (Gollob et al. 2002). Im Längsschnitt, in der Achse des Lig. nuchae, kann unterhalb der Crista nuchae des Ansatzes des Bandes komplett eingesehen werden. Da das Nackenband nach lateral abflacht ist, können im Längsschnitt bei einer kleinen Abweichung von der Medianen Sehnenfasern der

Endsehne des *M. semispinalis capitis* im Bild erscheinen. Im Transversalschnitt caudal der *Crista nuchae* können jeweils abaxial angrenzend an das Nackenbandes die querovalen Endsehnen des *M. semispinalis capitis* dargestellt werden. In diesem Bereich können hypoechogene Refraktionsartefakte entstehen. Ein Nachteil der Ultraschalluntersuchung ist, dass sehr leicht Artefakte entstehen können durch unzureichende Vorbereitung des zu untersuchenden Bereiches oder schlechte Ausrichtung des Ultraschallkopfes (Baxter & Stashak 2012).

Eine weitere Möglichkeit zur Darstellung von sowohl Weichteilen, als auch knöchernen Strukturen im Ansatzbereich ist eine computertomographische Untersuchung (CT) (Abb.11). Die ersten klinischen Beschreibungen der CT Untersuchung in der Pferdemedizin wurden von BERBEE & ALLEN (1986) im Rahmen eines Kongresses beschrieben. Trotz der ursprünglichen Indikation in der Humanmedizin zur Untersuchung von Gehirntumoren (Hounsfield 1973) werden vor allem Pathologien von knöchernen Strukturen wie Frakturen, Sklerosen, osteochondrale Fragmente und knöcherne Zubildungen dargestellt (Berbee & Allen 1986). Nachteile der Untersuchung sind die Allgemeinanästhesie des Pferdes und hohe Kosten. Eine Weiterentwicklung stellt die Untersuchungen des Kopfes und der oberen Halswirbelsäule durch CT-Untersuchungen am stehenden Patienten dar (Ramzan 2011). Bei dieser Technik können Bewegungsartefakte einen störenden Einfluss auf die Bildqualität haben. Als großer Vorteil der CT-Untersuchung wird die dreidimensionale Darstellung des Kopfes und der Halswirbelsäule ohne Überlagerung und mit Darstellung der Weichteilstrukturen angegeben (Kinns & Pease 2009). Daher wird der Einsatz von CT-Diagnostik auch bei Patienten mit traumatischen Verletzungen im Genickbereich empfohlen, um eine schnelle und korrekte Diagnose zu erhalten (Swarbrick et al. 2016).



**Abbildung 12:** Computertomographische Darstellung einer Insertionsexostose im Axialschnitt (roter Kreis)

Eine weitere Technik in der Schnittbilddiagnostik ist die Kernspintomographie (MRT), welche vorwiegend zur Diagnostik von muskuloskelettalen Erkrankungen vor allem der distalen Gliedmaße benutzt wird (Schramme & Redding 2011). Die MRT Untersuchung stellt eine gute Möglichkeit zur genauen Differenzierung vor allem von Weichteilgeweben wie Fett und Muskeln, aber auch Knochen und Knorpeln dar (Gollob et al. 2002). Somit stellt das MRT ein sehr gutes Diagnostikum der kranialen Halswirbelsäule und des Genicks dar, wobei immer mehrere Untersuchungssequenzen in mindestens zwei aufeinander senkrechten Ebenen untersucht werden sollten (Wagner & Gerhards 2010). Als Nachteil wird die Notwendigkeit der Untersuchung des Kopfes in Allgemeinanästhesie angesehen (Schumacher et al. 2013).

### 2.3.2. Infiltrationsanästhesie

Diagnostische Anästhesien werden in der Pferdepraxis zur genaueren Lokalisation von schmerzhaften Prozessen angewandt, wenn nicht offensichtliche Veränderungen vorliegen (Schumacher et al. 2013). Außerdem kann andersherum gezeigt werden, ob ein offensichtlicher Befund einen Schmerz auslöst. Diagnostische Anästhesien können je nach Art und Lokalisation auf verschiedene Weisen erfolgen (Baxter & Stashak 2012):

- Leitungsanästhesie (perineurale Infiltrationsanästhesie)
- Ringförmige Anästhesie
- Direkte Infiltrationsanästhesie
- Intrasynoviale Anästhesie (Gelenkscapsel, Schleimbeutel, Sehnenscheiden)

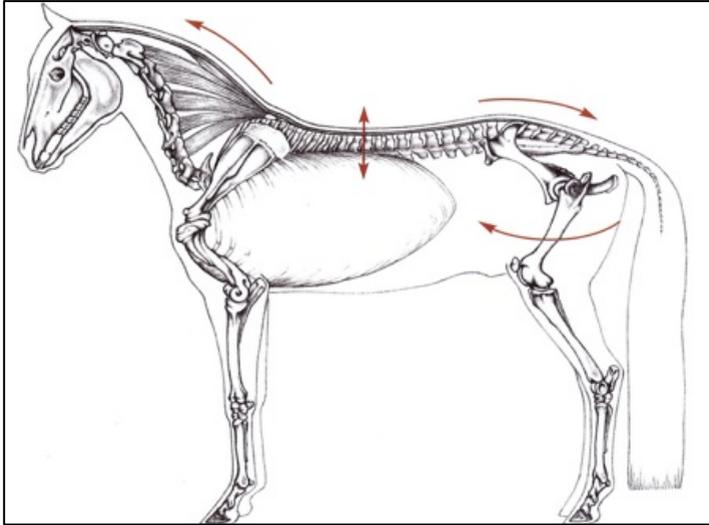
Ein direkte Infiltrationsanästhesie kann überall eingesetzt werden, wo sensible Gebiete an Ansätzen und Ursprüngen von Bändern, Sehnen oder Knochenvorsprüngen liegen (Baxter & Stashak 2012). Meist wird die Infiltrationsanästhesie zur Überprüfung von schmerzhaften Prozessen bei Insertionen von Bändern und Sehnen und bei knöchernen Erhabenheiten eingesetzt. Dabei wird der betroffene Bereich direkt mit Lokalanästhetikum infiltriert, anstatt eine Leitungsanästhesie der versorgenden Nerven durchzuführen. Diese Methode gibt häufig einen genaueren Hinweis auf die Beteiligung der zu untersuchenden Region am Gesamtbild. Da Exostosen auch bei abgeheilter Insertionsdesmopathie zu sehen sind, beschreiben NOWAK et al. (1995) die direkte Infiltrationsanästhesie des Ansatzbereiches am Os occiput. Die Autoren zeigten, dass mit einer Injektion von 6-7 ml eines 2% Lokalanästhetikums beiderseits des Nackenbandansatzes und einer klinischen Kontrolle nach 15-30 Minuten die Diagnose weiter abgesichert werden kann. Vor einer versehentlichen Injektion in den Epiduralraum, welcher eine Ataxie hervorrufen kann, wird gewarnt (Dyson 2003).

## 3. Moderne Reitweise

Der Reiter kann durch mehrere Möglichkeiten auf das Pferd einzuwirken. Er kann sowohl über die Veränderung seiner Sitzposition den Schwerpunkt verändern, als auch durch die Zügel die Kopf- und Halsbewegung regulieren (Tokuriki & Aoki 1991). MEYER (1996) beschreibt das Reitpferd als ein begrenzt modifizierbares Bewegungsgefüge mit Hals, Rücken und Kopf als voneinander abhängige Komponenten. Weiter beschreibt er die reiterliche Einwirkung als

Einschränkung der Bewegungsentfaltung des Pferdes. Der Einwirkungsbereich des Reiters auf das Pferd mit der geringsten Einschränkung wird von ihm als der „optimale Bereich“ genannt. Dieser ist an der nach dorsal konvexen Halslinie und an der Abknickung des Kopfes in der Ganasche zu erkennen. Höhere Einschränkungen können sowohl zu akuten, als auch zu chronischen Krankheitsprozessen führen. Eine effiziente Kopf-Hals-Haltung in der klassischen Reitkunst wird von STEINBRECHT (2004) beschrieben. Bei dieser ist der Pferdehals dem Rumpf gut aufgesetzt und formt eine dorsale viertelkreisförmige Linie. Dabei sind die sieben Halswirbel S-förmig angeordnet. Im Idealfall geht der obere Bogen der „S“ Form durch einen fast senkrecht angeordneten vierten Halswirbel in den unteren Bogen über. Es wird eine leicht gebogene Verbindung der ersten Halswirbel mit dem Hinterhauptsbein mit einer fast senkrechten Stellung des mittleren Abschnittes, sowie der leicht gebogene Übergang der letzten Halswirbel zu den Brustwirbeln gewünscht. Das Genick bildet den höchsten Punkt des Pferdes. Auf diese Weise wird dem Pferd unter dem Reiter ausreichend Ganaschenfreiheit und eine Schulterfreiheit in Aufrichtung ohne Bewegungseinschränkung der Vorderhand gewährt (Steinbrecht 2004).

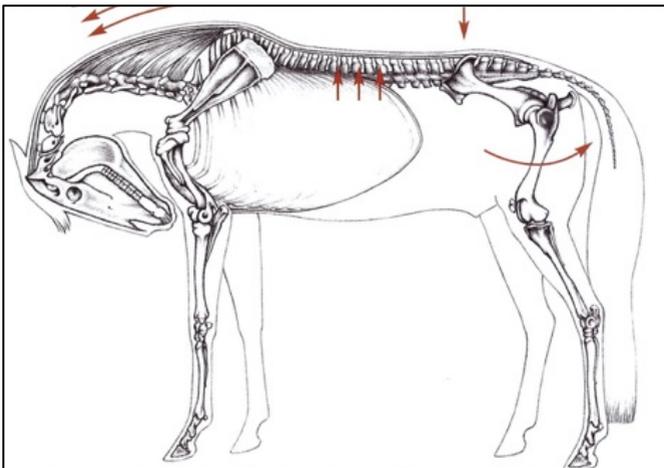
Während des Reitens sind Kopf und Hals flexibel in der Bewegung (Bürger & Zietschmann 1938). Durch Zug bei Handeinwirkung des Reiters nach lateral oder caudal reagiert das Pferd mit einer Änderung des Abknickens des Genicks und einer Kopfbewegung nach lateral oder caudal und somit mit einer Änderung der Stellung des Halses. Beim Vorwärts-Abwärtsreiten wird das Genick in einer geringen Winkelung gehalten, wobei der Nasenrücken und die Nüstern vor der Senkrechten gehalten werden bis das Pferd an das Gebiss und die Reiterhand stößt. Durch diese Dehnungshaltung entsteht Zug auf den Widerrist und die nachfolgenden Wirbel, wodurch sich die Zwischenräume der Dornfortsätze weiten und die Rückenmuskulatur sich entspannt (Faber et al. 2003). Während der Versammlung des Pferdes durch den Reiter kommt es durch Anspannung verschiedener Muskelgruppen zu einer erhöhten Wölbung der Wirbelsäule, während im Halsbereich die Kontraktion der *Mm. longus capitis* und *longus colli* zunimmt wodurch das *Lig. nuchae* unter Spannung gesetzt wird (Denoix & Pailloux 2000). Auf Grund der thorakalen Beugung wird der Widerrist angehoben, die Bauchmuskulatur kontrahiert und die Hinterhand tritt vermehrt unter den Schwerpunkt (Abb. 12) (Denoix & Pailloux 2000).



**Abbildung 13:** relativ aufgerichtetes Pferd mit frei beweglichem Rücken und abgesenkter Kruppe, welches in der Lage ist, mit der Hinterhand unter den Schwerpunkt zu treten (aus Heuschmann 2006)

Wird das Genick durch die Reiterhand so abgewinkelt, dass der Nasenrücken hinter der Senkrechten getragen wird, kommt es zum „Aufrollen“ des Halses im Sinne der „Hyperflexion“ (Rollkur), wobei das Genick nicht mehr den höchsten Punkt des Pferdes bildet (Meyer 1996). Man unterscheidet das Aufrollen des Halses im vorderen Abschnitt mit einem am Widerrist aufgerichteten Hals und das Aufrollen mit einem am Widerrist gesenkten Hals (Meyer 1996). Ein Aufrollen nur im vorderen Abschnitt resultiert in einer reduzierten Losgelassenheit mit nach unten gesenktem Rücken und einer reduzierten Hinterhandaktivität. Durch extremes Einbiegen des Pferdehalses mit abgesenktem Hals am Widerrist, wird die Wirbelsäule bis zum Maximum gekrümmt (Heuschmann 2006). Dabei weicht das Pferd durch zu starke Winkelung des Halses der Reiterhand aus. Durch diese Stellungsänderung des Halses erfolgt das Heben und Senken des Kopfes nicht mehr von der Basis der Widerrist-Schulterlinie heraus (Meyer 1996). Weiter bewirkt das „Aufrollen“ mit am Widerrist gesenkten Hals nach MEYER (1996) und HEUSCHMANN (2006) mit einer erhöhten Zugwirkung nach cranial auf das Lig. nuchae. Durch die Kontraktion der Bauchmuskulatur wird der supraspinale

Bandapparat gedehnt. Dies führt zu einem straffen nach dorsal gebogenen Rücken (Abb. 13) (Faber et al. 2003). Dabei schwingt der Rücken demzufolge nur noch begrenzt. Durch die unzureichende Entspannung dieser Partie kommt es zu einer eingeschränkten Hinterhandsaktion (Rhodin et al. 2005). Der Raumgriff der Vorderhand wiederum wird durch eine eingeschränkte Aktion der Muskeln der Vorderhand reduziert (Meyer 1996). Bei dauerhafter Arbeit in „Hyperflexion“ wird vermutet, dass es durch die konstanten Zugkräfte auf das Nackenband sogar zu Verletzungen sowohl des Weichteilgewebes als auch von knöchernen Strukturen kommen kann (Rhodin u. a. 2005). Eine weitere Auswirkung des „Aufrollens“ des Halses ist, neben der vermehrten Zugkraft auf das Nackenband eine Umverteilung der Zugbelastung. Wird der Nasenrücken hinter der Senkrechten getragen kommt es zu einer Verlagerung der höchsten Zugbelastung durch das Lig. nuchae vom Dornfortsatz des Axis zum Bereich des Ansatzes am Os occipitale (Elgersma u. a. 2010). Weiter wirkt sich der konstante Zug des Nackenbandes blockierend auf die Brust- und Lendenwirbelsäule aus, wodurch es zu Taktfehlern in der Bewegung kommen kann (Balkenhol et al. 2003). MEYER (1996) sieht durch diese extreme Form der Aufrichtung des Halses eine große Gefahr von dauerhaften Schäden an Ansatz- und Ursprungsstellen von Sehnen und Bändern, an zusammengepressten Zwischenwirbelscheiben sowie an der Insertionsstelle des Lig. nuchae am Os occipitale.



**Abbildung 14:** Pferd in Hyperflexion mit überspanntem Rücken und extrem eingerollter Kopf-Hals-Haltung, stark angehobener Rückenlinie und gerader Kruppe (aus Heuschmann 2006)

---

Die beschriebene Arbeitsweise hat auch im Reglement der Dachorganisation des Pferdesports (FEI) als Gegenspieler zur klassischen Reitkunst Niederschrift gefunden. Bei einer FEI Konferenz 2006 zu diesem Thema wurde über mögliche Auswirkungen und tierschutzrelevante Aspekte diskutiert.



### **III. MATERIAL UND METHODEN**

#### **1. Patientenmaterial**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden im Jahr 2017 und 2018 insgesamt 180 Pferden des Gestüts Lewitz in Neustadt-Glewe der Bereich des Genicks radiologisch untersucht. Dies erfolgte im Rahmen einer radiologischen Untersuchung vor oder zum Kauf des Pferdes.

Bei dem untersuchten Patientengut handelte es sich ausschließlich um Warmblutpferde im Alter von zwei bis acht Jahren. Diese wurden von Fohlenalter an auf dem Gestüt in konstant zusammengesetzten Gruppen gehalten. In die Untersuchung einbezogen waren sowohl Pferde vor Beginn ihrer reiterlichen Ausbildung als auch Pferde in reiterlicher Ausbildung. Alle Pferde wurden unter ähnlichen Bedingungen aufgezogen und ausgebildet.

#### **1.1. Gruppen**

Es erfolgte eine Einteilung der Pferde in vier Gruppen basierend auf Alter und Trainingsstand.

##### **1.1.1. Gruppe 1**

In diese Gruppe wurden 41 Pferde im Alter von zwei Jahren aufgenommen, die im Rahmen einer radiologischen Übersichtsuntersuchung zwecks Aufnahme des Gesundheitszustandes vor Beginn der Ausbildung untersucht wurden. Alle Pferde dieser Gruppe wurden bis zum Zeitpunkt der Untersuchung in mehreren Einheiten im Laufstall gehalten.

##### **1.1.2. Gruppe 2**

In diese Gruppe wurden 37 Pferde im Alter von drei Jahren aufgenommen, die im Rahmen einer radiologischen Übersichtsuntersuchung zum Verkauf untersucht wurden. Mit Beginn der Ausbildung wurden alle Pferde in den Ausbildungsstall des Gestütes verbracht und in Einzelboxen aufgestellt. Alle Pferde der Gruppe haben bis zum Zeitpunkt der Untersuchung eine reiterliche Grundausbildung unter vergleichbaren Bedingungen durch ein professionelles Reiterteam erhalten.

### **1.1.3. Gruppe 3**

In dieser Gruppe wurden 58 Pferde im Alter von 4 Jahren aufgenommen, die im Rahmen einer Kaufuntersuchung zwecks Verkaufs radiologisch untersucht wurden. Alle Pferde dieser Gruppe haben nach ihrer reiterlichen Grundausbildung im Ausbildungsstall des Gestütes eine weiterführende Ausbildung durch ein professionelles Reiterteam erhalten und wurden bei einzelnen Jungpferdeprüfungen vorgestellt.

### **1.1.4. Gruppe 4**

In dieser Gruppe wurden 25 Pferde im Alter zwischen fünf und acht Jahren aufgenommen, die im Rahmen einer Kaufuntersuchung radiologisch untersucht wurden. Alle Pferde dieser Gruppe haben eine Grundausbildung, wie die Pferde der oben genannten Gruppen (Gruppen 2 und 3) durchlaufen, wurden anschließend im Turnierstall des Gestütes gehalten und durch ein professionelles Reiterteam trainiert. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurden alle Pferde aktiv im Turniersport geritten.

## **2. Methoden**

### **2.1. Anfertigung von Röntgenaufnahmen**

Zur Anfertigung der Röntgenaufnahmen wurde ein mobiler Hochfrequenz Röntgeneratore mit einer Leistungsfähigkeit von 20 mA bei 80 kV verwendet (Gierth HF 80/20 Ultra light, Fa. Gierth X-ray international GmbH, Riesa). Als aufzeichnendes System wurde ein digitaler Detektor der Firma Fuji (FDR D-EVO II C24, FDR D-EVO GoFlex System, Düsseldorf) eingesetzt. Die maximale Bildgröße betrug hierbei 24 x 30 cm. Um einen höchstmöglichen Strahlenschutz für das Hilfspersonal zu ermöglichen kam das portable Stativsystem der Firma Podoblock, Niederlande, (Stat-X Vaquero) für das Röntgengerät zum Einsatz.

## 2.2. Röntgenuntersuchung

Die Röntgenbilder der Pferde aller Gruppen wurden am stehenden Pferd durchgeführt. Alle Tiere erhielten alle eine intravenöse Injektion mit dem alpha2-Rezeptorantagonisten Detomidinhydrochlorid in einer Dosierung von 20 µg/kg. Die Injektion erfolgte in Kombination mit dem Morphinderivat Butorphanol in der Dosierung 0,02 mg/kg.

Zur Erstellung der Röntgenaufnahme des Genicks wurden die Pferde von einer Hilfsperson am Kopfhalter mit Führstrick fixiert. Um Artefakte zu vermeiden wurde ein Halfter ohne Metall aus Hanf oder Kunststoff angelegt (Butler et al. 2017) (Abb. 15). Des Weiteren wurden beide Ohren mit Hilfe eines Klebestreifens nach cranial zusammen fixiert, um Überlagerungen des Os occipitale mit den knorpeligen Anteilen der Ohren zu vermeiden. Außerdem wurden die Untersuchungen in einer physiologischen Kopf-Hals-Haltung vorgenommen, die dann als erreicht galt, wenn sich Nüstern und Schultergelenk auf einer horizontalen Linie befanden. Weiter wurde darauf geachtet, dass Kopf und Hals möglichst gerade in Längsrichtung mit dem Rücken positioniert und alle vier Gliedmaßen gleichmäßig belastet waren. Der Flachdetektor wurde in einen mobilen Kassettenhalter eingespannt und zur Minimierung von Vergrößerungseffekten möglichst nahe seitlich an das Genick des Pferdes verbracht. Bei der Ausrichtung des Detektors wurde auf eine exakte Parallelität zwischen Kopf/Genick/obere Halswirbelsäule und Detektorsystem geachtet und der Zentralstrahl senkrecht zum Detektor ausgerichtet. Regulär wurde eine Röntgenaufnahme im sinistro-dextralen Strahlengang des gesamten Genickbereiches angefertigt. Es wurde auf eine orthograde Darstellung des gesamten caudalen Anteils des Os occipitale mit der Crista nuchae und dem angrenzenden ersten Halswirbel (Atlas) geachtet. Durch die am Strahlenaustrittsfenster befestigten Blenden erfolgte eine Eingrenzung des Primärstrahlbündels auf den relevanten Bereich. Der Zentralstrahl wurde auf den Treffpunkt zweier gedachter Linien gesetzt: ein senkrecht Lot von der Crista nuchae nach ventral, eine waagerechte Linie auf Höhe des Ohrgrundes. Je nach Pferdegröße wurde eine Belichtung von 68-75 kV und 18-25 mAs bei einem Film-Fokus-Abstand von einem Meter gewählt. Die angegebenen Belichtungswerte wurden sowohl der Größe der Probanden als auch der zu durchdringenden Körpermasse angepasst. Bei schwach bemuskelten und kleinen Tieren wurden die mAs Werte gesenkt, während bei massigen und großen Tieren die mAs Werte erhöht wurden.



