

# Was bewirkt das Aufrollen des Pferdehalses? - Einflüsse der Halsstellung auf die Dehnung der Weichteile

Kathrin Kienapfel und Holger Preuschhoff

## Zusammenfassung

25 Pferde verschiedener Rassen wurden veranlasst, eine Reihe von vorher festgelegten, typischen Kopf-Hals-Stellungen einzunehmen. Zu diesem Zweck wurde ein Seil vom Trensenring der einen Seite durch die Ösen eines Longiergurtes zum Trensenring der anderen Seite geführt. Der Mähnenkamm wurde in 5 Abschnitte unterteilt und die Längen dieser Segmente wurden in 7 verschiedenen Kopf-Hals-Stellungen gemessen. Von den Dornfortsätzen der vorderen Brustwirbel, welche den Widerrist bilden, wurden bei 5 Pferden auch Röntgenaufnahmen angefertigt. Das Ausmaß der Verkürzung oder Dehnung der einzelnen Segmente wurde festgestellt und die Korrelationen zwischen den Segmenten wurden geprüft. Die Hebelarme der Muskeln an der Dorsalseite des Halses wurden für verschiedene Intervertebralgelenke bestimmt und die Dehnung bzw. Verkürzung der Muskeln in den verschiedenen Kopf-Hals-Stellungen wurde ermittelt. Die häufig aufgestellte Behauptung, dass die hyperflektierte oder „Rollkur-Position“ die Muskeln bzw. die Nackenbänder „überdehnt“, kann nicht bestätigt werden. Indessen stimmen die Befunde über den Widerrist auch nicht mit früheren Angaben überein, nach denen die Hyperflexion einen Beitrag zur „Aufwölbung“ des Rückens (Ventralflexion des Rumpfes) leisten soll. Bei allen Beugungen des Kopfes gegen den Hals (Beizäumung) üben die Muskeln und Bänder des Nackens Umlenkkräfte gegen die kopfnahen Halswirbel (C1, C2, C3) aus. Diese sind nicht viel größer als die Zugkräfte in den Muskeln und Bändern.

**Schlüsselwörter:** Kopf-Hals-Position, „Rollkur“, Hals, Genick, Tierschutz, Rücken, Halsstellung, Dehnung, Weichteile, funktionelle Morphologie

## What effects hyperflexion of the neck? The influence of the head-neck position on stretching of the soft tissue

The influence of head-neck-positions on the soft tissues of the neck was determined in a selection of various horses. 25 horses of different breeds were induced to assume a number of pre-defined head-neck-positions. This was done with the help of a rope, that was on both sides fixed to a girth and passed through the rings of the bit. The neck was divided into 5 segments and the lengths of those segments were measured in 7 selected positions. Radiographs were taken in a limited number of horses in the different positions to obtain objective, quantitative data about the distances between the spinous processes that make up the withers. The degree of stretching or shortening of the respective segments was determined and correlations were established between the segments. Furthermore, moment arms of a large number of muscles were also determined and it was established whether these structures shortened or were stretched in the various positions. With respect to the hyperflexed or “Rollkur” position, it was concluded that the often made statement that this position would “overstretch” the structures in the neck could not be confirmed, but that data concerning the effects on the withers also could not confirm earlier reports that the position would help in overall ventral flexion of the back. In all flexed positions of the head in relation to the neck, the m. splenius and/or funiculus nuchae exert redirection forces on the most cranial vertebrae C1, C2, or C3. These do hardly exceed the tensile forces in the muscles and ligaments.

**Keywords:** rolling up, head-neck-position, low-deep-round, back extension, hyperflexion of neck, soft tissue, functional morphology, animal welfare

## Einleitung

In den letzten Jahren ist eine heftige Diskussion entbrannt, ob eine bestimmte Trainingsmethode den Pferden schadet oder wertvolle gymnastische Zwecke erfüllt und spektakuläre Bewegungsabläufe begünstigt. Beim Aufrollen („Long-deep-round“, kurz LDR, „Rollkur“, „Hyperflexion“) werden mit Hilfe der Zügel Kopf und Hals des Pferdes in die Nähe des Buggelenkes gebracht, wobei die Nasen-Stirnlinie des Pferdes deutlich hinter die Senkrechte kommt (siehe Tabelle 1, Position 7). In den Regeln der FN und FEI ist nachzulesen, dass die Nase leicht vor der Senkrechten mit dem Genick als höchstem Punkt zu stehen hat. Indessen stellt auch diese Forderung ihrerseits nur eine in der Praxis bewährte Regel dar, die wissenschaftlich nicht schlüssig begründet ist. Diese Diskussion spielte sich bisher vor allem in außerwissenschaftlichen Zeitschriften und auf Tagungen ab. Eine Ausnahme stellt die umfassende Übersicht von Meyer (2010) dar. Das Hauptaugenmerk liegt in allen Erörterungen immer wieder auf dem Pferderücken, wobei dieses Wort in etwas ungenauer Bedeutung verwendet wird. Im „Rücken“ scheinen sehr viele Rittigkeitsprobleme ihren Ursprung zu haben. Diese Vorstellung ist durch die Erfahrung der Reiter gestützt und erscheint auch deshalb plausibel, weil

offenkundig das Reitergewicht zunächst einmal auf dem Rücken lastet. Indessen sind eilfertige Schlussfolgerungen schon deshalb nicht wirklich befriedigend, weil die einschlägigen Überlegungen grundlegende Erkenntnisse über den Bau des Tierkörpers und die Funktion der Wirbelsäule außer Acht lassen (Slipper 1946, Kummer 1959, van Weeren 2008, Preuschhoff 2008, Preuschhoff et al. 1994). Auch über den Pferdehals ist überraschend wenig bekannt. Oft wird, besonders in nicht-wissenschaftlicher Literatur, von einer Überdehnung des Nackenbandes in der Rollkurposition gesprochen und von einer Überdehnung von Muskeln in bestimmten Regionen. Die Entstehung einer „Genickbeule“ wird auf eine von der extremen Genickbeugung herrührenden Knochenhautreizung oder eine Schleimbeutelentzündung (= Bursitis subligamentosa nuchalis) oder eine Kalkeinlagerung unterhalb der kopfnächsten Halsmuskeln zurückgeführt. Es ist indessen noch nicht untersucht worden, welche der Muskeln und Bänder sich tatsächlich dehnen und wie weit die Dehnung geht, wenn die Hals- und Kopfstellung verändert wird.

Mit wissenschaftlichen Methoden wurde bis jetzt neben der Bewegung der Gliedmaßen (Preuschhoff et al. 1987, Loitsch

1994, Witte et al. 1995) vor allem die Kinematik des „Pferderückens“ in Zusammenhang mit verschiedenen Kopf-Hals-Stellungen untersucht. Rhodin stellte 2005 fest, dass eine Änderung der Kopf-Hals-Stellung einen Einfluss auf die Bewegung des Pferdes hat, besonders im Schritt zeigen sich bei einer hohen oder tiefen Kopfstellung Einschränkungen der Bewegungen. Weiterführende Studien (Gomez 2006; Weishaupt 2006, Rhodin 2005, 2008) zeigten, dass eine hohe Halsstellung die Schrittlänge am stärksten verkürzt, dass aber auch die extrem ventral flektierte Position (LDR, Rollkur, Hyperflexion) einen ganz ähnlichen Effekt mit sich bringt. Die untersuchten Kopf-Hals-Stellungen (HNP) sind denen in Tabelle 1 ähnlich. Bei einer hohen Halsposition wird das Gewicht des Pferdes eher nach hinten verlagert, bei einer tiefen Halsposition eher nach vorne (Weishaupt et al. 2006). Gomez et al. (2006) stellten fest, dass es bei einer tiefen Halsstellung zu einer Ventralflexion und bei einer hohen Halsstellung zu einer Dorsalextension der Brust- und Lendenwirbelsäule kommt. Außerdem führte die aufgerollte Position des Halses zu erhöhten Flexion-Extensions-Schwingungen der Wirbelsäule. Die Autoren halten es für möglich, dass diese vermehrten Schwingungen eine positive Auswirkung auf die Beweglichkeit der WS und damit eine gymnastizierende Wirkung für das Pferd haben. Eine sehr hohe Hals- und Kopfstellung schränkt hingegen die Extension-Flexion-Bewegung der Thorakal- und Lumbalwirbelsäule ein (Gomez et al. 2006). Die sehr hohe Kopfhaltung, welche die Bewegungen erheblich beeinflusst, wird generell abgelehnt. Hier herrscht Einigkeit in der Reiterwelt, sowohl bei den „Praktikern“ als auch bei den Wissenschaftlern. Kritisch beurteilt wird auch eine sehr tiefe Kopfhaltung mit einem engen Genickwinkel („Rollkur“). Nach van Weeren (2008) ist sie über einen längeren Zeitraum nicht zu empfehlen, da sie stark von der natürlichen Haltung abweicht und ausschließlich in erfahrene Hände gehört, während ungeübte Reiter damit Schaden anrichten könnten.

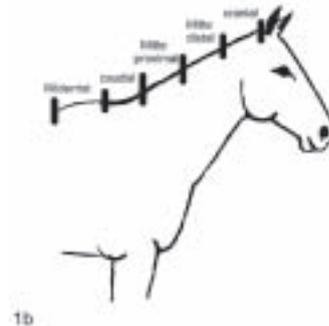
In der vorliegenden Studie soll vor allem festgestellt werden, was mit den (druckfesten) Skeletteilen und den (zugfesten) Strukturen wie Bändern und Muskeln im Pferdehals passiert, wenn er in verschiedene Kopf-Halsstellungen gebracht wird. Erst auf dieser Grundlage können die Trainingsmethoden und Ausbildungsziele sachlich beurteilt werden. Außerdem soll zusätzlich eine röntgenologische Untersuchung über die Vorgänge im Widerrist Aufschluss geben, da sich hier die Dornfortsätze am dorsalen Körpertrand befinden und gut auf einem Röntgenbild darstellbar sind, im Gegensatz zu der nur schwer im Ganzen zu röntgenden Halswirbelsäule.