*Abbildung 15: Anfertigung des Röntgenbildes vom Genickbereich mit einem Halfter ohne Metall und mit Ohren nach cranial mit Hilfe eines Klebestreifens nach cranial gebunden zur Vermeidung von Überlagerungen und Artefakten*

Im Rahmen der Anfertigung aller Röntgenaufnahmen wurde besonders auf die genaue Einhaltung der Vorschriften der aktuellen Fassung der Röntgenverordnung (RöV), Fassung 11.12.2014, geachtet. Relevant waren insbesondere der Abschnitt 1a (Strahlenschutzgrundsätze), Paragraph 21 (Schutzvorkehrungen), Paragraph 22 (Zutritt zu Strahlenschutzbereichen) und Paragraph 35 (zu überwachende Personen und Ermittlung von Körperdosis). Während der Anfertigung der Röntgenaufnahme befanden sich nur der Untersucher selbst und eine Hilfsperson zur Fixation des Pferdes im Raum. Anwesende Personen trugen Röntgenschutzkleidung bestehend aus einer Bleischürze (Bleigewicht Vorderseite 0,50 mm und im Rückenbereich 0,25 mm) und einem Schilddrüsenschutz (Bleigewicht 0,50 mm). Außerdem benutzte die Hilfsperson Bleihandschuhe (Bleigewicht 0,50 mm) zum weiteren Schutz. Auf einen möglichst großen Abstand der Halteperson zum Zentralstrahl wurde geachtet. Die Personendosis der anwesenden Personen wurde mit Hilfe eines Filmdosimeters, welches auf Brusthöhe getragen wurde, aufgezeichnet.

### 2.3. Messmethodik und Graduierung der erhobenen Befunde

Die Röntgenbilder wurden sorgfältig mit Hilfe des Bearbeitungsprogrammes OsiriX MD DICOM viewer (osirix-viewer.com) ausgewertet und die erhobenen Befunde dokumentiert. Der Schwerpunkt der Datenerfassung wurde auf den Ausprägungsgrad der knöchernen Reaktion am Hinterhauptsbein (Hüntemann 2006; Sager 1997) und auf die Lage der jeweiligen Befunde (Weiler 2001) gelegt. Zur Auswertung der Röntgenbefunde wurde im Vorfeld sowohl eine Einteilung der Lokalisationen der Befunde zur Lagebestimmung als auch eine Graduierung des Ausprägungsgrades der Befunde erstellt, um eine möglichst standardisierte und umfassende Beurteilung des Genicks sicher zu stellen.

### 2.4. Lagebestimmung der knöchernen Reaktionen

Zunächst wurde eine Lagebestimmung bei Vorliegen einer knöchernen Reaktion durchgeführt. Dabei fand eine Einteilung dieser in drei typische Lokalisationen im Bereich des Genicks in Anlehnung an WEILER (2001) und NOWAK (2001) statt. Sie werden im Folgenden beschrieben (Abb. 16):

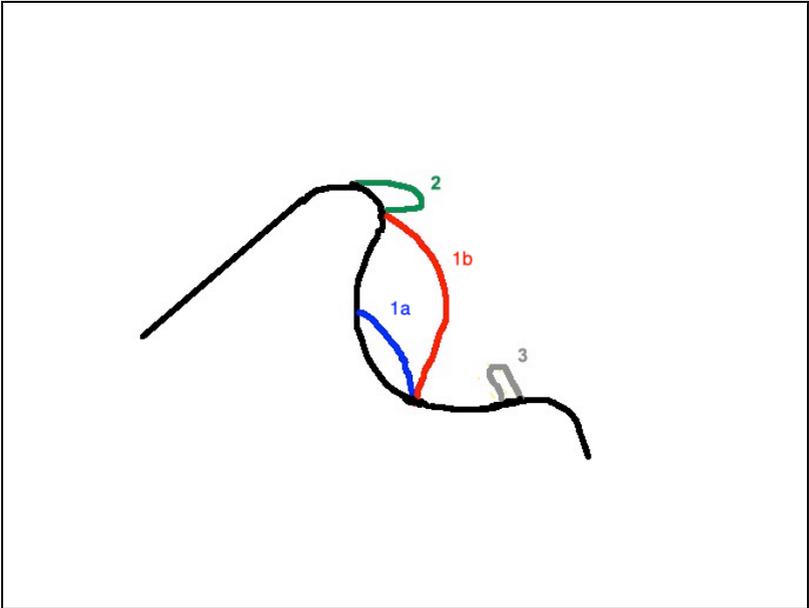
1 = knöcherne Reaktionen auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa:

1a = die knöcherne Reaktion erscheint auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa und weist verschiedene Ausprägungsgrade und Erscheinungsbilder auf; das dorsale Ende der Reaktion endet ventral der Crista nuchae

1b = die knöcherne Reaktion erscheint auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa, das dorsale Ende dieser schließt auf Höhe der Crista nuchae ab; die Form ist immer nach caudal konvex

2 = die knöcherne Reaktion erscheint unmittelbar im Anschluss an die Crista nuchae in unterschiedlichen Formen und erscheint als Verlängerung dieser

3 = eine knöcherne Reaktion („Knochenleist“) zwischen ventralem Rand der Protuberantia occipitalis externa und Foramen magnum, welche meist im spitzen Winkel zur Crista nuchae ausgerichtet ist



**Abbildung 16:** Einteilung der typischen Lokalisationen der Insertionsexostosen im Genickbereich des Pferdes (Nowak 2001; Weiler 2001); 1 = Reaktion auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa, 1' = Reaktion auf Höhe der Crista nuchae; 2 = Reaktion auf Höhe der Crista nuchae; 3 = KL ventrocaudal des Ansatzes des Lig.nuchae

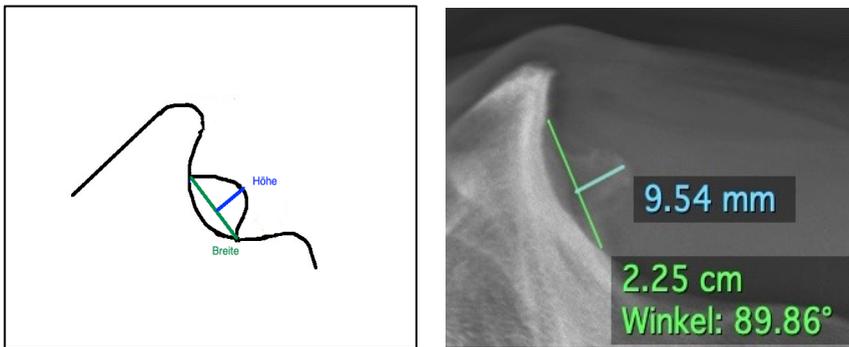
## 2.5. Messmethodik

### 2.5.1. Lokalisation 1a und 1 b

Sichtbare Befunde im Bereich der Protuberantia occipitalis externa wurden mit Hilfe eines digitalen Zentimetermaßes in Höhe und Breite vermessen. Auf Grund der erheblich unterschiedlichen Konkavität des Os occipitale an dem Ansatz des Nackenbandes eines jeden Pferdes wurde die Messmethode zur Bestimmung der Maße analog zur Vermessung einer ähnlichen Pathologie an anderer anatomischen Position (Osteochondrom des distalen Radius beim Pferd) (Wright, I.M. & Minshall, G.J. 2011) übernommen. WRIGHT & MINSHALL (2011) beschreiben die Vermessung von Osteochondromen des distalen Radius in einer seitlichen Röntgenaufnahme wie folgt:

- zur Bestimmung der Breite wird die Distanz vom dorsalen zum ventralen Ursprungspunkt der Exostose zum normalen Periost auf einer geraden Linie vermessen
- zur Bestimmung der Höhe wird die Distanz vom caudalsten Punkt der Exostose zum Schnittpunkt der geraden Linie der Breitenbestimmung vermessen.

Dieses Verfahren wurde für die Auswertung der Röntgenbilder der vorliegenden Arbeit übernommen (Abb. 17).



**Abbildung 17:** Vermessung von Höhe (blau) und Breite (grün) einer knöchernen Erhabenheit analog zum Schema nach WRIGHT and MINSHALL 2011; links die Messung in der Übersichtsabbildung; rechts vergrößerte Ansicht des vermessenen Bereiches

### 2.5.2. Graduierung der Exostosen auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa

Die Einteilung des Ausmaßes der knöchernen Reaktionen auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa basiert auf der Einteilung in Genickgrade nach SAGER (1997) und HÜNTEMANN (2006), um einen Vergleich mit vorhergegangenen Studien zu ermöglichen. Lediglich die Nomenklatur wurde in einigen Punkten modifiziert. Die Gradeinteilung erfolgte nach Vermessung und Beurteilung der Kontur (glattrandig oder rau) (Tab.1) von Grad „0“ bis „6“.

**Tabelle 1:** Einteilung der Genickgrade in der seitlichen Röntgenaufnahme  
modifiziert nach HÜNTEMANN (2006) und SAGER (1997)

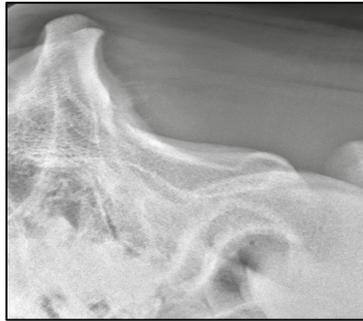
<b>Genickgrad</b>	<b>Ausprägung</b>
0	ohne besonderen Befund
1	Geringgradige Veränderungen bis 0,5 cm hoch und 1 cm breit
2	Geringgradige Veränderungen bis zu 1 cm hoch und 2 cm breit
3	Mittelgradige Veränderungen bis 1,5 cm hoch und 2,5 cm breit, glattrandiges Erscheinungsbild
4	Mittelgradige Veränderungen bis 1,5 cm hoch und 2,5 cm breit, raues Erscheinungsbild
5	hochgradige Veränderungen die ab 1,5 cm hoch und über 2,5 cm breit sind, glattrandiges Erscheinungsbild
6	hochgradige Veränderungen über 1,5 cm hoch und über 2,5 cm breit, raues Erscheinungsbild sowie knöcherne Reaktionen im Bereich des Lig. nuchae

In den folgenden Abbildungen aus der eigenen Untersuchung (Abb. 18-24) wird die Einteilung der Ausprägungsgrade der knöchernen Reaktionen nach HÜNTEMANN (2006) verdeutlicht (Tab.1).

*Abbildung 18: Grad 0*



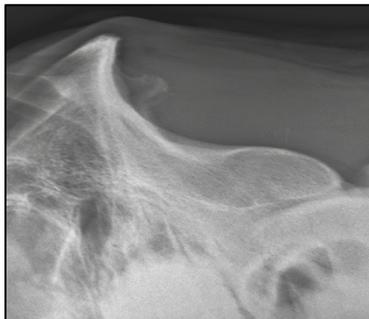
*Abbildung 19: Grad 1*



*Abbildung 20: Grad 2*



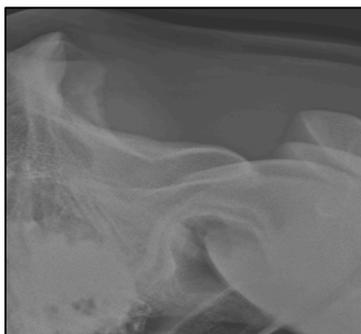
*Abbildung 21: Grad 3*



*Abbildung 22: Grad 4*



*Abbildung 23: Grad 5*

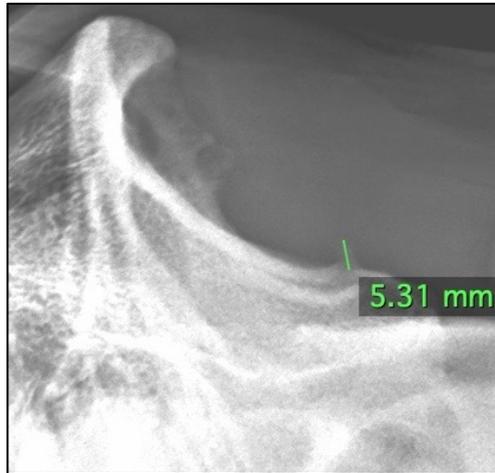


*Abbildung 24: Grad 6*



### **2.5.3. Vermessung der knöchernen Reaktionen für die Lokalisationen 2 und 3**

Für die knöchernen Reaktionen erstens auf Höhe der Crista nuchae und zweitens ventrocaudal der Protuberantia occipitalis externa (Lokalisationen 2 und 3) wurden auf Grund ihres meist sehr ähnlichen schmalen Erscheinungsbildes in der Breite nur Längenmaße ermittelt. Dies erfolgte vom dorsalsten (Lokalisation 3) beziehungsweise vom caudalsten Punkt (Lokalisation 2) der Ausziehung bis zum Übergang zum Kortex des Schädelknochens (Abb. 25).



*Abbildung 25: Vermessung einer knöchernen Reaktion („Knochenleist“) zwischen dem ventralem Rand der Protuberantia occipitalis externa und dem Foramen magnum, welche meist im spitzen Winkel zur Crista nuchae ausgerichtet ist, entsprechend Lokalisation 3*

#### 2.5.4. Test zur Überprüfung der Messgenauigkeit

Um die Reproduzierbarkeit der Messungen sicherzustellen wurden fünf wiederholte Messungen bei fünf zufällig ausgewählten Röntgenbildern aus dem Patientenmaterial durchgeführt. Die finale Messung war erreicht, wenn der Variationskoeffizient bei  $< 5\%$  lag.

### 3. Statistik

Die erhobenen Befunde und Signalelementdaten wurden entsprechend der erstellten Legende kodiert und eine statistische Analyse mit Hilfe des Programmes IBM® SPSS® durchgeführt. Es wurde eine deskriptive Analyse über das gesamte Datenmaterial durchgeführt, um einen Überblick über die gesammelten Daten zu gewinnen. Anschließend wurde zur Überprüfung der statistischen Relevanz ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Hierbei wurden Werte von  $p > 0,05$  als nicht signifikant,  $p < 0,05$  als signifikant und  $p < 0,01$  als hochsignifikant bewertet. Bei kleineren Stichprobengrößen wurde der exakte Test nach R.A. Fischer verwendet (Fahrmeier et al. 2003).

---

Zur Bewertung von bestimmten Zusammenhängen erfolgte in einigen Fällen die Berechnung des Bravais Pearson Korrelationskoeffizienten  $r$ . Dieser verdeutlicht die Stärke eines linearen Zusammenhanges zweier Merkmale. Es gelten folgende Bewertungen des Korrelationskoeffizienten  $r$  (Fahrmeier et al. 2003):

- $r < 0,5$  schwache Korrelation
- $r > 0,5$  mittlere Korrelation
- $r > 0,8$  hohe Korrelation

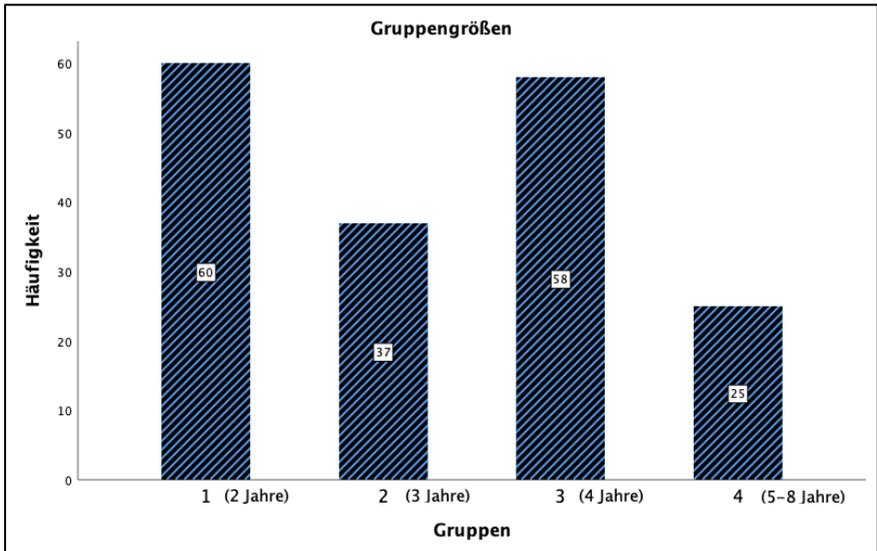


**IV. ERGEBNISSE****1. Probanden**

Bei allen 180 Probanden handelt es sich um Warmblutpferde aus der Sportpferdezucht des Gestüts Lewitz. Nach Einteilung der Pferde in vier Altersgruppen ergaben sich folgende Gruppengrößen:

- Altersgruppe 1 (2 Jahre): n = 60
- Altersgruppe 2 (3 Jahre): n = 37
- Altersgruppe 3 (4 Jahre): n = 58
- Altersgruppe 4 (5-8 Jahre): n = 25

Die durchschnittliche Gruppengröße betrug 45 Probanden auf vier Gruppen verteilt. Von den gesamten Patienten waren 81,1% (146/180) Hengste und 18,9% (34/180) Stuten. Die Gruppe der 4-jährigen Pferde ließ sich noch weiter einteilen in Dressurpferde mit einem Anteil von 60,3% (35/58) und Springpferde mit 39,7% (23/58). Diese Einteilung wurde auf Grund der Zuchtlinie und Ausbildung getroffen.



*Abbildung 26:* Graphische Darstellung der Verteilung der 180 Probanden auf die vier Altersklassen mittels Balkendiagramm

## 2. Befunde

### 2.1. Vorkommen knöcherner Veränderungen

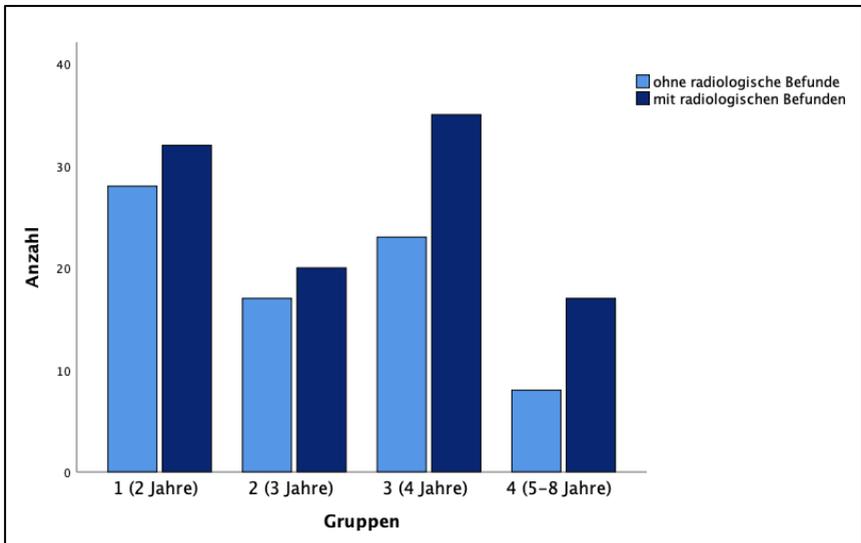
Eines der Hauptziele dieser Studie war die Erhebung von Datenmaterial, die eine Aussage über das Vorkommen, die Lokalisation und Graduierung von radiologischen Verdichtungen im Ansatzbereich des Lig. nuchae bei jungen Warmblutpferden im Alter von zwei bis acht Jahren ermöglichen soll.