## Methoden

### Messen der Länge des Mähnenkamms

25 Pferde standen für die Untersuchung zur Verfügung. Diese Stichprobe setzte sich aus 16 Großpferden, drei Ponys, zwei Kaltblütern, einem Fjordpferd, einem Haflinger, einem Tarpan-Mix und einem Irish Tinker zusammen. Da nicht alle Tiere am selben Ort untergestellt waren, wurden die Untersuchungen an verschiedenen Orten, aber unter gleich bleibenden Bedingungen untersucht. Die Pferde wurden in der ihnen vertrauten Stallgasse mit identischen Hilfsmitteln vermessen.

Zur Messung wurde als Werkzeug ein Ausbindesystem in Form einer etwa 4m langen Schnur mit je einem Karabinerhaken an beiden Enden benutzt (Abbildung 1a). Fingerfarbe diente zum Markieren der Halsabschnitte, ein Longiergurt mit halbrundem Verbindungssteg zum Befestigen der Ausbinder (Abb. 1a) und ein Maßband zum Messen der Halsabschnitte. Jedes Pferd war mit der eigenen Trense, bei gemäß der Zwei-Finger-Regel (Kienapfel und Preuschhof 2010) verschnalltem Reithalter, ausgestattet. Als erstes wurde in einer entspannten Halsstellung des Pferdes (Stellung 1, Tab. 1) der höchste Dornfortsatz am Widerrist, also derjenige des vierten bis sechsten Brustwirbels, markiert. Danach wurde die Strecke von diesem Punkt bis zum Hinterhauptsbein gemessen und in vier gleiche Abschnitte unterteilt, die markiert wurden. Die Länge eines solchen Abschnittes wurde vom höchsten Dornfortsatz noch einmal nach kaudal abgetragen, so dass insgesamt fünf



**Abb. 1** a: Longiergurt mit halbrundem Mittelsteg und Ausbinder. b: Einteilung der fünf Halsabschnitte. c: Tinker als ein Beispiel für die aufgerollten Haltung. Ein stärker flektierter Kopf-Hals-Winkel wäre wünschenswert gewesen, war jedoch bei diesem Pferd wegen massiven Widerstandes nicht erreichbar.

Abschnitte zustande kommen (Abb. 1b). Die Ausbindeschnur wurde zunächst links auf Höhe des Buggelenkes nach Art des Lauferzügels seitlich am Longiergurt fixiert und durch den linken Trensenring, dann durch den obersten Ring des Longiergurtes auf dem Widerrist geführt, danach durch den rechten Trensenring zum Gurt in Höhe des rechten Buggelenkes, wo er ebenfalls fixiert wurde. Die Einstellung des Pferdekopfes erfolgte durch Anziehen der Ausbindeschnur nahe am Widerrist. In den zu untersuchenden Stellungen wurden die Halsabschnitte entlang des Mähnenkamms vermessen.

Bei der Stellung „aufgerollt“ wurde die Flexion des Kopfes bis zu einer Berührung des Pferdemauls mit dem Bug, also der

Tab. 1		Untersuchte Halsstellungen
1	Entspannte Kopfstellung (ähnlich HNP1 In Weishaupt et al. 2006)	Die von einem wachen, aber völlig entspannten Pferd eingenommene Kopf-Hals-Stellung
2	Fressstellung, lang und tief	Haltung beim Fressen vom Boden, Kopf nahe den Vorderbeinen
3	Dehnungshaltung (ähnlich der HNP6)	Erstrebte Dehnungshaltung beim Reiten
4	Arbeitshaltung, beigezümt (ähnlich HNP2)	Stirn-Nasenlinie vor der Senkrechten, höchster Punkt im Genick.
5	Dressurhaltung, aufgerichtet (ähnelt HNP 3, aber die Stirnlinie ist hier weiter vor der Senkrechten)	Stirn-Nasenlinie an der Senkrechten, stark beigezümt und aufgerichtet, höchster Punkt im Genick
6	Hoch (ähnlich HNP5, aber es wurde auf jede Flexion im Genick verzichtet)	Genickwinkel geöffnet, Kopf hoch
7	Aufgerollt (ähnlich HNP4, aber der Kopf ist etwas höher als das Buggelenk eingestellt)	Stirnlinie deutlich hinter der Senkrechten, 3. oder 4. Halswirbel höchster Punkt, Maul so eng wie möglich am Bug

Vorderbrust angestrebt, um Daten der Extrem-Haltung zu bekommen. Diese sehr stark ventral flektierte Haltung wurde gesucht, weil viele Dressurpferde auf den Abreiteplätzen tatsächlich in dieser Manier geritten werden. Da aber die von uns untersuchten Tiere diese Haltung nur manchmal duldeten, konnte die Extremstellung nicht immer erreicht werden. (siehe Abb. 1c: maximal mögliche Rollkur-Haltung bei dem Tinker) Bei der Stellung „lang und tief“, die mittels Futtergabe am Boden erreicht wurde, musste bei großen Pferden der Ausbinder entfernt werden, um die Tiere nicht zu stören. Die Stellung „hoch“ wurde ebenfalls ohne Ausbinder herbeigeführt, indem einfach der Kopf am Unterkiefer des Pferdes mit der Hand nach oben gehoben wurde.

Die unterschiedlichen Halsstellungen sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Für die Abschätzung der Dehnungen von Bändern und Muskeln wurden auf geeigneten Abbildungen in Seitenansicht (Nickel et al. 1968) deren Wirkungslinien in den jeweiligen Abschnitten eingetragen und die Hebelarme ermittelt, indem vom entsprechenden Gelenk ein Lot auf die Wirkungslinie des Bandes oder Muskels gefällt wurde. Als Längeneinheiten (LE) wurden die Millimeterangaben des Programmes „CoreDRAW“ verwendet. Vom Buggelenk bis zum höchsten Dornfortsatz beträgt der Abstand im genannten Programm 53,4 mm, an einem ca. 162 cm großen Pferd 68 cm. Ein Millimeter im Programm „CoreDRAW“ würde an diesem Pferd 1,27 cm entsprechen.

#### Statistik

Für die Signifikanzprüfung wurde sowohl für die Halsmessungen als auch für die Röntgenauswertung der T-Test für verbundene Stichproben verwendet. Außerdem wurde eine Varianzanalyse nach der Scheffé-Prozedur für die einzelnen Halsabschnitte durchgeführt (Bühl und Zöfel 2005) sowie die Korrelationen nach Pearson (1901) berechnet.

#### Röntgenkontrollen des Widerristes

Die Pferde wurden sediert und mit einem weit nach kaudal auf den Rücken geschobenen und gut festgezogenen Gurt, mit Schlaufzügeln und Halfter ausgestattet. Der Gurt musste soweit hinten liegen, dass die Dornfortsätze des Widerristes für die Röntgenaufnahmen gut zugänglich waren. Es wurde nur ein Halfter benutzt, da die sedierten Pferde mit Kraftaufwand in die gewünschten Stellungen „gebunden“ wurden. Zuerst wurden die Tiere in der Dehnungshaltung geröntgt, was in Sedierung ohne Probleme möglich war und dann mechanisch mit Halfter und stabilem Schlaufzügel erst beigezümt und zuletzt aufgerollt. Zwei Tiere wurden zusätzlich noch aufgerichtet. Die Aufnahmen wurden mit einem Philips Optimus 50 Röntgengerät aufgenommen, mit 73 kV, 12,5 mA Belichtung und 456 ms. Die Abstände zwischen den Dornfortsätzen wurden mit einem Computerprogramm markiert und ausgemessen. Um sicher zu stellen, dass die Aufnahmen vergleichbar sind, wurden die Breiten des höchsten und des zweithöchsten Dornfortsatzes in den verschiedenen Stellungen auf den Aufnahmen ausgemessen. Dann wurde die (geringe) Standardabweichung der Breitenmaße bei je einem Dornfortsatz eines jeden Pferdes in den verschiedenen Stellungen berechnet und anschließend der Mittelwert dieser

Standardabweichungen in die weiteren Überlegungen einbezogen. Während die Breiten der Dornfortsätze unveränderlich sind und deshalb Abweichungen nur aus Differenzen zwischen den Messungen, also Messfehlern resultieren, können die Abstände zwischen den Dornfortsätzen mit der Halsstellung variieren. Für die Abstände zwischen den Dornfortsätzen wurde auch in jeder Stellung die Standardabweichung berechnet und gemittelt. Die Standardabweichung muss bei der Dornfortsatzbreite klein und kann zwischen den Dornfortsätzen groß sein. Bei den Gesamtabständen wurde eine Sig-

nifikanzprüfung mit dem t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt.

## Ergebnisse

### Längen der Halsabschnitte

Die Gesamtlängen des Mähnenkammes und Widerristes in den verschiedenen Halsstellungen sind in Tab. 3 und Abb.2

**Tab 2** Längen der Abschnitte des Mähnenkammes. Durchschnittswerte aus 25 Pferden (in %). Die statistische Prüfung wurde durch Paarvergleiche aller Werte im jeweils gleichen Abschnitt vorgenommen. Die nicht signifikanten Paarvergleiche sind genannt. Die Ziffern bezeichnen die Varianten in der Spalte ganz links.