Zunächst wurde allgemein das Vorkommen von Röntgenbefunden des Genicks ohne erkennbare radiologische Verdichtungen entsprechend Grad 0 und Röntgendarstellungen mit erkennbaren Verdichtungen entsprechend Grad 1-6 in den vier Altersklassen mittels deskriptiver Statistik analysiert. Insgesamt zeigten 41,7% (75/180) aller Probanden keine knöchernen Reaktion an den oben genannten drei Lokalisationen in der seitlichen Röntgenaufnahme des Genicks. Bei insgesamt 58,3% (105/180) aller Patienten konnte eine

knöcherne Reaktion festgestellt werden. Bei diesen Veränderungen handelt es sich wie oben beschrieben um radiologisch darstellbare Verdichtungen verschiedener Ausmaße an drei festgelegten Lokalisationen im Bereich des knöchernen Genicks. Bei genauer Betrachtung der Anzahl der Pferde mit radiologischem Befund in den einzelnen Altersgruppen fiel auf, dass in allen vier Gruppen der Anteil der Probanden mit Veränderungen höher ist, als der ohne Veränderungen. Der relative Anteil der Pferde mit knöchernen Reaktionen nimmt mit steigendem Alter zu. Gruppe 4 mit den ältesten Pferden zeigte einen Anteil von 68,0% mit radiologischen Veränderungen. Jedoch konnte in Bezug auf das Auftreten von Veränderungen kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,53$ ) in der Häufigkeitsverteilung in den unterschiedlichen Gruppen festgestellt werden.

**Tabelle 2:** Übersichtsdarstellung der Anzahl der Probanden pro Gruppe mit und ohne knöcherne Reaktionen in der seitlichen Röntgenaufnahme des Genicks; Altersklasse 1 = 2-jährig, Altersklasse 2 = 3-jährig, Altersklasse 3 = 4-jährig, Altersklasse 4 = 5-8-jährig

Gruppe		Ohne Befund	Mit Befund	Gesamt
1	Anzahl	28	32	60
	n=60 % in der Gruppe	46,7%	53,3%	100%
2	Anzahl	17	20	37
	n=37 % in der Gruppe	45,9%	54,1%	100%
3	Anzahl	22	36	58
	n=58 % in der Gruppe	37,9%	62,1%	100%
4	Anzahl	8	17	25
	n=25 % in der Gruppe	32,0%	68,0%	100%
Gesamt	Anzahl	75	105	180
	n=180 % in der Gruppe	41,7%	58,3%	100%



*Abbildung 27: Graphische Darstellung der Anzahl der Patienten mit und ohne knöcherner Reaktion im seitlichen Röntgenbild je Gruppe*

#### 2.1.1. Einfluss des Geschlechts

Die genauere Betrachtung des Geschlechts in Bezug auf das Auftreten der genannten radiologischen Verdichtungen zeigte bei beiden Geschlechtern eine ähnliche Verteilung. So wiesen 41,8% (61/146) der Hengste und 44,1% (15/34) der Stuten keine knöchernen Veränderungen in der seitlichen Röntgenaufnahme auf. Ein statistisch signifikanter Unterschied in der Häufigkeitsverteilung konnte nicht festgestellt werden ( $p=0,804$ ).

**Table 3:** Übersichtsdarstellung der Anzahl an Hengsten und Stuten mit und ohne radiologische Verdichtungen in der seitlichen Röntgenaufnahme des Genicks

Geschlecht		Ohne Befund	Mit Befund	Gesamt
<b>Hengst</b>	Anzahl	61	85	146
	n=146	41,8%	58,2%	100%
<b>Stute</b>	Anzahl	15	19	34
	n=34	44,1%	55,9%	100%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	76	104	180
	n=180	42,2%	57,8%	100%

### 2.1.2. Einfluss der sportlichen Nutzung

In der Gruppe der 4-jährigen Probanden konnte eine Einteilung hinsichtlich der sportlichen Nutzung und Zuchtlinie vorgenommen werden und auf das Vorliegen von radiologischen Befunden untersucht werden. So zeigten 45,7% (16/35) der Dressurpferde und 30,4% (7/23) der Springpferde keine knöcherne Reaktion im Genickbereich. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht festgestellt werden ( $p=0,245$ )

**Tabelle 4:** Tabellarische Darstellung der Anzahl an Dressur- und Springpferden mit und ohne radiologische Veränderungen in der seitlichen Röntgenaufnahme des Genicks

Nutzung		Ohne Befund	Mit Befund	Gesamt
<b>Dressur</b>	Anzahl	16	19	35
	n=35	45,7%	54,3%	100%
<b>Springen</b>	Anzahl	7	16	23
	n=23	30,4%	69,6%	100%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	23	35	58
	n=58	39,7%	60,3%	100%

## 2.2. Lokalisationen und Graduierung der Befunde

### 2.2.1. Radiologische Veränderungen an Lokalisation 1a und 1b

Bei der Bestimmung der Lokalisation unter den Probanden mit knöchernen Reaktionen wurde zunächst die Auswertung aller Röntgenbilder an den Lokalisationen 1a und 1b vorgenommen. Eine röntgenologische Verdichtung lag vor, sobald ein Genickgrad größer als Grad 0 eingestuft wurde. Bei insgesamt 56,4% (98/180) Pferden zeigte sich eine radiologische Verdichtung auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa (Lokalisation 1a und 1b) mit unterschiedlichen Ausprägungsgraden. Davon lagen 78,6% (77/180) der knöchernen Reaktionen in der Lokalisation 1a. Insgesamt wiesen 11,7% (21/180) gemessen an der Gesamtzahl der Patienten eine Reaktion bis an die Crista nuchae verlaufend auf (Lokalisation 1b) und 21,4% (21/98) gemessen an der Zahl der Probanden mit Veränderungen an der Lokalisation 1a. Ein statistisch signifikanter Unterschied in der Verteilung der Häufigkeiten bezogen auf die Altersgruppen konnte mittels Chi-Quadrat-Test nicht festgestellt werden ( $p=0,53$ ).

**Tabelle 5:** Häufigkeitsverteilung bei Patienten mit radiologischen Verdichtungen an der Lokalisationen 1a (Protuberantia occipitalis externa) und der Anteil der Reaktionen die bis an die Crista nuchae ziehen (Lokalisation 1b) in den jeweiligen Altersgruppen

Gruppe		1a	1b	Gesamtanteil in der Gruppe
<b>1</b>	Anzahl	25	4	29
	n=60	% in der Gruppe	41,7%	6,7%
<b>2</b>	Anzahl	16	3	19
	n=37	% in der Gruppe	43,2%	8,1%
<b>3</b>	Anzahl	23	10	33
	n=58	% in der Gruppe	39,7%	17,2%
<b>4</b>	Anzahl	13	4	17
	n=25	% in der Gruppe	52,0%	16,0%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	77	21	98
	n=180	% in der Gruppe	42,8%	11,7%



**Abbildung 28:** Röntgenaufnahme des Genicks im sinistro-dextralen Strahlengang des Probanden Nr.60 mit einer knöchernen Reaktion an der Lokalisation 1a im Bereich der Protuberantia occipitalis externa (weißer Pfeil)



**Abbildung 29:** Röntgenaufnahme des Genicks im sinistro-dextralen Strahlengang des Probanden Nr.64 mit einer knöchernen Reaktion an der Lokalisation 1b bis an die Crista nuchae ziehend von der Protuberantia occipitalis externa aus (weißer Pfeil)

### 2.2.2. Graduierung der Befunde an Lokalisation 1a und 1b

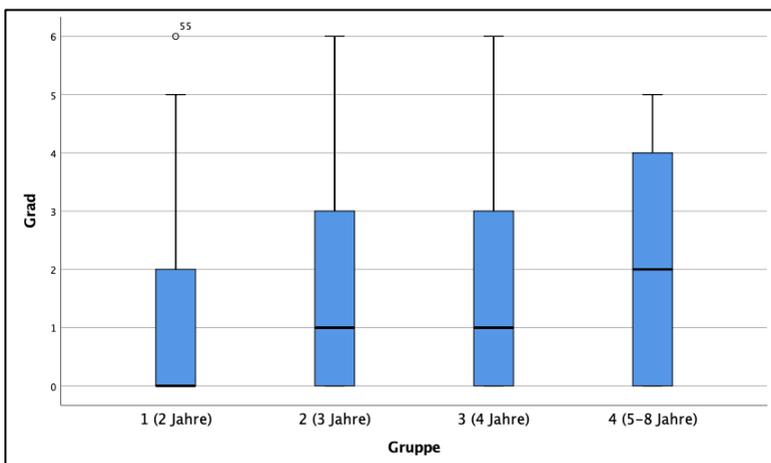
Des Weiteren wurde die Prävalenz der befundlosen Pferde und der einzelnen Befunde an der Protuberantia occipitalis externa in den jeweiligen Altersklassen durch das oben genannte Graduierungssystem bestimmt und auf sechs Grade aufgeteilt. Zur Verdeutlichung der röntgenologischen Einstufung der untersuchten Patienten in die verschiedenen Genickgrade folgt zunächst eine tabellarische Aufstellung in die verschiedenen Grade.

**Table 6:** Tabellarische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Grade der radiologischen Verdichtungen an Lokalisation 1a und 1b in den jeweiligen Altersklassen

Gruppe		0	1	2	3	4	5	6
<b>1</b>	Anzahl	31	7	8	5	3	3	1
	n=60 % in der Gruppe	51,7%	11,7%	13,3%	8,3%	5,0%	5,0%	1,7%
<b>2</b>	Anzahl	18	4	5	5	2	2	3
	n=37 % in der Gruppe	48,6%	10,8%	13,5%	13,5%	5,4%	5,4%	8,1%
<b>3</b>	Anzahl	25	8	8	5	1	9	2
	n=58 % in der Gruppe	44,8%	13,8%	13,8%	8,6%	1,7%	15,5%	3,4%
<b>4</b>	Anzahl	8	2	3	5	3	4	0
	n=25 % in der Gruppe	32,0%	8,0%	12,0%	20%	12,0%	16,0%	0,0%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	83	21	23	20	18	18	6
	n=180 % in der Gruppe	46,1%	11,7%	12,8%	11,1%	10,0%	10,0%	3,3%

Es zeigte sich, dass das Vorkommen von Pferden ohne radiologische Verdichtungen in der

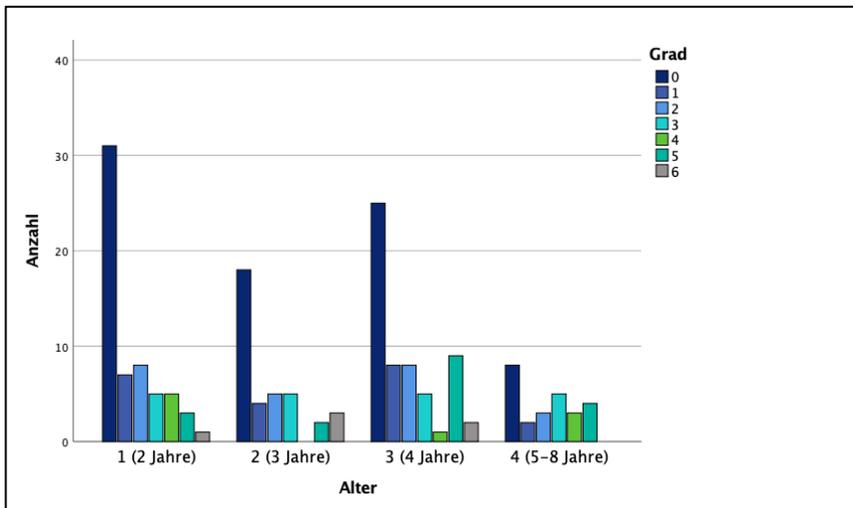
seitlichen Röntgenaufnahme des Genicks mit steigendem Alter abnimmt und die Anzahl der Pferde mit Abweichungen von der Norm mit dem Alter zunimmt. Um den Zusammenhang zwischen röntgenologischer Bewertung und Einstufung in Genickgrade mit dem Alter zu verdeutlichen wurde der Bravais-Pearson Korrelationskoeffizient berechnet. Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p=0,049$ ) zwischen Alter und Vorkommen der verschiedenen Ausprägungsgrade ermittelt werden. Der Korrelationskoeffizient ( $r=0,15$ ) zeigte eine schwache Korrelation.



**Abbildung 30:** Grafische Darstellung der Verteilung der Genickgrade in den einzelnen Altersklassen mittels Boxplot-Diagramm; es konnte nur ein Ausreißer festgestellt werden (Proband Nr. 55 in Gruppe 1)

Bei der genaueren Betrachtung der Pferde ohne Abweichung von der Norm im Bereich der Protuberantia occipitalis externa, entsprechend dem Grad 0, konnten insgesamt 46,1% (83/180) der Probanden dieser Befundklasse zugeordnet werden. Die Prävalenz der Befundklasse 0 nahm mit steigendem Alter ab und lag in der Altersgruppe 1 am höchsten mit 51,7% (31/60). In der Gruppe 4 zeigten nur noch 32% (8/25) der Patienten keine Abweichungen von der Norm. Mittels des Bravais Pearson Korrelationstestes zeigte sich ein stark signifikanter negativer Zusammenhang ( $r=-0,947$ ;  $p=0,026$ ) zwischen dem Auftreten von Grad 0 und dem Alter.

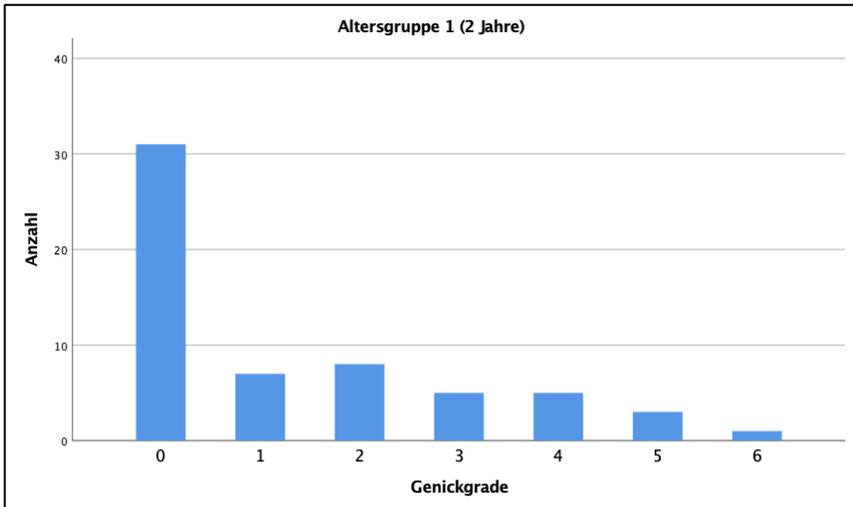
Im Weiteren Verlauf dieser Arbeit folgt eine Beschreibung des Auftretens der Befunde getrennt nach Altersgruppen aufgrund der röntgenologischen Bewertung.



**Abbildung 31:** Grafische Übersichtsdarstellung der Verteilung der einzelnen Genickgrade in den jeweiligen Altersgruppen im Bereich der Protuberantia occipitalis externa

#### 2.2.2.1. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 1

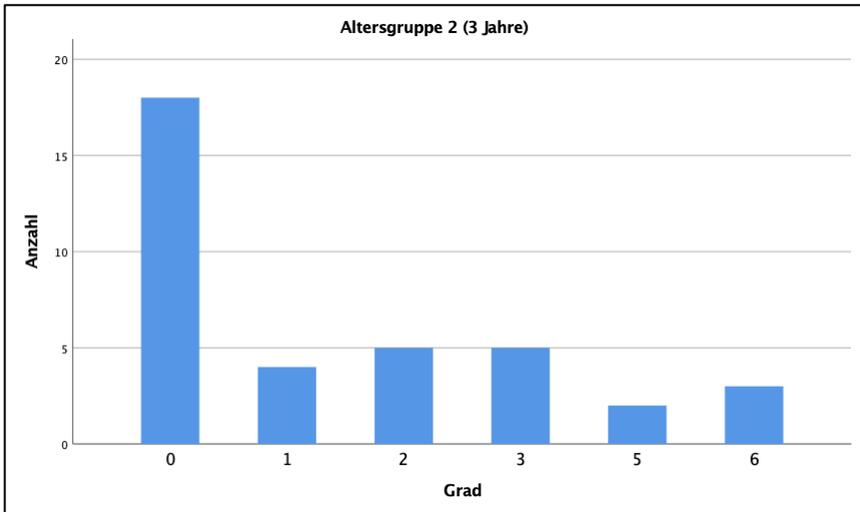
Allein in der Altersgruppe 1 konnte eine Mehrheit an Probanden ohne Abweichungen von der Norm festgestellt werden mit 51,7% (31/60) (Abb.31). Die Beurteilung und Zuordnung der Probanden mit radiologischen Verdichtungen in die entsprechenden Grade zeigte, dass der Hauptanteil der Verdichtungen mit 13,3% (8/60) dem Grad 2 zuzuordnen war. Hochgradige Befunde konnten nach Auswertung der Röntgenaufnahmen in nur wenigen Fällen beobachtet werden. So zeigte sich bei Grad 4 ein prozentualer Anteil von 8,3% (5/60) und bei Grad 5 ein Anteil von 5 % (3/60). Nur ein Proband aus Gruppe 1, Nr. 55, konnte dem Grad 6 zugeordnet werden in Gruppe 1, welches einen Anteil von 1,7% (1/60) ergab. Mittels Boxplot Diagramm stellte er sich in Bezug auf die Gesamtbeurteilung als einziger Ausreißer da (Abb.30).



*Abbildung 32: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade bei Probanden der Altersgruppe 1 (2-jährig) mittels Balkendiagramm*

#### 2.2.2.2. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 2

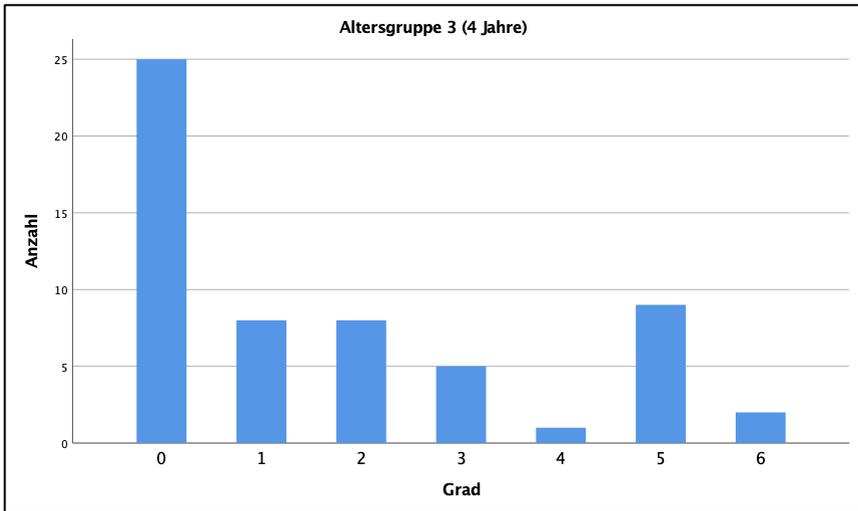
Bei der Beurteilung der Röntgenbilder der 3-jährigen Pferde fiel auf, dass der Anteil der Patienten ohne Abweichungen von der Norm mit 48,6% (18/37) weniger als die Hälfte der Patienten der Gruppe betraf. Die größten prozentualen Anteile an Graden mit Abweichungen von der Norm waren Grad 2 und 3 mit je 13,5% (5/37) zuzuordnen. Dem Genickgrad 4 konnte in der Altersgruppe 2 kein Patient zugeordnet werden. Das Balkendiagramm (Abb.33) verdeutlicht, dass in den beiden Genickgraden mit hochgradigen radiologischen Verdichtungen der prozentuale Anteil bei Grad 6 mit 8,1% (3/37) höher ist als bei Grad 5 mit 5,4% (2/37). Somit weist die Altersklasse 2 den höchsten prozentualen Anteil an knöchernen Reaktionen des Genickgrades 6 auf im Vergleich zu den übrigen Altersklassen.



*Abbildung 33: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade bei Probanden der Altersgruppe 2 (3-jährige) mittels Balkendiagramm*

### 2.2.2.3. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 3

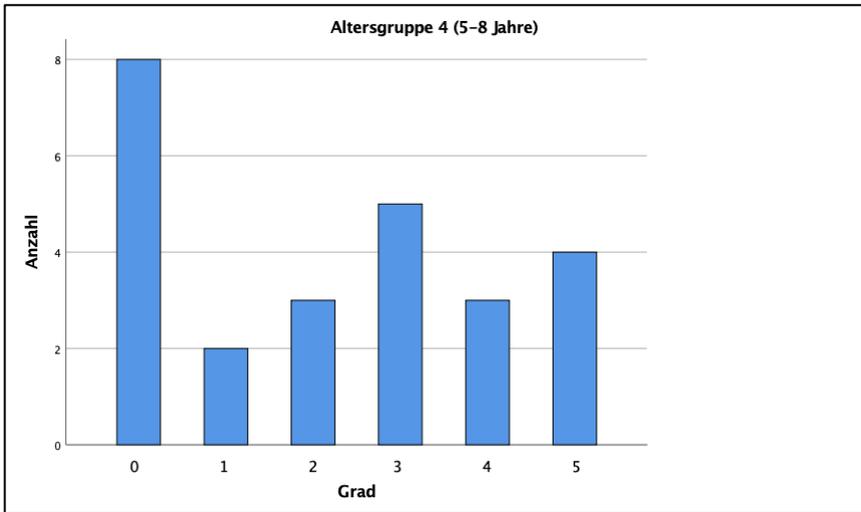
Bei der Auswertung der Röntgenbilder der 4-jährigen Pferde waren 44,8% (25/58) der Patienten dem Grad 0 zuzuordnen. Durch das Balkendiagramm (Abb. 34) wird deutlich, dass Grad 5 den größten prozentualen Anteil an Pferden mit Verdichtungen im Röntgenbild mit 15,5% (9/58) aufweist. Der Anteil der Pferde, die dem Grad 6 mit hochgradigen Reaktionen zuzuteilen sind, beträgt 3,4% (2/58). Ein großer Teil der Probanden ist in dieser Altersgruppe allerdings auch den geringgradigen Befunden zuzuordnen, Grad 1 und 2 zeichnen sich jeweils durch einen prozentualen Anteil von 13,8% (8/58) aus.