	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanzprüfung
<u>1 Entspannt</u>			
1. Kranial	20,0000	0,0000	
2. Mitte distal	20,0000	0,0000	
3. Mitte proximal	20,0000	0,0000	
4. Kaudal	20,0000	0,0000	
5. Widerrist	20,0000	0,0000	
<u>2 Lang und Tief</u>			
1. Kranial	16,0800	1,2596	22 mal signifikant. 3 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 2.5 mit 6.5, 2.2. mit 3.2. und 2.5. mit 4.5.
2. Mitte distal	20,3560	0,8165	
3. Mitte proximal	21,7920	0,8291	
4. Kaudal	22,0800	1,2066	
5. Widerrist	19,6760	0,6234	
<u>3 Dehnungshaltung</u>			
1. Kranial	18,6440	1,0202	23 mal signifikant, 2 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 3.2. mit 2.2. und 3.5. mit 6.5.
2. Mitte distal	20,0720	0,7185	
3. Mitte proximal	20,2760	0,6064	
4. Kaudal	21,0000	1,2335	
5. Widerrist	20,0080	0,6589	
<u>4 Beigezäumt</u>			
1. Kranial	20,8760	0,6960	17 mal signifikant, 8 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 4.1. mit 6.1. , 4.1. mit 7.1., 4.2. mit 6.2., 4.3. mit 5.3., 4.3. mit 6.3., 4.4. mit 7.4., 4.5. mit 5.5., 4.5. mit 2.5.
2. Mitte distal	20,9360	0,7353	
3. Mitte proximal	19,7520	0,5767	
4. Kaudal	19,0880	1,0134	
5. Widerrist	19,1417	0,8346	
<u>5 Aufgerichtet</u>			
1. Kranial	21,9000	1,0255	21 mal signifikant, 4 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 5.3. mit 4.3., 5.5. mit 4.5., 5.2. mit 7.2. und 5.3. mit 6.3.
2. Mitte distal	21,6000	0,8963	
3. Mitte proximal	19,7380	0,8291	
4. Kaudal	17,8280	1,1066	
5. Widerrist	18,9360	1,5411	
<u>6 Hoch</u>			
1. Kranial	20,5800	1,0882	17 mal signifikant, 8 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 6.5. mit 2.5., 6.5. mit 3.5., 6.1. mit 4.1. 6.2. mit 4.2., 6.3. mit 4.3., 6.3. mit 5.3., 6.1. mit 7.1. und 6.4. mit 7.4.
2. Mitte distal	20,9560	0,8540	
3. Mitte proximal	19,7480	0,6832	
4. Kaudal	18,6120	0,8555	
5. Widerrist	20,0840	1,1309	
<u>7 Aufgerollt</u>			
1. Kranial	20,7280	1,1859	20 mal signifikant, 5 mal keine Signifikanz bei Vergleich von 7.1. mit 4.1., 7.4. mit 4.4., 7.2. mit 5.2. 7.1. mit 6.1. und 7.4. mit 6.4.
2. Mitte distal	21,5160	1,0053	
3. Mitte proximal	20,8360	0,9941	
4. Kaudal	18,8320	1,0969	
5. Widerrist	18,0360	1,3892	

wiedergegeben. Da der „lang und tief“ stehende Hals beim Fressen am Boden am längsten gedehnt ist, wurde diese Position zum Vergleich herangezogen und als Ausgangswert (100%) gewählt. In der „Dehnungshaltung“ sind Hals und Widerrist mit 86,5% der größten Länge fast gleich lang wie in der „aufgerollten“ Position mit 85,9%. In der „beigezäumten“ Position ist der Mähnenkamm mit 78 % kürzer, in der „aufgerichteten“ Position beträgt seine Länge nur 75 %. Am kürzesten ist der Hals in der „hohen“ Position mit 70%.

Der kopfnächste, kraniale Hals-Abschnitt (Tab. 2) zeigt bei einem weiten Winkel von Kopf und Hals, z.B. bei „lang und

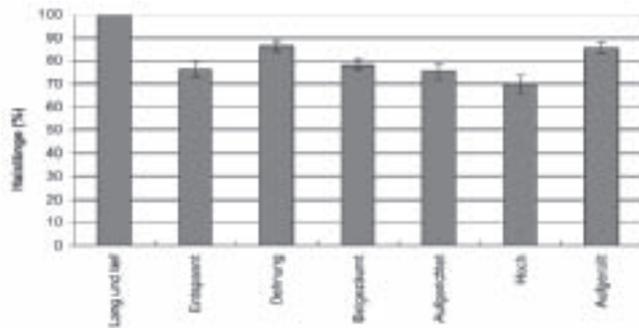


Abb. 2 Gesamte Halslängen in den verschiedenen Stellungen.

Tab. 3 Halslängen insgesamt (in % der größten Halslänge).  
SD = Standardabweichung.

Position	Mittelwert	SD
Lang und tief	100,0000	
Entspannt	76,4833	3,1374
Dehnung	86,4520	2,3125
Beigezäumt	78,2040	2,3192
Aufgerichtet	75,3320	3,0673
Hoch	70,0160	3,9608
Aufgerollt	85,8600	2,3144

tief“ und in der Dehnungshaltung kleine Werte, also eine Stauchung des Kamms in diesem Abschnitt. Hingegen zeigen sich bei engen Genickwinkeln, nämlich beim Beizäumen oder beim Aufrollen größere Werte, also stärkere Dehnungen des Mähnenkamms.

Der distal-mittlere Abschnitt (Mitte distal) ist bei der tiefen Stellung kaum gedehnt, beim Fressen am Boden nur wenig mehr. Bei der hohen und beigezäumten Stellung ist dieser Abschnitt deutlich gedehnt und eine besonders starke Dehnung erfährt er bei kleinen Hals-Kopf-Winkeln, nämlich bei der aufgerollten und der aufgerichteten Halsstellung.

Der proximal-mittlere Abschnitt (Mitte proximal) ist beim Fressen am Boden am meisten gedehnt, etwas weniger in der aufgerollten Stellung. Dieser Abschnitt erfährt in der Dehnungshaltung nur eine geringe Verlängerung. Sowohl bei der beigezäumten, als auch bei der hohen und aufgerichteten Stellung zeigt sich eine leichte Stauchung des Abschnittes „Mitte proximal“.

Der vierte, am weitesten kaudal liegende Halsabschnitt ist bei der Stellung „lang und tief“ stark gedehnt und wird auch in der Dehnungshaltung etwas verlängert. Leicht gestaucht ist er in der beigezäumten Stellung, etwas deutlicher in der hohen und der aufgerollten. Am deutlichsten wird der kaudale Halsabschnitt in der aufgerichteten Stellung gestaucht.

Der sich an den kaudalen Halsabschnitt anschließende Widerrist ist überraschend nur in der Dehnungshaltung und der hohen Position ganz leicht verlängert. Beim Fressen am Boden wird er jedoch etwas gestaucht. Ebenfalls überraschend ist, dass er bei der „hohen“ Stellung den größten Dehnungswert erreicht. Absolut gesehen ist aber auch diese Dehnung sehr gering. In beigezäumter und aufgerichteter Haltung ist der Widerrist verkürzt und am kürzesten in der aufgerollten Stellung.

#### Statistische Prüfung der Signifikanz sowie der Korrelation der Werte

Um festzustellen, ob der Hals in den unterschiedlichen Stellungen einheitlichen Dehnungen oder Stauchungen unterliegt oder ob zwischen den Stellungen Unterschiede vorliegen, wurden die Signifikanzen der gemessenen Werte in Paarvergleichen errechnet. Insgesamt ergaben die t-Tests 63-mal Signifikanz und 12-mal keine Signifikanz der Unterschiede zwischen den Werten, also sind 84% der festgestellten Differenzen signifikant. Die größeren Standardabweichungen ergaben sich im kranialen Halsabschnitt und bei der „aufgerollten“ Stellung. Auch der Widerrist wies von der „beigezäumten“ bis zur „aufgerollten“ Stellung (Tab. 2) hohe Standardabweichungen auf. Wie man aus der Signifikanz der Messwerte sieht, sind die einzelnen Halsabschnitte in verschiedenen Stellungen ganz unterschiedlichen Dehnungen bzw. Stauchungen ausgesetzt. Nur bei ganz ausgeprägten Streuungen konnte keine Signifikanz der Unterschiede nachgewiesen werden. Es bestehen also keineswegs die einfachen Zusammenhänge, die in bisherigen Veröffentlichungen immer wieder vorausgesetzt wurden.

In der Korrelationsrechnung ergab sich ein positiver Zusammenhang zwischen den beiden kopfnahen Abschnitten (kranial, Mitte distal), sowie zwischen den beiden rumpfnahen Abschnitten (Mitte proximal, kaudal). Die beiden kranialen Abschnitte sind hingegen negativ mit den beiden kaudalen Abschnitten korreliert. Der Widerrist ist negativ mit den beiden kranialen Abschnitten, sowie mit „Mitte proximal“ korreliert. Der kaudale Abschnitt steht in einer schwach positiven Korrelation zur Widerristlänge.

#### Röntgenaufnahmen

Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen im Widerrist ist in der Dehnungshaltung immer signifikant größer als in der beigezäumten Stellung. In der aufgerichteten Stellung, in der nur zwei Pferden geröntgt werden konnten, ist der Abstand ganz wenig kleiner als bei der „entspannten“ Stellung. In der „aufgerollten“ Stellung konnten keine einheitlichen Ergebnisse erzielt werden, deswegen ergab sich hier auch keine signifikante Aussage. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5 und den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Die Mittelwerte der Standardabweichung zwischen den einzelnen Stellungen sind deutlich größer als zwischen den einzelnen Dornfortsatzbrei-

ten. Da diese anatomisch vorgegebene, für jedes Pferd konstante Größen sind, waren nur wegen der Messfehler geringe Abweichungen zu erwarten (Tab. 6).

Jedenfalls ändert sich die Widerristlänge mit dem Variieren der Halshöhe. Bei einer tiefen Halshaltung sind die Dornfortsätze auseinander gezogen und bei einer hohen Halshaltung

zusammen geschoben. Mit diesem Befund werden die Ergebnisse von *Fauquex* (1982) bestätigt. Die Messungen an den Röntgenaufnahmen sind zuverlässiger als die Längen-Messungen auf der Haut am Widerrist. Es erscheint sinnvoll, die Röntgen-Aufnahmen mit einer größeren Stichprobenanzahl zu wiederholen, um mehr signifikante Ergebnisse zu erhalten, besonders im Bezug auf die aufgerollte Position.

**Tab. 4** Korrelationen

		1. Kranial	2. Mitte distal	3. Mitte proximal	4. Kaudal	5. Widerrist
1. Kranial	Korrelation nach Pearson	1,000	,524**	-,663**	-,866**	-,324**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000
	N	150	150	150	150	150
2. Mitte distal	Korrelation nach Pearson	,524**	1,000	-,182*	-,622**	-,632**
	Signifikanz (2-seitig)			,026	,000	,000
	N	150	150	150	150	150
3. Mitte proximal	Korrelation nach Pearson	-,663**	-,182*	1,000	,451**	-,211**
	Signifikanz (2-seitig)		,026		,000	,009
	N	150	150	150	150	150
4. Kaudal	Korrelation nach Pearson	-,866**	-,622**	,451**	1,000	,163*
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000		,047
	N	150	150	150	150	150
5. Widerrist	Korrelation nach Pearson	-,324**	-,632**	-,211**	,163*	1,000
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,009	,047	
	N	150	150	150	150	150

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. \* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

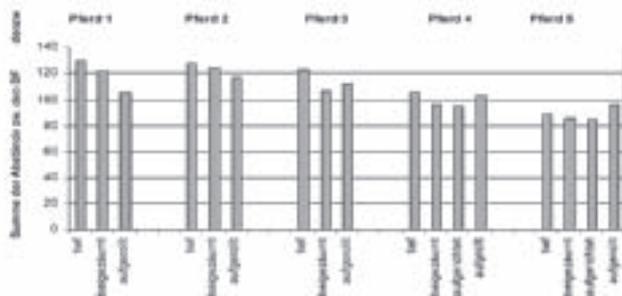
**Tab. 5** Abstände zwischen den Dornfortsätzen des Widerristes in 7 verschiedenen Halsstellungen bei 5 Pferden in [mm]. Vermessen wurden die 6 Dornfortsätze, die oberhalb der Scapula erkennbar sind. Sie sind in der obersten Spalte mit den Ziffern Df1 – Df6 bezeichnet.