*Abbildung 34: Grafische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade in der Altersgruppe 3 (4-jährig) mittels Balkendiagramm*

#### **2.2.2.4. Statistische Auswertung radiologischer Befunde der Gruppe 4**

Die Auswertung der Röntgenbilder der 5- bis 8-Jährigen ergab den geringsten Anteil an Probanden ohne radiologische Verdichtungen im Genickbereich 32% (8/25) im Vergleich zu den übrigen Gruppen. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Probanden mit röntgenologischen Abweichungen von der Norm lag der prozentuale Anteil am höchsten bei Grad 3 mit 20% (5/20), gefolgt von Grad 5 mit 12% (4/25). Eine weitere Auffälligkeit war, dass zwar insgesamt im Bereich mit hoch- und mittelgradigen Befunden mehr Pferde auffällig gewesen sind, aber keiner der Probanden dem Grad 6 zugeordnet werden konnte. Insgesamt konnten bei der Begutachtung nur wenige Probanden dem Grad 1 zugeordnet werden 8% (2/25).



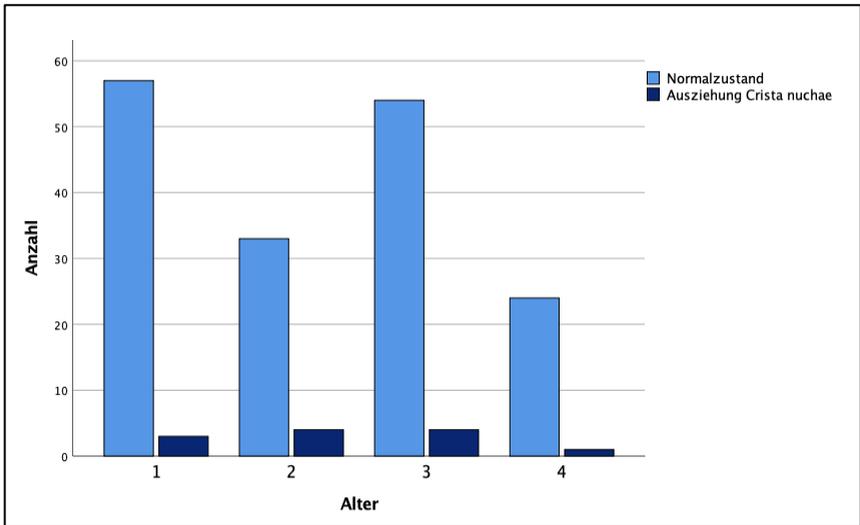
**Abbildung 35:** Grafische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade in der Altersgruppe 4 (5-8-jährig) mittels Balkendiagramm

### 2.2.3. Radiologische Veränderungen an Lokalisation 2

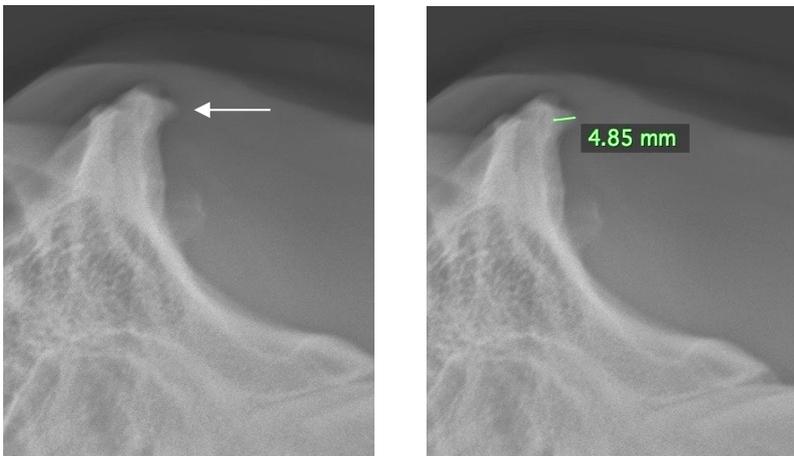
Eine röntgendichte Ausziehung der Crista nuchae konnte bei insgesamt 6,9% (12/180) aller Equiden festgestellt werden. Bei dieser Veränderung handelt es sich im Allgemeinen um eine Ausziehung der Crista nuchae nach caudal von unterschiedlicher Länge und Form. Meist zeigte sie ein triangelförmiges Erscheinungsbild in unterschiedlicher Breite, wobei die Kontur stets glatt war. Die Länge reichte von 0,23 cm bis zu 1,35 cm (Mittelwert = 0,61 cm;  $s = 0,395$ ). In Bezug auf das Alter konnte kein signifikanter Unterschied im Auftreten der Ausziehung festgestellt werden ( $p=6,64$ ), der prozentuale Anteil in der Gruppe 2 war mit 10,8% (4/37) am höchsten und in Gruppe 4 mit 4% (1/25) am niedrigsten.

**Table 7:** Tabellarische Darstellung der Verteilung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der *Crista nuchae* (Lokalisation 2) auf die Altersklassen; Altersklasse 1 = 2-jährig, Altersklasse 2 = 3-jährig, Altersklasse 3 = 4-jährig, Altersklasse 4 = 5-8-jährig

Gruppe		Normzustand	mit Ausziehung	gesamt
<b>1</b>	Anzahl	57	3	60
	n=60	% in der Gruppe	95%	5%
<b>2</b>	Anzahl	33	4	37
	n=37	% in der Gruppe	89,2%	10,8%
<b>3</b>	Anzahl	54	4	58
	n=58	% in der Gruppe	93,1%	6,9%
<b>4</b>	Anzahl	24	1	25
	n=25	% in der Gruppe	96,0%	4%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	168	12	180
	n=180	% in der Gruppe	93,3%	6,7 %



**Abbildung 36:** Grafische Gegenüberstellung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae (Lokalisation 2) in den verschiedenen Altersklassen; Altersklasse 1 = 2-jährig, Altersklasse 2 = 3-jährig, Altersklasse 3 = 4-jährig, Altersklasse 4 = 5-8-jährig



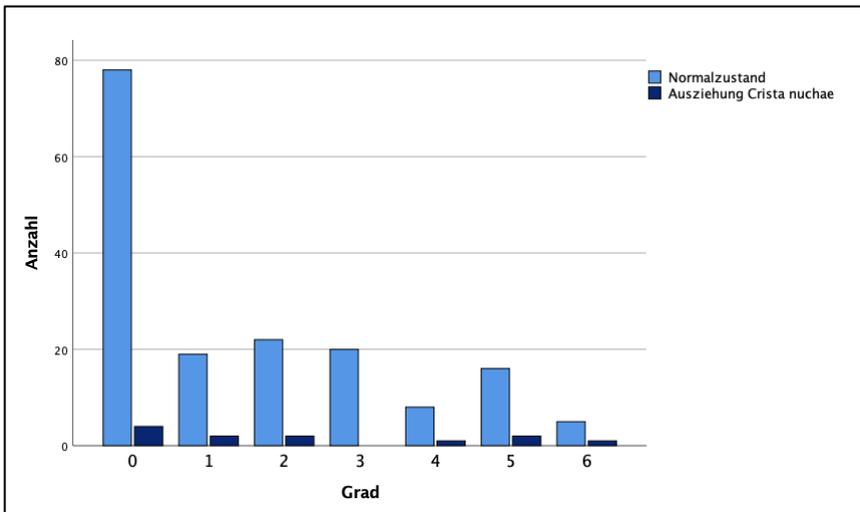
**Abbildung 37:** Röntgenologische Darstellung einer triangelförmigen Ausziehung der Crista nuchae des Patienten Nr. 107 entsprechend Lokalisation 2; links ohne Vermessung (weißer Pfeil), rechts mit Vermessung (grün)

Bei der Betrachtung der Pferde mit Ausziehung an der *Crista nuchae* in Bezug auf das Auftreten in Kombination mit Befunden an den Lokalisationen 1a und 1b fiel auf, dass bei den Pferden mit einer Reaktion von Grad 3 keiner der Patienten eine knöchernen Ausziehung an der *Crista nuchae* zeigte. Es konnte kein signifikanter Unterschied im Vorkommen einer Ausziehung an der *Crista nuchae* zusammen mit den unterschiedlichen Befundklassen festgestellt werden ( $p=0,69$ ).

**Tabelle 8:** Tabellarische Darstellung der Verteilung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der *Crista nuchae* (Lokalisation 2) auf die einzelnen Befundklassen Grad 0-6 an der Lokalisationen 1a und 1b (*Protuberantia occipitalis externa*)

Grad		Normzustand	Mit Ausziehung	Gesamt
0	Anzahl	78	4	60
	n=82 % in der Gruppe	95,1%	4,9%	100%
1	Anzahl	19	2	21
	n=21 % in der Gruppe	90,5%	9,5%	100%
2	Anzahl	22	2	58
	n=24 % in der Gruppe	91,7%	8,3%	100%
3	Anzahl	20	0	20
	n=20 % in der Gruppe	100%	0%	100%
4	Anzahl	8	1	9
	n=9 % in der Gruppe	88,9%	11,1%	100,0 %
5	Anzahl	16	2	18
	n=18 % in der Gruppe	88,2%	11,1%	100%

<b>6</b>	Anzahl	5	1	6
	n=6	% in der Gruppe	83,3%	16,7%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	168	12	180
	n=180	% in der Gruppe	93,3%	6,7%



**Abbildung 38:** Grafische Gegenüberstellung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae in den einzelnen Befundklassen Grad 0-6

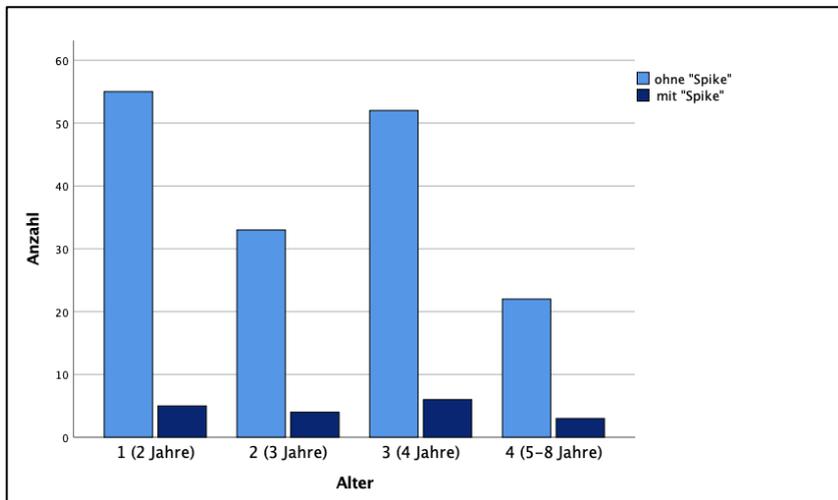
#### 2.2.4. Radiologische Veränderungen an Lokalisation 3

Eine knöcherne Reaktion (Knochenleist) zwischen dem ventralen Rand der Protuberantia occipitalis externa und dem Foramen magnum konnte bei insgesamt 10,0% (18/180) aller Probanden festgestellt werden. Bei dieser Veränderung handelt es sich in allen Fällen um eine schmale und im spitzen Winkel zur Crista nuchae ausgerichtete knöcherne Erhabenheit. Die Kontur stellte sich in allen 18 Fällen glatt da (Abb.35). Sie stellt sich mit einer

durchschnittlichen Länge von 5,6 mm dar ( $s=1,86$ ), wobei die kleinste Erhabenheit mit 2,50 mm (Proband Nr. 5) und die größte 9,81 mm (Proband Nr. 137) vermessen wurde. Ein signifikanter Unterschied bezüglich des Vorkommens der beschriebenen knöchernen Reaktion in den jeweiligen Altersklassen konnte mittels Chi-Quadrat-Test ( $p=0,95$ ) nicht gezeigt werden.

**Tabelle 9:** Häufigkeitsverteilung des Vorkommens eines Knochenleistes an Lokalisation 3 in den jeweiligen Altersgruppen; Altersklasse 1 = 2-jährig, Altersklasse 2 = 3-jährig, Altersklasse 3 = 4-jährig, Altersklasse 4 = 5-8-jährig

Gruppe		Ohne Knochenleist	Mit Knochenleist	gesamt
<b>1</b>	Anzahl	55	5	60
	n=60	% in der Gruppe	91,7%	8,3%
<b>2</b>	Anzahl	33	4	37
	n=37	% in der Gruppe	89,2%	10,8%
<b>3</b>	Anzahl	52	6	58
	n=58	% in der Gruppe	89,7%	10,3%
<b>4</b>	Anzahl	22	3	25
	n=25	% in der Gruppe	88,0%	12,0%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	162	18	180
	n=180	% in der Gruppe	90,0%	10,0 %



*Abbildung 39: Grafische Darstellung der Verteilung der Patienten mit Knochenleist auf die jeweiligen Altersklassen*



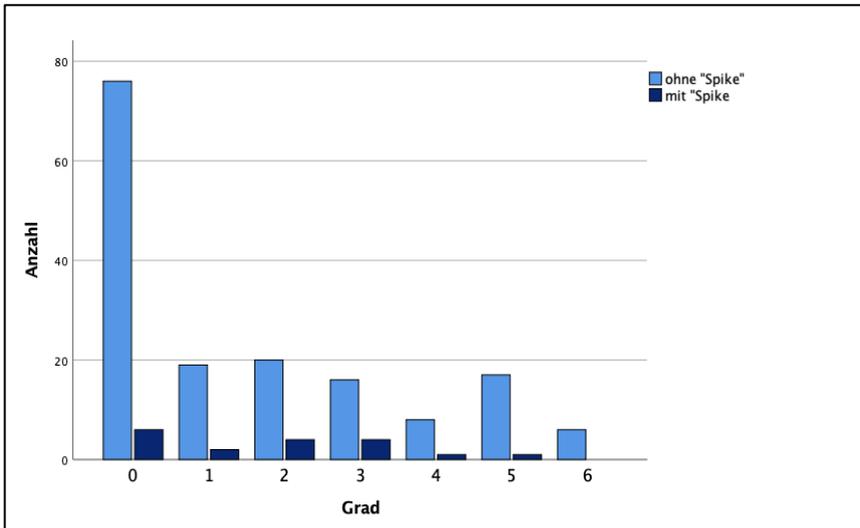
*Abbildung 40: Seitliches Röntgenbild des Pferdes Nr.62 mit einem Knochenleist (weißer Pfeil) entsprechend der Lokalistaion 3, mit craniodorsaler Ausrichtung*

---

Bei 33,3 % (6/18) der betroffenen Pferde konnte ein Knochenleist ohne weitere knöcherner Reaktionen an den Lokalisationen 1 oder 2 festgestellt werden. Hingegen zeigte sich der Knochenleist in 66,7% (n=12) der Fälle als zusätzlicher Befund zur Reaktion an der Protuberantia occipitalis externa (Abb. 40). Den größten prozentualen Anteil zeigte sich bei Grad 3 mit 20,0% (4/20). In Befundgruppe Grad 6 hingegen konnte bei keinem der Patienten ein Knochenleist bei der Befundung festgestellt werden. Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Auftreten des Knochenleists im Zusammenhang mit den Befunden an der Lokalisation 1a und 1b mit dem Signifikanztest nach Fischer festgestellt werden ( $p=0,89$ ). Ein zeitgleiches Auftreten von Befunden an der Lokalisation 2 und 3 konnte bei keinem der untersuchten Pferde verzeichnet werden.

**Tabelle 10:** Häufigkeitsverteilung des Vorkommens eines Knochenleist (Lokalisation 3) in den jeweiligen Graden

<b>Grad</b>		<b>Ohne Kochenleist</b>	<b>Mit Knochenleist</b>	<b>gesamt</b>
<b>0</b>	Anzahl	76	6	82
	n=82 % in der Gruppe	92,7%	7,3%	100%
<b>1</b>	Anzahl	19	2	21
	n=21 % in der Gruppe	90,5%	9,5%	100%
<b>2</b>	Anzahl	20	4	58
	n=24 % in der Gruppe	83,3%	16,7%	100%
<b>3</b>	Anzahl	16	4	20
	n=20 % in der Gruppe	80,0%	20,0%	100%
<b>4</b>	Anzahl	8	1	9
	n=9 % in der Gruppe	88,9%	11,1%	100,0%
<b>5</b>	Anzahl	17	1	18
	n=18 % in der Gruppe	94,4%	5,6%	100%
<b>6</b>	Anzahl	6	0	6
	n=6 % in der Gruppe	100,0%	0,0%	100%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	162	18	180
	n=180 % in der Gruppe	90,0%	10,0%	100%

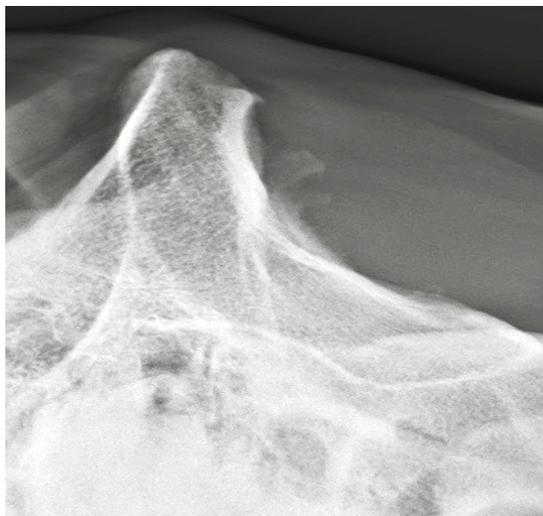


**Abbildung 41:** Grafische Darstellung der Verteilung der Patienten mit (dunkelblau) und ohne (hellblau) Knochenleist in Bezug auf die jeweiligen Grade

### 2.2.5. Besondere Auffälligkeiten bei der Befundung

Bei der Befundung der radiologisch sichtbaren Reaktionen auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa fiel ein stark unterschiedliches Erscheinungsbild insbesondere bei Probanden, die dem Grad 2 zugeteilt wurden, auf. Bei Proband Nr. 89 (Abb. 42) zeigte sich eine spitz verlaufende zweizipflige Form der knöchernen Reaktion mit einer glatten Kontur. Eine insgesamt deutlich breiter aufsitzende Ausprägung wurde bei Proband Nr. 127 (Abb. 43) festgestellt, wobei sich hier auch eine teilweise unruhige Kontur und eine inhomogene Struktur zeigte.

Weiter wurde bei Proband Nr. 78 (Abb. 44) ein zusätzlicher Befund caudo-ventral der Reaktion auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa festgestellt. Es handelt sich um eine ovale Verdichtung, welche keine Anhaftung an das Hinterhauptbein aufwies.



*Abbildung 42: Röntgenbild des Probanden Nr. 89 mit einer spitz und zweizipflig verlaufenden Reaktion auf Höhe der Protuberantia occipitalis externa*



*Abbildung 43: Röntgenbild des Probanden Nr. 127, dessen knöcherne Reaktion breit erscheint mit einer inhomogenen Struktur und unruhigen Kontur*



**Abbildung 44:** Röntgenbild des Probanden Nr. 78 mit einer länglichen Verdichtung caudo-ventral der Protuberantia occipitalis externa (weißer Pfeil)

## **V. DISKUSSION**

### **1. Auswertungskriterien**

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war zum einen das Vorkommen von röntgenologisch feststellbaren knöchernen Reaktionen an der Protuberantia occipitalis externa bei jungen und untrainierten Pferden und deren verschiedenen Ausprägungsgrade im Verlauf der Ausbildung zu dokumentieren. Zum anderen sollte das Vorkommen von weiteren Zubildungen außerhalb der Protuberantia occipitalis externa eingehender untersucht werden. Die Feststellungen sollten neben der Erlangung klinisch-radiologischer Erkenntnisse zu einer Vorstellung über die „übliche Beschaffenheit“ dieser Region bei röntgenologischen Kaufuntersuchungen beitragen.