Hals-Stellung		Df1 - Df2	Df2 - Df3	Df3 - Df4	Df4 - Df5	Df5 - Df6	Summe	Mittelwert der SD
Pferd 1	Dehnung	14,0000	27,0000	30,0000	30,0000	29,0000	130	
	beigezümt	13,0000	24,0000	29,0000	28,0000	28,0000	122	
	eng	13,0000	17,0000	21,0000	270,0000	28,0000	106	
	SD	0,5774	5,1316	4,9329	1,5275	0,5774		2,5493
Pferd 2	Dehnung	20,0000	19,0000	28,0000	29,0000	32,0000	128	
	beigezümt	20,0000	19,0000	26,0000	27,0000	26,0000	118	
	eng	20,0000	20,0000	28,0000	29,0000	28,0000	125	
	SD	0,0000	0,5774	1,1547	1,1547	3,0551		1,1884
Pferd 3	Dehnung	17,0000	21,0000	27,0000	28,0000	30,0000	123	
	beigezümt	15,0000	17,0000	24,0000	25,0000	26,0000	107	
	eng	14,0000	18,0000	26,0000	27,0000	28,0000	113	
	SD	1,5275	2,0817	1,5275	1,5275	2,0000		1,7328
Pferd 4	Dehnung	12,0000	19,0000	24,0000	25,0000	26,0000	106	
	normal	11,0000	17,0000	23,0000	23,0000	22,0000	96	
	aufgerichtet	12,0000	19,0000	22,0000	21,0000	21,0000	95	
	eng	12,0000	18,0000	24,0000	23,0000	26,0000	103	
	SD	0,5000	0,9574	0,9574	1,6330	2,6300		1,3356
Pferd 5	Dehnung	12,0000	16,0000	20,0000	21,0000	20,0000	89	
	normal	11,0000	15,0000	18,0000	21,0000	21,0000	86	
	aufgerichtet	10,0000	16,0000	18,0000	21,0000	20,0000	85	
	eng	10,0000	16,0000	21,0000	24,0000	25,0000	96	
	SD	0,9574	0,5000	1,5000	1,5000	2,3805		1,3676
								1,6347

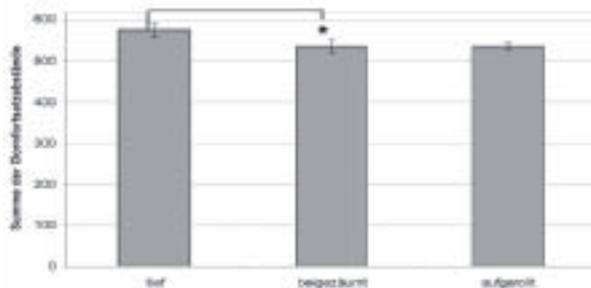
*Biomechanische Überlegungen zu Aufbau und Statik des Halses, Wirkung der betroffenen Muskeln*

Der Hals eines Wirbeltieres ist aus Wirbeln zusammengesetzt, die gegeneinander beweglich sind. Die Bewegungen werden durch Zugstrukturen (Bänder oder Muskeln) kontrolliert. Diese Zugstrukturen üben Druckkräfte auf die Halswirbelkörper aus, auch wenn der Hals mehr oder weniger waagrecht getragen wird. Zwischen den benachbarten Halswirbelkörpern muss ein Gleichgewicht der Momente bestehen. Nach unten, im Sinne einer Ventralflexion, wirkt die Gewichtskraft des distal vom betrachteten Wirbel liegenden Kopfes und der distalen Hals-Abschnitte unter dem Einfluss der Gravitation (Abb.5). Die Kraftmomente der Muskeln bzw. der Nackenbänder (Abb. 6) wirken zumeist nach oben, im Sinn einer Dorsalflexion. Momente sind das Produkt aus einer Kraft und ihrem Hebelarm. Manche der Strukturen erstrecken sich über die ganze Länge des Halses (Funiculus nuchae), andere nur