#### **1.1. Probanden**

Zur Anfertigung dieser Arbeit wurden Röntgenaufnahmen des Genicks von 180 Pferden ausgewertet. Eine klinisch orthopädische Beurteilung der Pferde mit genauer Untersuchung des Genickbereiches erfolgte auf Grund des Studiendesigns nicht. Auch eine Erhebung eines auf die Rittigkeit bezogenen Vorberichtes bei den schon im Training befindlichen Pferden wurde nicht erhoben. Beide Faktoren sind sehr stark von der Kooperation des Pferdes und der subjektiven Einschätzung des Reiters abhängig. Besonders bei jungen Pferden zu Beginn der Ausbildung ist dies schwer zu beurteilen und zu quantifizieren. Bei vergleichbaren Studien wurde die Rittigkeit, als Beurteilungskriterium mit in die Auswertung einbezogen, wobei dort Pferde vor allem höherer Altersklassen und Ausbildungsstände mit in die Auswertung einbezogen wurden (Hüntemann 2006, Nowak 2001). Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Untersuchung von jungen Pferden lag, wurde aus den oben genannten Gründen die Rittigkeit nicht mit in die Auswertung einbezogen.

Die Probanden der vorliegenden Arbeit sind bezogen auf Rasse, Ausbildung und exogenen Faktoren eine im Vergleich zu anderen Studien eher homogene Gruppe. Diese repräsentiert in ihrer Zusammensetzung das deutsche Warmblutpferd in der reiterlichen Ausbildung. Da das Probandengut nur auf Pferde des Gestüts Lewitz beschränkt war, konnten nur junge Pferde einbezogen werden, welche einer reiterlichen Ausbildung unterzogen wurden, beziehungsweise unterzogen werden sollten. Somit konnte kein Vergleich zu Gruppen gleichen

Alters ohne reiterliche Nutzung durchgeführt werden. Es wurden, wie zuvor beschrieben, innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens Pferde aus verschiedenen Gruppen und Altersklassen untersucht. Verlaufsuntersuchungen der einzelnen Probanden während der Ausbildung wurden nicht durchgeführt. Hinsichtlich der reiterlichen Nutzung ist dies jedoch ein wichtiges Beurteilungskriterium, welches auch in vergleichbaren Studien noch bisher nicht untersucht wurde.

## **1.2.           Aufnahmetechnik und Methode**

Die erstellten Röntgenaufnahmen wurden wie beschrieben am stehenden und sedierten Pferd angefertigt. Die Sedation der Patienten für die Anfertigung des Röntgenbildes des Genicks und der oberen Halswirbelsäule ist nützlich, da das Pferd sich weniger bewegt und es die Tendenz hat, Hals und Kopf zu senken (Dyson 2003). In der Mehrzahl aller Fälle konnten die Aufnahmen im Rahmen der röntgenologischen Kaufuntersuchung zügig und in ausreichender Qualität erstellt werden.

Aus der praktischen Untersuchung des caudalen Anteils des Os occipitale in der seitlichen Aufnahmerichtung wird deutlich, dass eine physiologische Kopf-Hals-Haltung wichtig ist, um eine reproduzierbare und vergleichbare Röntgenaufnahme zu erstellen. Für eine sorgfältige und genaue Beurteilung des Ansatzes des Lig. nuchae muss auf eine streng orthograde Darstellung des Hinterhauptsteins geachtet werden. In einigen Fällen, vor allem bei den jüngeren Probanden, wurde beobachtet, dass selbst sedierte Pferde nicht problemlos geröntgt werden konnten. Einige der jungen Pferde mussten auf Grund großer Schreckhaftigkeit stark sediert werden, so dass eine physiologisch ausgerichtete Kopf-Hals-Haltung und eine in der Längsachse gerade Hals-Körper-Haltung bei einigen wenigen Pferden nur annäherungsweise einzuhalten war. Dies hat den Nachteil, dass das Pferd den Hals im Vergleich zum normalen Stand stark senken kann, was zu einer Veränderung der Stellung der Halswirbel zueinander führt (Bernier, 2013; Butler et al. 2017). In der vorliegenden Studie konnte es in diesem Fall zu einer Überlagerung des caudalen Anteils des Os occipitale mit dem Condylusbereich führen. Eine Hilfe für eine korrekte Positionierung in einem solchen Fall kann eine schulterhohe Auflage sein. Um die Schreckhaftigkeit zu reduzieren und den Einsatz von Sedativa zu minimieren, beschreiben einige Autoren den Einsatz von Ohrenstöpseln und Augenabdeckungen (Butler et al. 2017). In dieser Untersuchung wurde auf Grund des jugendlichen Alters der Probanden auf diese Maßnahmen verzichtet, da diese bei unerfahrenen

Pferden zu starker Gegenwehr hätte führen können.

Einige Probanden zeigten durch die Sedativa bedingte Exzitationen und eine schlechte Standfähigkeit, welches schnell zu Bewegungsartefakten führte. Um Bewegungsartefakte insgesamt etwas zu minimieren und eine korrekte Ausrichtung des Pferdes zu gewährleisten wird beschrieben, dass eine Lagerung des Kopfes auf einem Kopfständer und das Verbringen des Pferdes in einen Untersuchungsstand hilfreich sein können (Butler, et al. 2017). Auch auf diese Maßnahmen wurden auf Grund des jugendlichen Alters und der Unerfahrenheit der Probanden verzichtet. Trotz des Nachteils von möglichen Exzitationen wurde auf eine Sedation nicht verzichtet, da sich selbst ruhige Pferde durch die ungewohnte Situation stark irritieren ließen, so dass eine Wiederholung einzelner Röntgenaufnahmen der Kaufuntersuchung häufiger hätten notwendig werden können. Dies wird aus strahlenschutztechnischen Gründen als problematisch angesehen. Des Weiteren stellt es eine erhöhte Gefahr für Personal und Einrichtungsgegenstände dar.

Zur Vermessung der knöchernen Reaktionen am Hinterhauptsbein wurde analog zur Technik der Messung einer Exostose am distalen Radius nach WRIGHT & MINSHALL (2011) vorgegangen. Diese Technik erlaubt es, unterschiedliche Kontur- und Flächenverläufe vergleichbar zu vermessen. Dies sollte helfen eine standardisierte Vermessung von knöchernen Reaktionen zu gewährleisten, da diese unterschiedlichen Konturen und Formen aufwiesen. Ein weiterer Punkt für den Einsatz dieser Methode war die unterschiedliche Art der Konkavität des Os occipitale. Dies war hilfreich, um genaue Eckpunkte für die Vermessung zu erhalten. Durch die Überprüfung auf die Wiederholbarkeit konnte vor Beginn der Auswertung mit Hilfe dieser Methode eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse gut gezeigt werden. Unregelmäßigkeiten in Form und Kontur der Exostosen beeinflussten das Messergebnis auf diese Weise nicht negativ. Für die Bearbeitung der Fragestellung in dieser Arbeit ist diese Methode als sehr praktikabel anzusehen. Ein Vorteil dieser Messmethode im Allgemeinen ist, dass sie auf Grund der einfachen Vermessung der Strukturen mit nahezu jedem Röntgenbetrachtungssystem durchzuführen ist. Ein Nachteil ist, dass die Gesamtfläche der knöchernen Reaktionen in der seitlichen Röntgenaufnahme nicht mit berechnet werden konnten. Schwierigkeiten hierbei sind die oben genannten unterschiedlichen Konkavitäten des Os occipitale und die teils sehr unregelmäßigen Konturen der Exostosen, die eine Berechnung stark erschweren.

Zur Beurteilung der knöchernen Veränderungen an der Lokalisation 1 a und 1 b wurde ein Klassifizierungsschema nach HÜNTEMANN (2006) angewendet, welches in einigen wenigen

Punkten modifiziert wurde. Bei streng orthograder Darstellung des Genickbereiches ist dies ein einfach zu beurteilender Bereich, da kaum Überlagerungen von Strukturen vorliegen. Auch geringgradige Veränderungen können gut beurteilt werden.

## **2. Radiologische Veränderungen im Genickbereich**

### **2.1. Vorkommen radiologischer Verdichtungen**

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen ein geringeres Vorkommen von Reaktionen des hinterhauptsnahen cervikalen Weichteilgewebes, die als knöcherne Reaktionen gedeutet werden, als vorangegangene Studien (Engel 2010; Hüntemann 2006; Nowak 2001; Weiler 2001; Wilsmann 2016). So konnte bei insgesamt 53,3% (105/180) der Pferde eine radiologische Veränderung festgestellt werden. Hingegen wies WEILER (2001) bei 80% seines Untersuchungsgutes und HÜNTEMANN (2006) bei 79,5% deutliche knöcherne Erhabenheiten im Genickbereich auf, während NOWAK (2001) sogar bei 85% seiner Probanden Veränderungen dieser Art feststellen konnte. Bei genauerer Betrachtung der Zusammensetzung des Patientgutes hinsichtlich des Alters der einzelnen Studien fällt auf, dass sich das Alter der Probanden der vorliegenden Studie deutlich von dem der Vergleichsstudien unterscheidet. Die Zusammensetzung der teilnehmenden Probanden der Vergleichsstudien weist eine größere Altersspanne auf mit insgesamt wenigen jungen Pferden unter 4 Jahren. Die größte angegebene Spannweite liegt bei 6 bis 26 Jahren (Weiler 2001). Der Schwerpunkt der vorliegenden Studie lag bei heranwachsenden Pferden im Alter von 2 bis 8 Jahren, sowohl vor Beginn als auch mit Beginn der reiterlichen Ausbildung. Der Anteil der zweijährigen und ungerittenen Pferde lag bei 33,3% (60/180). Dies spiegelt im Vergleich zu anderen Studien ein deutlich jüngeres Patientengut wider, wobei nur NOWAK (2001) auch junge und ungerittene Pferde in seine Studie mit aufgenommen hat.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von knöchernen Veränderungen bezogen auf das Geschlecht oder die Nutzungsrichtung konnte in dieser Studie nicht festgestellt werden. Dies kann durch die ungleiche Verteilung der Hengste (n=146) und Stuten (n=34) bedingt sein. Auch in vorhergegangenen Studien konnte kein signifikanter Zusammenhang zum Vorkommen von Exostosen bezogen auf das Geschlecht gefunden werden (Hüntemann 2006; Weiler 2001). Bei der Untersuchung auf einen Zusammenhang zur Nutzungsrichtung lagen nur Daten der 4-jährigen Pferde vor: für Springreiten (n=23) und Dressurreiten (n=35). Auch hier zeigte sich

wie in einer älteren Studie kein signifikanter Zusammenhang (Hüntemann 2006). Jedoch zeigte HÜNTEMANN (2006), dass Freizeitpferde eine höhere Prävalenz für knöcherne Veränderungen zeigen gefolgt von Pferden, die im Dressur-, Fahr-, Voltigier-, Trab- und Springsport genutzt werden.

- **Radiologische Verdichtungen Lokalisation 1**

Das Hauptaugenmerk und der am häufigsten beobachtete Befund dieser Studie war die Reaktion an der Lokalisation 1. Bei der Auswertung der Röntgenbilder zeigte sich, dass die Prävalenz der Pferde ohne radiologische Verdichtungen an der Protuberantia occipitalis externa, entsprechend der Lokalisation 1a und b, mit dem Alter abnimmt. In der Altersgruppe 1 zeigten noch 51,7% der Probanden keine knöchernen Erhabenheiten, während in Gruppe 4 mit den ältesten Probanden nur noch 32% keine Abweichungen von der Norm zeigten. Dieser Zusammenhang stellte sich als statistisch signifikant dar ( $p=0,024$ ). Bei der Betrachtung der Verteilung der Grade 0 bis 6 in den einzelnen Altersgruppen fiel auf, dass auch schon bei jungen und untrainierten Pferden im Alter von 2 Jahren Befunde der mittel- bis hochgradigen Reaktionen zu finden waren. Es konnten 8,3% dem Grad 4 und 5% dem Grad 5 zugeordnet werden. Ein Patient zeigte sogar Reaktionen von Grad 6, welcher sich allerdings statistisch als Ausreißer darstellte. Zum anderen zeigte die Auswertung, dass der Anteil der Pferde ohne röntgenologische Befunde entsprechend Grad 0 mit dem Alter wie oben genannt sinkt und der Anteil an mittel- und hochgradigen Reaktionen deutlich zunimmt. So lag der Anteil der Pferde mit Befunden des Grades 5 bei den 4-jährigen Pferden bei 15,5%, hingegen der Anteil der Grade 1 und 2 nur bei 13,8%. Bei den Probanden der 5 bis 8-jährigen Pferde konnte zwar kein Befund dem Grad 6 zugeordnet werden, jedoch 12 % der Pferde dem Grad 5. Bei dem Ergebnis der Altersgruppe 4 muss bedacht werden, dass diese im Verhältnis zu den anderen Gruppen in der Anzahl der Probanden kleiner war.

Neben der Veränderung an Lokalisation 1 zeigten sich bei insgesamt 6,9% aller Probanden radiologische Verdichtungen an der Lokalisation 2, mit dem höchsten Auftreten bei den 3-jährigen Pferden. Sie zeigten durchweg ein triangelförmiges bis längliches Erscheinungsbild von der Crista nuchae nach caudal reichend. In nur einem Fall konnte ein weiteres Vorliegen einer Verdichtung an der Lokalisation 1a festgestellt werden.

- **Radiologische Verdichtungen Lokalisation 2 und 3**

Eine radiologisch sichtbare Ausziehung an der Lokalisation 3 konnte bei 10% aller Pferde

festgestellt werden. Für die Lokalisationen 2 und 3 konnte kein Zusammenhang mit dem Alter gezeigt werden. In der Literatur wurde diese Einteilung der knöchernen Reaktion an den drei verschiedenen Lokalisationen erstmalig von NOWAK et al. (1995) und WEILER (2001) beschrieben. Nach damaligen Einschätzungen spiegeln die auftretenden Variationen die räumliche Breite des Ansatzes des Funiculus nuchae und seinen Aufzweigungen wider (Nowak et al. 1995). Allerdings lassen genauere Betrachtungen der anatomischen Strukturen im Genickbereich diese Ansicht kritisch hinterfragen. So zeigte WEILER (2001) durch topographisch-anatomische Untersuchungen des Lig. nuchae speziell im Genickbereich, dass der Hauptteil des Funiculus nuchae rein an der Protuberantia occipitalis externa ansetzt und entsprechend eine rhomboide Form besitzt. Die anatomische Ausdehnung des Insertionsbereiches unterscheidet sich in den verschiedenen Beschreibungen, wofür es bis heute keine eindeutige Erklärung gibt (Budras und Röck 1994; Nickel et al. 2004; Weiler 2001). Diese anatomischen Variationen könnten aber die unterschiedliche Ausdehnung in der Breite an der Lokalisation 1a mit beeinflussen. Weiler (2001) zeigte mit seiner Untersuchung, dass der Funiculus nuchae eine zusätzliche laminäre Verankerung an der Crista nuchae besitzt. In ihrem Insertionsbereich an der Crista nuchae liegt diese sogenannte Lamina elastica des Funiculus nuchae dorsal und fächerförmig den Mm. obliquus capitis cranialis, rectus capitis dorsalis major und minor und semispinalis auf. Durch diese anatomische Gegebenheit lässt sich die Vermutung aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit schliessen, dass bei den Verdichtungen der Lokalisation 1b die laminäre Verankerung des Funiculus nuchae mit betroffen ist und sich die knöchernen Reaktionen im Ansatzbereich bis zur Crista nuchae ausdehnt. Auch bei den Verdichtungen an Lokalisation 2 kann es sich um eine knöcherne Zubildung im Insertionsbereich der sogenannten Lamina elastica an der Crista nuchae handeln. Des Weiteren setzen an der Crista nuchae die Mm. rectus capitis dorsalis major, obliquus capitis cranialis und splenius capitis an, von welchen ebenfalls eine knöcherne Veränderung ausgehen könnte.

Inwieweit die knöcherne Ausziehung an Lokalisation 3 durch Veränderungen von Weichteilstrukturen in derselben Region entsteht, wird bisher nicht in der Literatur erwähnt. In einem Fachvortrag des Amsterdam Jumping Kongresses 2018 wurde diese Veränderung als „Occipital physeal spike“ bezeichnet und die Entstehung durch eine Dysplasie der Wachstumsfugen vermutet (Williams 2018).

Um die jeweils betroffenen Strukturen an allen drei Lokalisationen genau zu bestimmen wären

zum einen weitere Untersuchungen mit Hilfe von bildgebender Diagnostik und zum anderen anatomische Untersuchungen zielführend. Durch ultrasonographische Untersuchungen lassen sich die Weichteilstrukturen und Knochenkonturen gut darstellen und identifizieren (Gollob et al. 2002). Auch die genaue Lokalisation von dystrophen Verkalkungen ist mit Ultraschalluntersuchungen einfach und gut zu bestimmen (Head 2014).

- **Pathogenese knöcherner Reaktionen**

Die zu Grunde liegenden Ursachen für die Entstehung von Exostosen am Hinterhauptsbein werden in der Literatur kontrovers diskutiert. In einigen Literaturstellen wird das Vorkommen von geringgradigen Veränderungen der Grade 1 und 2, entsprechend einer knöchernen Erhebung mit Gruben und Rauigkeiten mit einem sogenannten „Hinterhauptsstachel“, als anatomische Normvariation bezeichnet (Berg 1992; Nickel et al. 2004). Sowohl in der vorliegenden Studie, als auch in vorangegangenen Studien zeigte sich bei einigen Patienten in der seitlichen Röntgenaufnahme das Hinterhauptsbein mit einer glatten und nicht erhabenen Kontur beim Warmblutpferd (Hüntemann 2006; Nowak 2001; Weiler 2001), dass heisst ohne knöchernen Erhabenheit, wie von NICKEL et al. (2004) beschrieben. Somit kommt die Frage auf, ob es sich bei Veränderungen dieser Art um physiologische Befunde oder pathologische Umbauprozesse der Protuberantia occipitalis externa handelt. WEILER (2001) zeigte mittels Feinfokusröntgendarstellung das Vorkommen einer glatten Kontur des Os occipitale auf und folgerte aus seinen Untersuchungen, dass knöchernen Erhabenheiten im Gebiet des Ansatzes des Lig. nuchae keinen physiologischen Befund darstellen. In einer weiteren morphologischen Untersuchung an Pferdeschädeln zeigte er, dass die Protuberantia occipitalis externa von einer grabenförmigen Einziehung abgegrenzt ist und eine aufgeraute Oberfläche aufweist. Da diese raue Oberfläche der Protuberantia occipitalis externa in der seitlichen Röntgenaufnahme von der grabenartigen Einsenkung verdeckt wird, stellt sich die gesamte Kontur in der Röntgenaufnahme glatt dar (Weiler 2001). Er folgerte daraus, dass die Protuberantia zwar physiologisch eine gewisse Rauigkeit der Oberfläche aufweist, aber keine Exostosen oder einen „Hinterhauptsstachel“.

Ein hervorzuhebendes Ergebnis dieser Studie ist, dass bereits bei einem nicht unerheblichen Anteil der 2-jährigen ungerittenen Probanden knöchernen Veränderungen im Genickbereich mit verschiedenen Ausprägungsgraden vorlagen. Dies ist widersprüchlich zu den Ergebnissen von WEILER (2001). In seiner röntgenstrukturanalytischen Untersuchung konnte er bei allen Präparaten von Pferden unter 4 Jahren keine knöchernen Reaktionen feststellen konnte.

Hingegen zeigten sich bei Präparaten der Altersgruppe 4 Jahre und älter, dass über 75% der Schädel im untersuchten Bereich Exostosen aufwiesen. Zum Vergleich: in der aktuellen Untersuchung wiesen nur 68% der Pferde im Alter von über 4 Jahren diese Veränderungen auf. Zu beachten ist allerdings, dass die Röntgenbilder vom Schädel in der Studie von WEILER (2001) mittels Feinfokustechnik anfertigt wurden und somit mutmasslich auch sehr viel feinere Veränderungen deutlicher dargestellt werden konnten. Außerdem handelt es sich um Röntgenaufnahmen am knöchernen Präparat ohne Weichteilverschattungen, was sich auch positiv auf die Darstellung von geringgradigen knöchernen Reaktionen auswirken kann. Trotz dieser feineren Technik konnte dennoch bei keinem der untersuchten Schädel von Pferden unter 4 Jahren eine knöcherne Veränderung festgestellt werden (Weiler 2001). Die daraus entstehende Vermutung, dass Exostosen im Insertionsbereich des Lig. nuchae bei unter 4-Jährigen Pferden nicht vorkommen, konnte mit Hilfe der vorliegenden Studie widerlegt werden. Es wurde bei 53,3% aller 2-Jährigen und bei 54,1% der 3-Jährigen Pferde ein Befund an einer der genannten drei Lokalisationen festgestellt. Eine mögliche These die einen solch großen Anteil an radiologischen Verdichtungen der vorliegenden Untersuchung in einem sehr jungen Alter begründen könnte ist, dass junge Knochen auf mechanische Belastungen schneller zu Umbauprozessen neigen, als ausgewachsene Knochen (Carter 1984). Da sich beim Pferd das Wachstum des Schädels über mehrere Jahre zieht (Duerst 1926) kann dies eine mögliche Erklärung für die frühe Entstehung der Exostosen sein. In diesem Fall würde es sich wahrscheinlich um Adaptionsprozesse auf natürliche Belastungen handeln, da in unserer Studie ein großer prozentualer Anteil der zweijährigen Pferde ebenfalls schon Insertionsexostosen vorgewiesen haben.

Ein weiteres aussagekräftiges Ergebnis ist, dass der Anteil an Pferden ohne Reaktionen an der Lokalisation 1a und 1b mit dem Alter signifikant sinkt. Das heißt, der Anteil der Pferde mit knöchernen Reaktionen nimmt mit steigendem Alter zu. Auch in früheren Studien wurde eine altersabhängige Entstehung diskutiert, wurde aber wenig untersucht (Hüntemann 2006; Nowak 2001; Weiler 2001). Nur in einer anatomischen Untersuchung an mazerierten Pferdeschädeln mit bekannter Vergangenheit und Nutzung wurde festgestellt, dass das Vorkommen von Exostosen zu einem großen Teil altersabhängig ist (Bendrey 2008).

Eine wichtige und bisher ungeklärte Frage in der Entstehung der Erhabenheiten am Hinterhauptsbein ist, ob es sich um pathologische Prozesse oder adaptive Umbauprozesse handelt. WEILER (2001) zeigte durch seine anatomischen, histologischen und

röntgenologischen Untersuchungen, dass es sich bei den knöchernen Reaktionen um chronische Veränderungen im Sinne von Exostosen handelt. Er postulierte darauf, dass es sich um eine möglicherweise altersabhängige Adaption der betroffenen Strukturen handelt, durch alterassozierte Veränderungen im Aufbau und Verhalten der inserierenden Fasern. Nach DÄMMRICH (1982) ist allerdings eine physiologische Adaption nur begrenzt und ohne strukturellen Umbau möglich. Als weitere mögliche Ursache wurde eine Über- oder Fehlbelastung des Lig. nuchae durch erhöhte Zugbelastung oder auch Traumata genannt (Weiler 2001). Nach NOWAK (2001) handelt es sich bei der Mehrzahl der Patienten mit röntgenologischen Verdichtungen an der Protuberantia occipitalis externa um eine adaptive Anpassung an eine erhöhte Zugbelastung. Da kein klinischer Zusammenhang festzustellen war, handelt es sich selten um eine Pathologie im Sinne einer klinisch manifesten Insertionsdesmopathie. Dies belegte er in seiner Studie mittels klinischer Untersuchung und einer anschließenden lokalen Infiltration des Nackenbandansatzes mit Lokalanästhetikum zusätzlich zur röntgenologischen Untersuchung. Nur 5% aller klinisch auffälligen Pferde zeigten darauf eine Besserung, so dass sich vermuten lässt, dass auch nur bei diesen wenigen Pferden ein krankhafter und schmerzhafter Prozess vorlag. Weiter belegte er mit Hilfe von Ultraschall und computertomographischen Untersuchungen, dass auch weitere Strukturen im Genickbereich erkrankt sein können und dementsprechend zu Schmerzreaktionen führen. Da es sich in der vorliegenden Untersuchung sowohl um ungerittene Pferde als auch gerittene Pferde handelt, ist sowohl eine altersabhängige, als auch eine belastungsassoziierte Entstehung denkbar. Auffällig ist, dass auch bei den 2-Jährigen Pferden Reaktionen von Grad 5 und 6 befundet wurden. BENDREY (2008) zeigte mit seiner Untersuchung, dass hochgradige Befunde nur bei gerittenen Pferden vorkommen und postulierte somit, dass die Entstehung auch nutzungsassoziiert bedingt sein kann. Durch die vorliegende Studie lässt sich dies nicht ausschließen, da bei den älteren gerittenen Pferden das Vorkommen von Exostosen zunimmt. Allerdings zeigt sich durch den hohen Anteil an knöchernen Reaktionen und auch hochgradigen Ausprägungen dieser bei ungerittenen Pferden, dass die Entstehung der knöchernen Reaktionen nicht zwangsläufig nutzungsbedingt sein muss. Durch vorhergegangene Studien wird jedoch gezeigt, dass eine reiterliche Nutzung die Entstehung positiv beeinflussen kann (Bendrey 2008; Hüntemann 2006). Im Vergleich zeigen humanmedizinische Studien, dass es bei erhöhter Zugbelastung des Lig. nuchae beim Menschen zur Bildung von Exostosen an der Protuberantia occipitalis externa kommen kann (Shahar & Sayers 2018). Dort wird als Ursache eine Fehlbelastung angegeben. Vor allem junge Menschen sind betroffen, die durch eine gesenkte Kopfhaltung bei Nutzung eines Handys oder

ähnlichem viel Zug auf das Lig. nuchae ausüben. Um eine genauere Aussage treffen zu können inwieweit die reiterliche Nutzung einen Einfluss hat auf die Bildung von Exostosen beim Pferd hat, müsste eine Studie mit einer Kontrollgruppe durchgeführt werden, mit Pferden gleicher Altersgruppen und Rasse, die nicht reiterlich genutzt werden. Dies ist bisher - verständlicherweise- auch in vergleichbaren Studien nicht erfolgt.

Eine mögliche Einschränkung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse vorangegangener mit der aktuellen Studie ist die Rassezusammensetzung. Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich ausschließlich um Warmblutpferde. Andere Untersuchungen weisen bezogen auf die Rasse eine inhomogene Zusammensetzung auf bestehend aus Ponys Warmblütern, Vollblütern, Kaltblüter, Trabern und Haflingern festgestellt werden konnten. DYSON (2011) beschreibt , dass in einer röntgenologischen Studie ausschließlich an Vollblutpferden nur 5 % aller Pferde eine knöcherne Reaktion aufwiesen. Ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten von knöchernen Reaktionen in Bezug auf die Halslänge und das Gewicht von Kopf und Hals bei verschiedenen Pferderassen bleibt durch weitere Studien zu untersuchen.

Bei genauerer Betrachtung der knöchernen Reaktionen an den einzelnen Lokalisationen fallen Unterschiede hinsichtlich ihres Erscheinungsbildes auf.

Der Knochenleist an der Lokalisation 3 scheint auf Grund der Lage und des Erscheinungsbildes einer grundsätzlich anderen Ätiologie zu unterliegen. WILLIAMS (2018) beschreibt anhand seiner ultrasonographische Untersuchung eines Patienten, dass sich die knöcherne Ausziehung in der Medianen auf halber Strecke zwischen Foramen magnum und der Protuberantia occipitalis externa liegt. Auf Grund der Lage in der seitlichen Röntgenaufnahme und in der Ultraschalluntersuchung wurde die Vermutung aufgestellt, dass die Ausziehung in dem Bereich der Bindegewebsnähte (Suturen) zwischen der pars laterales und des pars basilaris des Os occipitale entsteht. Eine vergleichbare Entstehung von Exostosen in diesem Bereich könnte die der Ausziehungen im Bereich der Wachstumsfuge des distalen Radius sein. Die auch, als knorpelige Exostosen bezeichneten dortigen Veränderungen, entstehen wahrscheinlich durch eine Dysplasie der Wachstumsfuge (Brehm & Köhler 2016). Sie besitzen eine Knorpelkappe und weisen einen Übergang zur Kompakta auf. Im Suturbereich des Os occipitale kann eine vergleichbare dysplastische Entwicklung, die eine Exostosenbildung zur Folge hat, auch möglich sein. Die Suturen der genannten Anteile des Hinterhauptes verschließen sich im Alter zwischen 1,3 bis 2 Jahren über eine enchondrale Ossifikation (Duerst 1926). Somit wäre das Vorkommen von Exostosen im Alter von 2 Jahren denkbar.

Die knöchernen Reaktionen der Lokalisation 3 weisen alle ein längliches, gestieltes Erscheinungsbild auf, welches den der Osteochondrome beim Menschen, aber auch beim Pferd am distalen Radius ähneln. Bevorzugte Lokalisationen sind lange metaphysäre Röhrenknochen mit einem starken Wachstum (Baxter & Stashak 2012; Köhler 1979). An flachen Knochen werden sie seltener festgestellt. Ihr Wachstum scheint mit dem Schluss der Wachstumsfugen abgeschlossen zu sein (Köhler 1979). Um das Vorliegen eines Osteochondroms an der Lokalisation 3 zu bestätigen, müsste eine histologische Untersuchung durchgeführt werden, da diese typischerweise einen knorpeligen Überzug besitzen (Baxter & Stashak 2012).

Die Zubildungen an der Lokalisation 1a zeigen verschiedenste Größen und Konturen. Häufig liegt eine raue und unregelmäßige Kontur vor und teilweise auch ein inhomogenes Erscheinungsbild der gesamten Fläche. Bei Veränderungen vom Grad 6 lagen auch isolierte Verschattungen im Sinne von Avulsionsfragmenten vor. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den Veränderungen der Lokalisation 1b immer eine glatte Kontur und ein insgesamt homogenes Erscheinungsbild, wobei sich die Gesamtgröße sehr unterschiedlich darstellte. Reaktionen an der Lokalisation 2 erschienen meist sehr ähnlich mit einem länglichen fast spornartigen und glattkonturiertem Charakter. Sie erscheint wie eine Verlängerung der Crista nuchae nach caudal. Auch die Reaktionen an der Lokalisation 3 weisen ein spornartiges Aussehen auf, wobei sie stets nach craniodorsal gerichtet sind.

Eine Begründung für die unterschiedlichen Ausprägungen kann die unterschiedliche knöcherne Grundlage an den verschiedenen Ansatzbereichen und der unterschiedlichen Insertionsart sein. Allgemein wird in der Literatur beschrieben, dass erhöhte biomechanische Krafteinwirkungen zu Entzündungen im Insertionsbereich von Bändern und Sehnen führen können und in der Folge auch zu knöchernem Umbau führen kann (Jacques et al. 2014). Im Bereich der Protuberantia occipitalis externa liegt eine wie oben beschriebene raue Knochenoberfläche vor. Der Ansatz des Lig. nuchae erfolgt hier über eine nichtmineralisierte und eine mineralisierte chondroide Zone in den Knochen (Brehm & Nowak 2016, Huskamp & Nowak 1988). Der ungefähr 1 mm lange und direkte Übergang von Sehne zu Knochen wird in vier Zonen unterschieden (Lindel 2010):

- Zone 1: mit Sehnen- oder Bandgewebe
- Zone 2: mit faserigen Knorpel
- Zone 3: mit mineralisiertem Knorpel
- Zone 4: mit Knochengewebe

Durch die knorpeligen Zonen werden impulshafte Zugbelastungen gedämpft (Heinrichs et al. 2014). Allerdings können chronischer Überbelastungen durch schlechte Vaskularisierungen der knorpeligen Zonen zwei und drei zu Mikrotraumen führen, welche durch eine lokale Entzündung im weiteren Verlauf zu Kalzifizierungen und Verknöcherungen führen kann (Heinrichs et. al. 2014, Lindel 2010). WEILER (2001) zeigte in seiner histologischen Untersuchung von Insertionsexostosen an der Protuberantia occipitalis externa des Pferdes, dass der nicht-mineralisierte und mineralisierte Faserknorpel enchondral ossifiziert wird.

Im Gegensatz zu dem direkten Sehnenansatz gibt es bei kurzen Sehnen und Seitenbändern einen sogenannten indirekten Ansatz (Heinrichs et al. 2014). Hier wirken in der Regel weniger starke Kräfte. Die Sehnenfasern verlaufen erst parallel zum Periost und bilden dabei über sogenannte Crosslinks eine flächige Verbindung. Die Crosslinks werden durch Sharpey'sche Fasern stabilisiert bevor sich die Fasern ohne knorpelige Zone sich mit dem Knochen verbinden (Cabri et al. 2001). Eine Verletzung dieses Ansatztypes ist daher seltener und besitzt durch seine gute Durchblutung auch eine gute Heilungstendenz.

Bei der radiologischen Verdichtung an der Lokalisation 1b liegt die Vermutung nah, dass weitere Weichteilstrukturen außer dem Funiculus nuchae an der Entstehung der Exostose beteiligt sind, da die Reaktion sehr weit nach dorsal Richtung Crista nuchae zieht. Eine mögliche beteiligte Struktur könnte auf Grund ihrer Lage die Lamina elastica des Lig. nuchae sein. Aus bisherigen Beschreibungen der Nackenfläche geht nicht hervor über welchen Ansatztypen Weichteilstrukturen ausserhalb der Protuberantia occipitalis externa am Knochen anheften. Eine Vermutung für das ausschließlich glatt konturierte Erscheinungsbild der radiologischen Verdichtung an Lokalisation 1b könnte eine unterschiedliche Insertionsart von Weichteilgewebe an der Protuberantia occipitalis externa im Gegensatz zu den weiter dorsal inserierenden Strukturen sein. Wobei das weiter dorsal ansetzende Gewebe über eine indirekte Insertion in den Knochen übergehen könnte. Da keine ultrasonographischen, anatomischen oder histologischen Untersuchungen der einzelnen Lokalisationen durchgeführt wurden, kann weder eine Aussage über die betroffenen Strukturen noch der Art ihrer Insertion getroffen werden. Dies gilt es in weiteren Studien zu untersuchen.

Weiter wird nach BUTLER et al. (2017) beschrieben, dass die Aktivität des Umbauprozesses durch die Kontur und Ränder der Exostosen im Röntgenbild zu bestimmen ist. Sie beschreiben, dass aktive Umbauprozesse durch irreguläre, undeutliche, verschwommene Ränder gekennzeichnet sind und weniger opaque sind als umliegendes älteres Knochengewebe. Dem

gegenüber stehen inaktive und abgeschlossene Umbauprozesse, welche eine regelmäßige und einheitlich opaque Begrenzung aufweisen. Aus dieser Beschreibung lässt es sich schließen, dass alle glatt konturierten und mit einer homogenen Struktur versehenen Exostosen inaktiv und älter sind, während unregelmäßig konturierte Exostosen aktive Umbauprozesse aufweisen müssten. In der vorliegenden Studie wurden nur an der Lokalisation 1a Exostosen mit einer unregelmäßigen Kontur im Bereich der Protuberantia occipitalis externa nachgewiesen, was nach BUTLER et al. (2017) für einen aktiven Umbauprozess spricht. Der direkte Sehnen-Knochen Übergang an der Protuberantia occipitalis externa scheint auf Grund der schlechteren Durchblutung in den beiden knorpeligen Zonen eine schlechtere Heilungstendenz zu besitzen (Cabri et al. 2001). Dies und die starken Zugkräfte des Lig. nuchae könnten länger andauernde Umbauprozesse begründen. An der Lokalisation scheint es nach den vorliegenden Ergebnissen nur glatt konturierte Exostosen und somit abgeschlossene Umbauprozesse zu geben.

Inwieweit die scheinbar nach den Ergebnissen der Studie häufig aktiven Umbauprozesse durch physiologische Adaption oder durch pathologische Prozesse entstehen kann mit dieser Studie nicht mit Sicherheit beantwortet werden. In der Literatur werden vor allem die reiterliche Nutzung und Traumata genannt (Brehm & Nowak 2016; Meyer 1996; Weiler 2001). Das Vorkommen einer großen Anzahl an Patienten mit knöchernen Reaktionen am Hinterhauptsbein bei 2-Jährigen ungerittenen Pferden in dieser Studie lässt auf einen nicht unüblichen Befund schließen. Dieser kann nicht ausschließlich durch reiterliche Nutzung entstehen.

Hinsichtlich einer besseren Beschreibung eines „Normalbefundes“ können die vorliegenden Ergebnisse helfen, einer präziseren Beschreibung näher zu kommen, da dies die erste Beschreibung an einer großen Anzahl an jüngeren Pferden ist. Die seitliche Röntgenaufnahme des Genicks ist in der heutigen Zeit häufig ein Bestandteil der röntgenologischen Kaufuntersuchung. Nach Röfl 2018 ist die normale Röntgenanatomie definiert, als „Röntgenbefunde, die dem Idealbild entsprechen oder von diesem abweichen, aber funktionell unbedeutend sind“. Durch fehlende Studien ist es bislang schwer eine Aussage über eine normale Röntgenanatomie des Hinterhauptsbeines zu treffen, insbesondere bei klinisch unauffälligen Pferden. Die vorliegende Arbeit sollte helfen, mit Röntgenaufnahmen des Genicks, die nicht auf Grund von klinischen Indikationen durchgeführt wurden, eine bessere Aussage über die zu erwartende Beschaffenheit treffen zu können. Im deutschen Kaufrecht ist der Verkäufer dem Käufer nach § 434 (1) eine Sache schuldig, die frei von Sachmängeln ist.

---

das heißt der vereinbarten Beschaffenheit entspricht. Ist dies nicht vereinbart, muss sich die Sache nach § 434 (1) Satz 1 sich für die vereinbarte Verwendung eignen oder nach § 434 (1) Satz 2 sich für eine gewöhnliche Verwendung eignen und eine Beschaffenheit aufweisen, die bei Sachen der gleichen Art „üblich“ ist. Mit dem Ergebnis, dass 58,3% (105/180) der Pferde eine knöcherne Reaktion in der seitlichen Röntgendarstellung des Genicks aufweisen, kommt man dem Begriff der „Üblichkeit“ im juristischen Sinne deutlich näher.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

In Röntgenaufnahmen der Kopf-Halsregion von Pferden, die im Rahmen von Kaufuntersuchungen angefertigt werden, stellen sich bisweilen kaudal der Squama occipitalis und im okziputnahen zervikalen Weichteilgewebe Verschattungen dar, die allgemein als knöcherne Reaktionen gedeutet werden. Über deren Vorkommen und Bedeutung im Genickbereich, insbesondere beim reiterlich genutzten Warmblüter, ist bisher noch wenig bekannt.

**Ziel:** Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, die Prävalenz von knöchernen Reaktionen an der Protuberantia occipitalis externa und Umgebung beim heranwachsenden Warmblutpferd mittels röntgenologischer Untersuchung zu ermitteln. Zusätzlich sollte geklärt werden, ob das Vorkommen und der Ausprägungsgrad dieser Befunde mit der reiterlichen Nutzung zusammenhängen, indem die Pferde in verschiedenen Ausbildungsstadien in die Untersuchung aufgenommen wurden. Ein weiteres Untersuchungskriterium waren knöcherne Erhabenheiten an zwei weiteren Lokalisationen außerhalb der Protuberantia occipitalis externa.

Mit Hilfe dieser Arbeit sollte ein Verteilungsmuster der Veränderungen im Ansatzbereich des Lig. nuchae und seinen umliegenden Bereichen bei jungen Warmblutpferden vom Zeitpunkt vor dem Anreiten bis zu einem gewissen Zeitpunkt der reiterlichen Nutzung aufgestellt werden.

Die Ergebnisse sollen helfen einem röntgenologischen „Normalbefund“ näher zu kommen bzw. Angaben zur „Üblichkeit“ nach § 434 (1), 2., BGB zu ermöglichen und das Verständnis über den Einfluss der reiterlichen Nutzung auf das Vorliegen und den Ausprägungsgrad der genannten Veränderungen zu erweitern.

**Methode:** Von 180 Equiden wurden im Rahmen einer prospektiven Studie Röntgenaufnahmen der Genickregion im seitlichen Strahlengang (dextro-sinistral) ausgewertet. Alle Aufnahmen wurden im Zuge von röntgenologischen Kaufuntersuchungen sedierter Pferde angefertigt. Die Befunde wurden mit Hilfe eines vorab erstellten Bewertungsschemas hinsichtlich der Lage und

des Ausprägungsgrades bewertet und dokumentiert. Es fand eine Einteilung der Befunde in folgende vier Lokalisationen statt: Lokalisation 1a: Bereich der Protuberantia occipitalis externa, Lokalisation 1b: Bereich der Protuberantia occipitalis externa inklusive der vom Nackenband ausgehenden zur Crista nuchae reichenden Lamina elastica, Lokalisation 2: von der Crista nuchae ausgehend nach caudal reichend, Lokalisation 3: zwischen Protuberantia occipitalis externa und Foramen magnum gelegen und nach craniodorsal gerichtet. Die Befunde der Lokalisation 1a und 1b wurden nach ihrem Erscheinungsbild in 7 Grade eingeteilt (Grad 0-6). Knöcherne Ausziehungen an Lokalisation 2 und 3 wurden auf Grund ihres länglichen Erscheinungsbildes lediglich in der Länge vermessen. Zur anschließenden Prävalenzerhebung wurden die Probanden in folgende vier Gruppen, dem Alter entsprechend, aufgeteilt: Altersklasse 1: 2 Jahre (n = 60); Altersgruppe 2: 3 Jahre (n = 37), Altersgruppe 3: 4 Jahre (n = 58), Altersgruppe 4: 5-8 Jahre (n = 25). Der Einfluss des Alters und Ausbildungsstandes auf das Vorhandensein von Befunden und auf den Ausprägungsgrad wurde mittels deskriptiver Statistik für die entsprechenden Lokalisationen geprüft.

**Ergebnisse:** Insgesamt konnte bei 58,3% (105/180) der Probanden eine knöcherne Reaktion im Genickbereich in der seitlichen Röntgenaufnahme festgestellt werden. Bei Betrachtung des Anteils der betroffenen Pferde in den jeweiligen Altersklassen fiel auf, dass der prozentuale Anteil der Pferde mit Veränderungen mit steigendem Alter zunimmt. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von radiologischen Veränderungen und Geschlecht oder sportlicher Nutzung konnte nicht festgestellt werden. Die Auswertung der Ergebnisse für die einzelnen Lokalisationen ergab einen Anteil von 54,4% (98/180) der Probanden mit knöchernen Reaktionen an Lokalisation 1. Dabei waren diese bei 42,8% (77/180) und an der Lokalisation 1a und 11,7% (21/180) an der Lokalisation 1b. Auch wenn der prozentuale Anteil der Probanden mit Befunden mit dem Alter stieg, konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Bei genauer Betrachtung der Verteilung der Genickgrade an den genannten Lokalisationen wird ersichtlich, dass das Vorkommen radiologischer Verdichtungen insgesamt und die Anzahl der mittel- bis hochgradigen Verdichtungen mit dem Alter zunimmt. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und Vorliegen von Befunden konnte mittels Brevais-Pearson Korrelationskoeffizient gezeigt werden ( $p=0,049$ ;  $r=0,15$ ).

Eine alleinige röntgendichte Ausziehung an der Crista nuchae (Lokalisation 2) konnte bei insgesamt 6,9% (12/180) aller Patienten festgestellt werden, welche im Mittel 0,61 cm lang

war. Der prozentuale Anteil war in Gruppe 2 mit 10,8% (4/34) am höchsten und zeigte keinen signifikanten Zusammenhang.

Eine knöcherne Reaktion an Lokalisation 3 konnte bei insgesamt 10,0% (18/180) der Pferde festgestellt werden. Die durchschnittliche Länge lag bei 0,56 cm. Bei 66,7% (12/18) der Pferde mit Reaktion an Lokalisation 3 war dies ein zusätzlicher Befund zu einer radiologischen Verdichtung an der Lokalisation 1. Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht festgestellt werden

**Schlussfolgerung:** Mit Hilfe des Datenmaterials der vorliegenden Arbeit konnte das Wissen über das Auftreten von radiologischen Verdichtungen im kranialen zervikalen Halsbereich erweitert werden. Es wurden erstmals in einer Studie Prävalenzdaten für den Genickbereich an heranwachsenden Pferden gesammelt und bei einer recht hohen Probandenzahl die Häufigkeit unterschiedlicher Ausprägungsgrade, das Auftreten an verschiedenen Lokalisationen sowie Einfluss der reiterlichen Ausbildung untersucht und ermittelt. Auffällig bei der Betrachtung der Ergebnisse scheint zu sein, dass die Anzahl der Probanden mit radiologischen Befunden in allen Altersgruppen höher ist, als diejenigen ohne radiologische Auffälligkeiten an den beschriebenen Lokalisationen. Von großer Bedeutung erscheint, dass in der Gruppe der 2-Jährigen und ungerittenen Pferde der Anteil der Patienten mit knöchernen Reaktionen im Genickbereich 53,3% (32/60) beträgt, wobei alle sieben Ausprägungsgrade festgestellt werden konnten. Insgesamt zeigte sich, dass der Anteil an Pferden ohne knöcherne Reaktionen mit dem Alter abnimmt. Im Alter von fünf bis acht Jahren konnten nur noch 32% der Probanden der Gruppe „ohne radiologische Veränderungen“ zugeordnet werden. Wobei der Anteil an Pferden mit geringgradigen Reaktionen auch mit dem Alter abnahm. Ein wichtiges Ergebnis ist weiter, dass es außer der typischen Veränderungen am Ansatz des Lig. nuchae an der Protuberantia occipitalis externa (Lokalisation 1) auch noch weitere Lokalisationen mit weiteren knöchernen Reaktionen gibt in der Umgebung, welche in allen Altersgruppen festgestellt werden konnten. Diese Veränderungen sind von den erstgenannten zu unterscheiden.

Die erhobenen Daten sind insbesondere im Hinblick auf die Röntgenuntersuchungen im Rahmen der Kauf- und Rittigkeitsuntersuchung bei Warmblutpferden von großer Bedeutung. Demnach scheinen Veränderungen moderater Ausprägung im Genickbereich beim Warmblutpferd eher „üblich“ und ohne klinische Relevanz anzusehen zu sein.

---

Als eine wahrscheinliche Pathogenese der knöchernen Reaktion an der Protuberantia occipitalis externa wird eine Adaption an eine erhöhte Zugbelastung des Lig. nuchae angesehen. In der Literatur wird eine alters- und nutzungsbedingte Adaption unterschieden werden (Bendrey 2006, Weiler 2001). Eine Erkrankung (Insertionsdesmopathie) wurde nur bei wenigen Patienten mit radiologischen Befunden nachgewiesen (Nowak 2016).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die reiterliche Nutzung nicht zwangsläufig der auslösende Faktor der knöchernen Reaktion des Hinterhauptsbeines ist. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass eine erhöhte Zugbelastung auf das Lig. nuchae durch das Reiten die Bildung bzw. den Ausprägungsgrad der Reaktionen beeinflusst.

**VII. SUMMARY**

In radiographic projections of the neck in horses as part of pre purchase examinations, opacities caudal to the occiput and cervical soft tissue can be visualized, which can be interpreted as bony reactions. Their occurrence and clinical significance particularly in ridden horses still remains unclear.

**Objective:** The reason for performing this study was to evaluate the prevalence of bony reactions at the external occipital protuberance and surroundings in young growing warmblood horses by radiological examination. Additionally, the correlation between the use of the horse as a riding horse and the appearance and degree were evaluated by obtaining radiographs before beginning of the ridden training. Further examination criteria were bony reactions in two additional locations of the neck. This study should set up a distributional pattern of radiological changes at the origin of the nuchal ligament and surroundings in young warmbloods before the beginning of training. The results should help to define a normal radiological appearance of the neck in horses and therefore help to establish a grading system whereby several changes within this region can be systematically characterized.

**Method:** Within a prospective study lateral radiographs of the neck in 180 horses were obtained and evaluated. All radiographs were taken as part of a pre purchase examination of sedated horses. The evaluation was made with grading system regarding the location and degree. The four locations were defined as followed: Location 1a: Area of the external occipital protuberance, Location 1b: Area of the external occipital protuberance running dorsal to the nuchal crest, Location 2: caudal to the nuchal crest, Location 3: between the external occipital crest and the foramen magnum with a craniodorsal direction. Findings in location 1a and 1b were graded depending on the appearance in 7 grades (grade 0-6). Since bony reactions at location 2 and 3 showed an elongated appearance they were just measured in length. For the purpose of prevalence assessment four groups of horses were generated: group 1: 2 years (n=60), group 2: 3 years (n=37), group 3: 4 years (n=58), group 4: 5-8 years (n=25). Descriptive statistic was used to evaluate the influence of age and degree of bony reactions at the different locations.

**Results:** Overall lateral radiographs showed that 58,3% (105/180) of the horses had a bony reaction in the area of the occipital bone. The proportion of horses with bony changes increased with rising age in percentage terms with age. There was no significant correlation between the appearance of bony reactions and gender or type of use. The evaluation showed a proportion of horses with bony changes at location 1 in 54,4% (98/180). Therefore 42,8% (77/180) were detected in location 1a and 11,7% (21/180) in location 1b. Even though the percentage of horses with bony changes increased with age, no significant correlation could be detected. During closer examinations of results, it was evident that the proportion of changes overall and the proportion of moderate to profound changes increased with age. A significant correlation between age and presence of bony reactions was proven by Brevais-Pearson correlation coefficient ( $p=0,049$ ;  $r=0,15$ ).

A radiopaque reaction at the nuchal crest (location 2) was detected in 6,9% (12/180) of the horses, the median length was 0,61cm. The highest proportion could be observed in group 2 with 10,8% (4/34).

A bony reaction at location 3 showed an appearance of 10,0% (18/180) of all horses. The median length was 0,56 cm. In 66,7% (12/18) of the horses with bony changes in location 3 also showed changes in one of the other locations as well.

**Conclusion:** Results of the present study expanded the knowledge about the appearance of bony changes in the cranial cervical neck area. Data of prevalence of radiological changes in a large group of young horses has been first-time applied regarding incidence, grade and influence of riding exercise. A noticeable finding is that in all groups the percentage of horses with bony changes in general is higher than horses without radiological findings in all locations. A highly relevant result is that 53,3% (32/60) of the horses in group 1 showed bony reactions with changes of all grades. Generally speaking, the results indicate that horses without or even mild radiological findings decreases with age. Another important result is that besides the typical reaction at the insertion of the nuchal ligament, further, in the surrounding area situated

bony reactions could be located. Those bony changes were discovered in all groups and are to be distinguished from the first-mentioned.

Data provided by this study will add useful information to evaluate radiographs of pre purchase examinations. Moderate changes in the neck can be normal findings without clinical significance.

A likely pathogenesis of the bony changes seems to be an adaption of the origin of the nuchal ligament due to high stress, less likely an insertional desmopathy of the ligament (Nowak 2016). Adaption of the bone is differentiated between adaption due to age and use (Bendrey 2006, Weiler 2001). Results of the present study suggest that riding exercise is not necessarily the triggering factor of radiological changes, but higher stress on the nuchal ligament during riding exercise can have an impact on the development and the grade of the reactions.



**VIII. LITERATURVERZEICHNIS**

- Balkenhol, K.; Müller, H.; Plewa, M.; Heuschmann, G. (2003): Zur Entfaltung kommen - statt zur Brust genommen. *Reiter Revue international* 4: 46–50.
- Baxter, G.M.; Stashak, T.S. (2012): Perineural and Intrasynovial Anesthesia. In: G.M. Baxter. (Hrsg.): *Adam`s & Stashak`s Lameness in Horses*. 6. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 173–202.
- Bendrey, R. (2008): An analysis of factors affecting the development of an equid cranial enthesopathy. *Veterinarija ir Zootechnika* 41(63): 25–31.
- Benjamin, M.; Toumi, H.; Ralphs, J.R.; Bydder, G.; Best, T.M.; Milz, S. (2006): Where tendons and ligaments meet bone : attachment sites ("entheses") in relation to exercise and / or mechanical load. *J Ant.* 208(4): 471–90.
- Benoit, P.H. (2016): Clinical Examination of the Cervical Spine. In *AAEP 360 Pain in the Neck*.
- Berbee, D.D.; Allen, J.R. (1986): Computed tomography in the horse: general principles and clinical applications. In: *Proceedings of Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, Nashville, 483–93.
- Berg, R. (1992): *Lehrbuch der Veterinär-Anatomie*. 5.Auflage. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Brehm, W.; Köhler, M. (2016): Krankheiten der proximalen Schultergliedmaße. In: W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge, A. Wehrend (Hrsg.), *Handbuch Pferdepraxis*. 4.Auflage. Stuttgart: Enke, 929–57.
- Brehm, W.; Nowak, M. (2016): Krankheiten der Halswirbelsäule. In: Brehm, W.; Gehlen, H.; Ohnesorge, B.; Wehrend, A. (Hrsg.), *Handbuch Pferdepraxis*. 4.Auflage. Stuttgart: Enke, 904-11.
- Budras, K.D.; Röck, S. (1994): *Atlas der Anatomie des Pferdes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende*. 2.Auflage. Hannover: Schlütersche Verlagsanstalt und Druckerei.
- Bürger, U.; Zietschmann, O. (1938): *Der Reiter formt das Pferd*. Hannover: Verlag M. & H.

Schaper.

- Butler, J.A.; Colles, C.M.; Dyson, S.J.; Kold.S.E.; Poulos, P.W. (2017): The vertebral column. In: P.W. Butler, J.A. Colles, C.M. Dyson, S.J. Kold, S.E. Poulos (Hrsg.): *Clinical Radiology of the horse*. 4. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 531–607.
- Cabri, J.; Elvey, B.; Gosselink, R.; Horste, R. (2001): *Angewandte Physiologie*. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Carter, D.R. (1984): Mechanical loading histories and cortical bone remodeling. *Calcif. Tissue Int* (36): 19–24.
- Dämmrich, K., Randelhoff, A., Weber, B. (1993): Ein morphologischer Beitrag zur Biomechanik der thorakolumbalen Wirbelsäule und zur Pathogenese des Syndroms sich berührender Dornfortsätze (Kissing-spines-Syndrom) bei Pferden. *Pferdeheilkunde* 9: 267–81.
- Denoix, J.M.; Pailloux, J.P. (2000): Anatomie und biomechanische Grundlagen. In: J.M. Denoix (Hrsg.). *Physiotherapie und Massage bei Pferden*. Hohenheim: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Heuschmann, G. (2006): *Finger in der Wunde*. Schondorf: Wuwei Verlag.
- Duerst, J.U. (1926): *Vergleichende Untersuchungsmethoden am Skelett bei Säugern. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*. Berlin, Wien: Verlag Urban & Schwarzenberg.
- Dyson, S.J. (2003): The Cervical Spine and Soft Tissues of the Neck. In: M.W. Ross and S.J. Dyson (Hrsg.): *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. 2. ed. St.Louis: Elsevier Saunders, 606-616.
- Dyson, S.J. (2011): Lesions of the equine neck resulting in lameness or poor performance. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice* 27(3): 417–37.
- Engel, M. (2010): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen röntgenologischen und knochenpräparatorischen Befunden an der kranialen Halswirbelsäule von Pferden. Diss. med.vet, München

- Elgersma, A. E.; Wijnberg, I.D.; Sleutjens, J.H.; Kolck, J.H.; Van Weeren, P.R.; Back, W. (2010). A pilot study on objective quantification and anatomical modelling of in vivo head and neck positions commonly applied in training and competition of sport horses. *Equine Veterinary Journal* 42(SUPPL. 38): 436–43.
- Faber, M.J.; van Weeren, P.R.; Schepers, M.; Barneveld, A. (2003): Long-term follow-up of manipulative treatment in a horse with back problems. *Journal of Veterinary Medicine Series: Physiology Pathology Clinical Medicine* 50: 241–45.
- Feary, D.J.; Magdesian, K.G.; Aleman, M.A. (2007): Traumatic brain injury in horses: 34 cases (1994–2004). *Journal of the American veterinary medical association* 231: 259–66.
- Gellman, Karen S., und J. E A Bertram. (2002): The equine nuchal ligament 2: Passive dynamic energy exchange in locomotion. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 15(1):7-14.
- Gollob, E, H Edinger, C Stanek, und C Wurnig. (2002): Ultrasonographic investigation of the atlanto-occipital articulation in the horse. *Equine vet J* 34(1): 44–50.
- Gomez, A.; Bobbert, M. F.; L Lamers, C.; Back, W. (2008): The effect of induced hindlimb lameness on thoracolumbar kinematics during treadmill locomotion. *Equine Vet J.* 40(2): 147–52.
- Head, M. (2014): Ultrasonography of the Neck and Back. In: M.L. Kidd, J.A. Lu, K.G. Frazer (Hrsg.). *Atlas of Equine Ultrasonography*. Oxford: Wiley, 199–211.
- Heinrichs, G; Gille, J.; Paech, A. (2014): Ellenbogenüberlastungssyndrome. *Trauma Berufskrankh* 16(Suppl4): 410–15.
- Hüntemann, G. (2006): *Vorkommen unnd Bedeutung der Insertionsdesmopathie des Ligamentum nuchae bei Pferden mit Rittigkeitsproblemen-eine radiologische und klinische Studie*. Diss. med.vet., Freie Universität Berlin.
- Huskamp, B., Nowak, M. (1988): Insertionsdesmopathien beim Pferd und einige ihrer Lokalisationen. *Pferdeheilkunde* 4: 3–12.
- Jacques, P.; Lambrecht, S.; Verheugen, E; Pauwels, E., Kollias, G., Armka, M., Verhoye, M. (2014): Proof of concept : enthesitis and new bone formation in spondyloarthritis are

- driven by mechanical strain and stromal cells. *Ann. Rheum. Dis.* 73(2): 437–45.
- Kinns, J.; Pease, A. (2009): Computed tomography in the evaluation of the equine head. *Equine Vet. Educ.* 21(6): 291–94.
- König, H.G.; Liebich, H.E. (2005): *Anatomie der Haussäugetiere Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*, 3.Auflage, Stuttgart: Schattauer.
- König, H.E.; Kassianoff, I. (2002): Kinetik. In: Wissdorf, H.; Gerhards, H.; Huskamp, B.; Deegen, E. (Hrsg.): *Praxisorientierte Anatomie des Pferdes*. 2.Aulage, Hannover: Verlag M.&H. Schaper Alfeld, 619-25.
- Lindel, K. (2010). *Muskledehnung*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Meyer, H. (1996): Zum Zusammenhang von Halshaltung, Rückentätigkeit und Bewegungsablauf beim Pferd. *Pferdeheilkunde* (12): 807–22.
- Moore, Jeff. 2010. „General Biomechanics: The Horse As a Biological Machine“. *J. Vet. Sci.* 30(7): 379-383.
- Nestadt, C.L.; Carla, M.L., Helen, M.S. (2015): Effect of Different Head-and-Neck Positions on Nuchal Ligament Dimensions in Fetal Foals. *J. Equine Vet. Sci.* 35(2): 153–60.
- Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E. (2004): *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I. Bewegungsapparat*. hrsg. Seiferle Nickel, Schummer. 8.Auflage. Stuttgart: Parey.
- Nowak, M.; Stadtbäumer, G.; Petzold, S. (1995): Erkrankungen im Bereich des Genicks. In *Tagungsbericht der XI. Tagung über Pferdekrankheiten im Rahmen der Equitana in Essen (10.-11.3.1995)*.
- Nowak, M., Rijkenhuizen, A.; Tietje, S. (2016): Krankheiten des Schädels, der Wirbelsäule und des Beckens. In : Brehm, W.; Gehlen, H.; Ohnesorge, B.; Wehrend, A. (Hrsg.), *Handbuch Pferdepraxis*. 4.Auflage. Stuttgart: Enke, 891-932.
- Nowak, M.; Stadtbäumer, G.; Petzold, S. (1995): Erkrankungen im Bereich des Genicks. *Tagungsbericht der XI. Tagung über Pferdekrankheiten im Rahmen der Equitana in Essen (10.-11.3.1995)*.
- Nowak, M. (2001): Insertionsdesmopathie des Nackenbandursprungs beim Pferd. In 7.

*Kongress für Pferdemedizin, Genf.*

- Ramzan, P. (2011): Advances in equine dentistry: 2009 and 2010. *Equine Vet. J.* 43(5): 507–8.
- Rhodin, M, Johnston, C.; Holm, K.R.; Wennerstrand, J.; Drevemo, S. (2005): The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. *Equine Vet. J.* 37(1): 7–11.
- Sager, J. (1997): Die Erkrankungen der Processus spinosi der Brust- und Lendenwirbelsäule des Pferdes- eine klinische und radiologische Studie. *Berlin, Freie Universität, Dissertation.*
- Schnorr, B.; Kressin, M. (2011). *Embryologie der Haustiere.* 6.Auflage. Stuttgart: Enke Verlag.
- Schramme, M.; Redding, R. (2011): Magnetic Resonance Imaging. In: G.M. Baxter. (Hrsg.): *Adam`s & Stashak`s Lameness in Horses.* 6. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 416-50.
- Schumacher, J., Schramme, M.; Schumacher, J.; Degraeves, F.J. (2013): Diagnostic analgesia of the equine digit. *Equine Vet. Educ.* 25(8): 408–21.
- Shahar, D.; Sayers, M. (2018): Prominent exostosis projecting from the occipital squama more substantial and prevalent in young adult than older age groups. *Sci. Rep.* 8(1): 1–7.
- Steinbrecht, G. (2004): Systematische Dressur des Pferdes. In: *Gymnasium des Pferdes,* Warendorf: FNverlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH.
- Swarbrick, M. T.; Powell, S.E.; Haggett, E.F. (2016): Computed tomography of nuchal ligament and semispinalis capitis tendon avulsions in a foal. *Equine Vet. Educ.* 30(2): 1–6.
- Tokuriki, M.; Aoki, O. (1991): Neck Muscles Activity in Horses during Locomotion with and without a Rider. *Equine Exercise Physiology* 3: 146–50.
- Tuite, D.J.; Renstrom, P.A.; O` Brien, M. (1997): The aging tendon. *Scand J Med Sci Sports* 7 (2): 72–77.
- Voigt, A.; Saulez, M.N.; Donnellan, C.N. (2009): Nuchal crest avulsion fracture in 2 horses: a

- cause of headshaking. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 80(2): 111–13.
- Wagner, W.D.; Gerhards, H. (2010): Diagnostik bei Erkrankungen des cranialen Halsbereiches mit Hilfe verschiedener moderner bildgebender Verfahren wie der ultrasonographischen Panoramabilddarstellung und der Kernspintomographie. *Pferdeheilkunde* 26: 367–73.
- Van weeren, P.R.; McGowan, C.; Haussler, K.K. (2010): Science overview: Development of a structural and functional understanding of the equine back. *Equine Vet. J.* 42(38): 420–25.
- Weiler, H. (1997): Zur Diagnostik der Insertionsdesmopathie des Funiculus nuchae an der Squama occipitalis (Teil3, reiterliche Aspekte). In: *Internationales Symposium „Diagnostik beim Pferd“*, Bad Homburg.
- Weiler, H. (2001): *Insertionsdesmopathien beim Pferd, ein Beitrag zur Orthologie und Pathologie von Sehnen-, Band und Gelenkkapselverankerungen beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung der Insertion des Funiculus nuchae an der Squama occipitalis*. Warendorf: FN-Verlag d. Dt. Reiterl. Vereinigung.
- Weishaupt, M. (2006): Effect of head and neck position on vertical ground reaction forces and interlimb coordination in the dressage horse ridden at walk and trot on a treadmill. *Equine Vet. J.* 38(SUPPL.36): 387–92.
- Williams, C. (2018): Investigation of the equine neck. In: *Jumping Amsterdam Sport Horse Congress*,.
- Wissdorf, H.; Otto, B. 2010. Kopfskelett. In: Wissdorf, H.; Gerhards, H.; Huskamp, B.; Deegen, E. (Hrsg.): *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. 3.Auflage, Hannover: Schaper, 211-19.
- Wright, I.M.; Minshall, G.J. (2011): Clinical , radiological and ultrasonographic features , treatment and outcome in 22 horses with caudal distal radial osteochondromata. *Equine Vet. J.* 44(3): 319–24.
- Zsoldos, R.; Licka, T.F. (2015): The equine neck and its function during movement and locomotion. *Zoology* 118(5): 364–76.

## IX. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Nackenwand des Schädel</i>	5
<i>Abbildung 2: Funiculus nuchae im Bereich der occipitalen Verankerung</i>	9
<i>Abbildung 3: Lig. nuchae (1) und Lig. supraspinale (3)</i>	10
<i>Abbildung 4: Querschnitt des Funiculus nuchae</i>	11
<i>Abbildung 5: Modell der sechs verschiedenen HNP</i>	17
<i>Abbildung 6: Seitliche Röntgenaufnahme der Genickregion</i>	18
<i>Abbildung 7: Links: Sharpey-Fasern</i>	20
<i>Abbildung 8: Exostose der Protuberantia occipitalis externa</i>	21
<i>Abbildung 9: Typische Lokalisationen von Exostosen der Protuberantia occipitalis externa</i>	22
<i>Abbildung 10: Seitenansicht (links) und Ansicht von caudal auf den Genickbereich eines Pferdeschädels (eigene Untersuchung)</i>	23
<i>Abbildung 11: Röntgenologische Darstellung des Insertionsbereiches des Lig. nuchae</i>	26
<i>Abbildung 12: Computertomographische Darstellung einer Insertionsexostose im Axialschnitt</i>	28
<i>Abbildung 13: relativ aufgerichtetes Pferd mit frei beweglichem Rücken</i>	31
<i>Abbildung 14: Pferd in Hyperflexion mit überspanntem Rücken</i>	32
<i>Abbildung 15: Anfertigung des Röntgenbildes vom Genickbereich</i>	38
<i>Abbildung 16: Einteilung der typischen Lokalisationen der Insertionsexostosen im Genickbereich des Pferdes</i>	40
<i>Abbildung 17: Vermessung von Höhe (blau) und Breite (grün) einer knöchernen Erhabenheit</i>	41
<i>Abbildung 18: Grad 0</i>	43
<i>Abbildung 19: Grad 1</i>	43
<i>Abbildung 20: Grad 2</i>	43
<i>Abbildung 21: Grad 3</i>	44
<i>Abbildung 22: Grad 4</i>	44
<i>Abbildung 23: Grad 5</i>	44
<i>Abbildung 24: Grad 6</i>	45
<i>Abbildung 25: Vermessung einer knöchernen Reaktion („Konochenleist“)</i>	46
<i>Abbildung 26: Graphische Darstellung der Verteilung der 180 Probanden</i>	50
<i>Abbildung 27: Graphische Darstellung der Anzahl der Patienten mit und ohne knöcherne</i>	

---

<i>Reaktion</i> .....	52
<i>Abbildung 28: Röntgenaufnahme des Genicks im sinistro-dextralen Strahlengang des Probanden Nr.60</i> .....	56
<i>Abbildung 29: Röntgenaufnahme des Genicks im sinistro-dextralen Strahlengang des Probanden Nr.64</i> .....	56
<i>Abbildung 30: Graphische Darstellung der Verteilung der Genickgrade in den einzelnen Altersklassen</i> .....	58
<i>Abbildung 31: Graphische Übersichtsdarstellung der Verteilung der einzelnen Genickgrade</i> .....	59
<i>Abbildung 32: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade bei Probanden der Altersgruppe 1</i> .....	60
<i>Abbildung 33: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade bei Probanden der Altersgruppe 2</i> .....	61
<i>Abbildung 34: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade in der Altersgruppe 3</i> .....	62
<i>Abbildung 35: Graphische Darstellung der Verteilung der radiologischen Verdichtungen auf die Genickgrade in der Altersgruppe 4</i> .....	63
<i>Abbildung 36: Graphische Gegenüberstellung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae</i> .....	65
<i>Abbildung 37: Röntgenologische Darstellung triangelförmigen Ausziehung der Crista nuchae des Patienten Nr. 107</i> .....	65
<i>Abbildung 38: Graphische Gegenüberstellung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae</i> .....	67
<i>Abbildung 40: Seitliches Röntgenbild des Pferdes Nr.62 mit einem Knochenleist</i> .....	69
<i>Abbildung 41: Grafische Darstellung der Verteilung der Patienten mit Knochenleist</i> .....	72
<i>Abbildung 42: Röntgenbild des Proband Nr. 89 mit einer spitz und zweizipflig verlaufenden Reaktion</i> .....	73
<i>Abbildung 43: Röntgenbild des Proband Nr. 127</i> .....	73
<i>Abbildung 44: Röntgenbild des Proband Nr. 78</i> .....	74

**X. TABELLENVERZEICHNIS**

<i>Tabelle 1: Einteilung der Genickgrade in der seitlichen Röntgenaufnahme</i>	42
<i>Tabelle 2: Übersichtsdarstellung der Anzahl der Probanden pro Gruppe mit und ohne knöcherne Reaktionen</i>	51
<i>Tabelle 3: Übersichtsdarstellung der Anzahl an Hengsten und Stuten mit und ohne radiologische Verdichtungen</i>	53
<i>Tabelle 4: Tabellarische Darstellung der Anzahl an Dressur- und Springpferden</i>	54
<i>Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung bei Patienten mit radiologischen Verdichtungen</i>	55
<i>Tabelle 6: Tabellarische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Grade</i>	57
<i>Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der Verteilung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae (Lokalisation 2)</i>	64
<i>Tabelle 8: Tabellarische Darstellung der Verteilung der Patienten mit und ohne Ausziehung an der Crista nuchae</i>	66
<i>Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung des Vorkommens eines Knochenleistes an Lokalisation 3</i>	68
<i>Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung des Vorkommens eines Knochenleist</i>	71
<i>Tabelle 11: Patientendaten Gruppe 1</i>	107
<i>Tabelle 12: Pferdendaten Gruppe 2</i>	109
<i>Tabelle 13: Pferdendaten Gruppe 3</i>	111
<i>Tabelle 14: Pferdendaten Gruppe 4</i>	114
<i>Tabelle 15: Befunde Gruppe 1</i>	115
<i>Tabelle 16: Befunde Gruppe 2</i>	117
<i>Tabelle 17: Befunde Gruppe 3</i>	119
<i>Tabelle 18: Befunde Gruppe 4</i>	122



## **XI. ANHANG**

### **1. Pferdedaten**

Tabelle 11 bis Tabelle 14 stellen Pferdedaten mit Alter in Jahren und Geschlecht nach den verschiedenen Gruppen dar. Das Geschlecht Hengst wurde mit „1“ notiert und das Geschlecht Stute mit „2“. In Tabelle 13 wird außerdem noch die Nutzungsrichtung der Probanden angegeben.

*Tabelle 11: Patientendaten Gruppe 1*

<b>Pferdenr.</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>
1	2	1
2	2	1
3	2	1
4	2	1
5	2	1
6	2	1
7	2	1
8	2	1
9	2	1
10	2	1
11	2	1
12	2	1
13	2	1
14	2	1
15	2	1
16	2	1
17	2	1

---

18	2	1
19	2	1
20	2	1
21	2	1
22	2	1
23	2	1
24	2	1
25	2	1
26	2	1
27	2	1
28	2	1
29	2	1
30	2	1
31	2	1
32	2	1
33	2	1
34	2	1
35	2	1
36	2	1
37	2	1
38	2	1
39	2	1
40	2	1
41	2	1
42	2	1
43	2	1
44	2	1
45	2	1
46	2	1

47	2	1
48	2	1
49	2	1
50	2	1
51	2	1
52	2	1
53	2	1
54	2	1
55	2	1
56	2	1
57	2	1
58	2	1
59	2	2
60	2	1

*Tabelle 12: Pferdedaten Gruppe 2*

<b>Pferdenr.</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>
61	3	1
62	3	1
63	3	1
64	3	1
65	3	1
66	3	1
67	3	1
68	3	1
69	3	1
70	3	1
71	3	1

---

72	3	1
73	3	1
74	3	1
75	3	1
76	3	1
77	3	1
78	3	1
79	3	1
80	3	1
81	3	1
82	3	1
83	3	1
84	3	1
85	3	1
86	3	1
87	3	1
88	3	1
89	3	1
90	3	2
91	3	2
92	3	2
93	3	2
94	3	2
95	3	2
96	3	2
97	3	1

*Tabelle 13: Pferdedaten Gruppe 3*

<b>Pferdenr.</b>	<b>Alter</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Geschlecht</b>
98	4	1	1
99	4	1	1
100	4	1	1
101	4	0	1
102	4	0	1
103	4	0	1
104	4	0	1
105	4	0	1
106	4	1	1
107	4	0	1
108	4	1	1
109	4	1	1
110	4	1	1
111	4	1	1
112	4	1	1
113	4	1	1
114	4	1	1
115	4	1	1
116	4	1	1
117	4	1	1
118	4	0	1
119	4	1	1
120	4	1	1
121	4	0	1
122	4	1	1
123	4	0	1

---

124	4	0	1
125	4	0	1
126	4	0	1
127	4	0	1
128	4	0	1
129	4	0	1
130	4	0	1
131	4	0	1
132	4	0	1
133	4	0	1
134	4	0	1
135	4	0	1
136	4	0	2
137	4	0	2
138	4	0	2
139	4	0	2
140	4	1	2
141	4	1	2
142	4	0	2
143	4	0	2
144	4	0	2
145	4	1	2
146	4	0	2
147	4	0	2
148	4	1	2
149	4	0	2
150	4	1	2
151	4	0	2
152	4	0	2

---

153	4	0	2
154	4	0	2
155	4	0	2

*Tabelle 14: Pferdedaten Gruppe 4*

<b>Pferdenr.</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>
156	7	1
157	6	1
158	6	1
159	6	1
160	6	1
161	6	1
162	6	1
163	6	1
164	6	1
165	7	2
166	7	2
167	7	2
168	6	2
169	6	2
170	6	2
171	8	1
172	8	1
173	7	1
174	7	1
175	8	1
176	8	1
177	8	1
178	8	1
179	8	1
180	8	1

**2. Befunde**

Tabelle 15 bis Tabelle 19 geben die erhobenen Befunde getrennt nach den vier Gruppen wieder. Die Spaltenbeschreibung wird folgend beschrieben:

**Grad:** Gradeinteilung der knöchernen Reaktionen im Bereich der Protuberantia occipitalis externa (Grad 0-6)

**1a:** knöcherne Reaktion an der Lokalisation 1a (0=nicht vorhanden, 1=vorhanden)

**1b:** knöcherne Reaktion der Lokalisation 1b (0=nicht vorhanden, 1=vorhanden)

**2:** knöcherne Reaktion an der Lokalisation 2 (0=nicht vorhanden, 1=vorhanden)

**Länge:** Länger der knöchernen Reaktion in mm

**3:** Knöcherne Reaktion an der Lokalisation 3 (0=nicht vorhanden, 1=vorhanden)

*Tabelle 15: Befunde Gruppe 1*

Patientenr.	Grad	1a	1b	2	Länge	3	Länge
1	2	0	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	1	3,42
5	3	0	1	1	3,2	1	2,5
6	0	1	0	0	0	0	0
7	5	0	1	0	0	0	0
8	0	1	0	1	8,1	0	0
9	3	1	0	0	0	0	0
10	4	1	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	1	3,2
13	0	1	0	0	0	0	0

14	0	1	0	0	0	0	0
15	1	1	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0
17	1	1	0	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0	0	0
19	3	1	0	0	0	0	0
20	2	1	0	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0
23	0	1	0	1	4,8	0	0
24	2	1	0	0	0	0	0
25	2	1	0	0	0	0	0
26	2	1	0	0	0	1	6,05
27	0	1	0	0	0	0	0
28	4	1	0	0	0	0	0
29	0	1	0	0	0	0	0
30	3	1	0	0	0	0	0
31	0	1	0	0	0	0	0
32	4	1	0	0	0	0	0
33	5	1	0	0	0	0	0
34	0	1	0	0	0	0	0
35	1	1	0	0	0	0	0
36	0	1	0	0	0	0	0
37	0	1	0	0	0	0	0
38	0	1	0	0	0	0	0
39	0	1	0	0	0	0	0
40	2	1	0	0	0	1	4,22
41	0	1	0	0	0	0	0
42	0	1	0	0	0	0	0

43	4	1	0	0	0	0	0
44	3	1	0	0	0	1	5,5
45	0	1	0	0	0	0	0
46	1	1	0	0	0	0	0
47	0	1	0	0	0	0	0
48	0	1	0	0	0	0	0
49	1	1	0	0	0	0	0
50	5	0	1	0	0	0	0
51	0	1	0	0	0	0	0
52	0	1	0	0	0	0	0
53	2	1	0	0	0	0	0
54	0	1	0	0	0	0	0
55	6	1	0	0	0	0	0
56	0	1	0	0	0	0	0
57	0	1	0	0	0	0	0
58	4	1	0	0	0	0	0
59	0	1	0	0	0	0	0
60	2	1	0	0	0	0	0

*Tabelle 16: Befunde Gruppe 2*

<b>Patientenr.</b>	<b>Grad</b>	<b>1a</b>	<b>1b</b>	<b>2</b>	<b>Länge</b>	<b>3</b>	<b>Länge</b>
61	2	0	1	0	0	0	0
62	1	1	0	0	0	0	0
63	1	1	0	0	0	0	0
64	0	1	0	0	0	1	3,42
65	3	0	1	1	3,2	1	2,5
66	0	1	0	0	0	0	0
67	5	0	1	0	0	0	0
68	0	1	0	1	8,1	0	0

69	3	1	0	0	0	0	0
70	4	1	0	0	0	0	0
71	0	1	0	0	0	0	0
72	0	1	0	0	0	1	3,2
73	0	1	0	0	0	0	0
74	0	1	0	0	0	0	0
75	1	1	0	0	0	0	0
76	0	1	0	0	0	0	0
77	1	1	0	0	0	0	0
78	0	1	0	0	0	0	0
79	3	1	0	0	0	0	0
80	2	1	0	0	0	0	0
81	0	1	0	0	0	0	0
82	0	1	0	0	0	0	0
83	0	1	0	1	4,8	0	0
84	2	1	0	0	0	0	0
85	2	1	0	0	0	0	0
86	2	1	0	0	0	1	6,05
87	0	1	0	0	0	0	0
88	4	1	0	0	0	0	0
89	0	1	0	0	0	0	0
90	3	1	0	0	0	0	0
91	0	1	0	0	0	0	0
92	4	1	0	0	0	0	0
93	5	1	0	0	0	0	0
94	0	1	0	0	0	0	0
95	1	1	0	0	0	0	0
96	0	1	0	0	0	0	0
97	0	1	0	0	0	0	0

Tabelle 17: Befunde Gruppe 3

Patientenr.	Grad	1a	1b	2	Länge	3	Länge
98	1	1	0	0	0	1	5,21
99	1	1	0	0	0	1	8,95
100	2	1	0	0	0	0	0
101	6	1	0	0	0	0	0
102	5	0	1	0	0	0	0
103	2	1	0	1	4,1	0	0
104	2	1	0	0	0	0	0
105	5	0	1	0	0	0	0
106	0	1	0	0	0	0	0
107	1	1	0	1	4,8	0	0
108	5	0	1	0	0	0	0
109	5	1	0	1	2,3	0	0
110	0	1	0	0	0	1	8,32
111	0	1	0	0	0	0	0
112	0	1	0	0	0	0	0
113	6	0	1	0	0	0	0
114	3	1	0	0	0	0	0
115	5	1	0	1	8,1	0	0
116	3	0	1	0	0	0	0
117	0	1	0	0	0	0	0
118	3	0	1	0	0	1	5,32
119	0	1	0	0	0	0	0
120	0	1	0	0	0	0	0
121	0	1	0	0	0	0	0
122	0	1	0	0	0	0	0
123	0	1	0	0	0	0	0
124	0	1	0	0	0	0	0

125	0	1	0	0	0	0	0
126	0	1	0	0	0	0	0
127	5	0	1	0	0	0	0
128	0	1	0	0	0	0	0
129	1	1	0	0	0	0	0
130	3	1	0	0	0	0	0
131	0	1	0	0	0	0	0
132	0	1	0	0	0	0	0
133	4	1	0	0	0	0	0
134	5	0	1	0	0	0	0
135	1	1	0	0	0	1	9,82
136	2	1	0	0	0	0	0
137	0	1	0	0	0	0	0
138	0	1	0	0	0	1	9,81
139	5	0	1	0	0	0	0
140	3	1	0	0	0	0	0
141	5	1	0	0	0	0	0
142	0	1	0	0	0	0	0
143	1	1	0	0	0	0	0
144	1	1	0	0	0	0	0
145	0	1	0	0	0	0	0
146	0	1	0	0	0	0	0
147	2	1	0	0	0	0	0
148	0	1	0	0	0	0	0
149	2	1	0	0	0	0	0
150	2	1	0	0	0	0	0
151	0	1	0	0	0	1	1,07
152	0	1	0	0	0	0	0
153	0	1	0	0	0	0	0

---

154	0	1	0	0	0	0	0
155	1	1	0	0	0	0	0

Tabelle 18: Befunde Gruppe 4

Patientenr.	Grad	1a	1b	2	Länge	3	Länge
156	2	1	0	0	0	0	0
157	0	1	0	0	0	0	0
158	4	0	1	0	0	1	7,05
159	3	0	1	0	0	1	2,88
160	2	1	0	0	0	0	0
161	2	1	0	0	0	0	0
162	5	1	0	0	0	0	0
163	0	1	0	0	0	0	0
164	0	1	0	0	0	0	0
165	3	1	0	1	5,6	0	0
166	0	1	0	0	0	0	0
167	0	1	0	0	0	0	0
168	4	1	0	0	0	0	0
169	0	1	0	0	0	0	0
170	1	1	0	0	0	0	0
171	5	0	1	0	0	0	0
172	5	0	1	0	0	1	3,89
173	3	1	0	0	0	0	0
174	3	1	0	0	0	0	0
175	0	1	0	0	0	0	0
176	1	1	0	0	0	0	0
177	5	1	0	0	0	0	0
178	0	1	0	0	0	0	0
179	3	1	0	0	0	0	0
180	4	1	0	0	0	0	0

### **XII. DANKSAGUNG**

Zu allererst gilt ein ganz besonderer Dank meinem Betreuer Dr. Michael Nowak, für die Übernahme der Betreuung der Arbeit über dieses spannende Thema. Mit seinem unermüdlichen Einsatz, seiner sehr großen fachlichen Inspiration und der konstruktiven Kritik in allen Phasen der Arbeit war er meine größte Unterstützung, ohne welche die Durchführung dieser Dissertation nicht möglich gewesen wäre.

Ein weiterer sehr großer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. H. Gerhards für die sehr gute Betreuung und die konstruktiven Anregungen.

Für die Unterstützung beim Anfertigen und Bereitstellen der Röntgenaufnahmen geht mein Dank an das Team des Gestütes Lewitz, insbesondere an TA Stefan Lumpe.

Ein besonders herzlicher Dank gebührt Dr. Karl-Josef Boening, welcher mich ermutigt hat, diese Arbeit durchzuführen und mir dieses spannende Thema initial überlassen hat.

Zu guter Letzt geht mein ganz besonderer Dank an meine Eltern, ohne die ein Studium nicht möglich gewesen wäre. Sie sind mir, wie immer, eine sehr große Unterstützung gewesen.