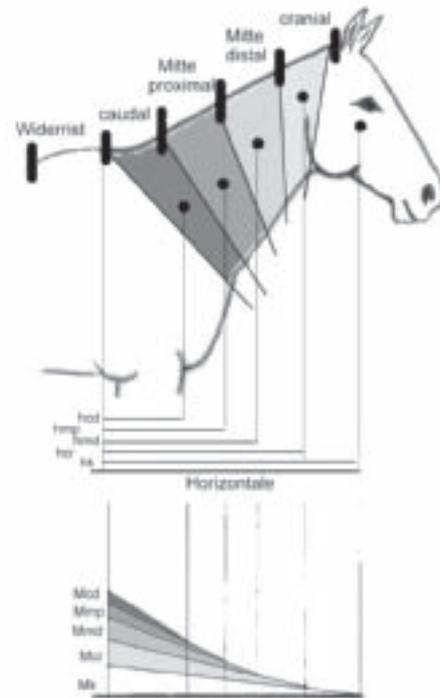
über Teile der Halslänge (Fasern der Lamina nuchae, fast alle Muskeln). Ihre Wirkung ergibt sich aus der Kraft, die sie ausüben, multipliziert mit der Länge ihres jeweiligen Hebelarmes. Die Stauchung eines Abschnittes bedeutet möglicherweise eine aktive Kontraktion der hier liegenden Muskeln. Genauere Information hierzu sind nur mittels EMG zu erlangen, die weit über den Rahmen dieser Arbeit hinaus geführt hätten. Kürzer werdende Bänder geben immer weniger Kraft ab, so dass die Muskeln mehr Zugkraft erzeugen müssen. Bei der Dehnung eines Kammabschnittes wird jedenfalls die darunter liegende Struktur länger. Wegen ihrer Elastizität geben sowohl Muskeln (Rao 1998, Witte et al. 1997) als auch Bänder bei Vordehnung mehr elastische Kraft ab. Wie viel Kraft die jeweilige Struktur erzeugt, hängt von ihrer Längendehnungskurve



**Abb. 3** Summe der Abstände zwischen den Dornfortsätzen in den verschiedenen Halsstellungen



**Abb. 4** Gesamtsumme aller Abstände der Dornfortsätze in verschiedenen Halsstellungen (der Stern kennzeichnet einen statistisch signifikanten Unterschied (p 0,05))



**Abb. 5** Das Gewicht der Halsabschnitte (oben) multipliziert sich mit den Hebelarmen hcd–hk zu Biegemomenten (Mcd-Mk; unten). Diese addieren sich entlang des Halses und ihre Summe nimmt dann zur Halsbasis hin exponentiell zu. Am Widerrist kommt die Summe der Momente aller Halsabschnitte zur Wirkung. hk: Hebelarm des Kopfgewichtes, hcr: Hebelarm des cranialen Halsabschnittes, hmd: Hebelarm des Abschnittes Mitte-distal, hmp: Hebelarm von Mitte proximal, hcd: Hebelarm des caudalen Halsabschnittes. M: Biegemomente, cd, mp, md, cr, k: Abschnitte wie oben.

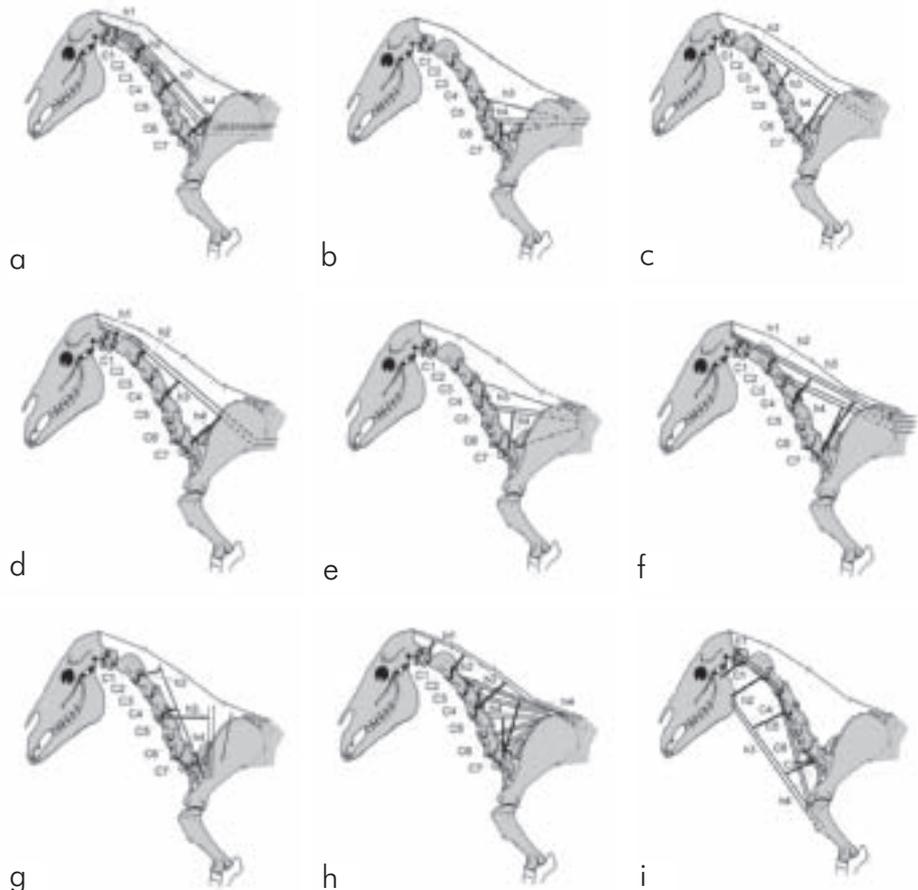
**Tab. 6** Vergleich der Breite des höchsten und des zweithöchsten Dornfortsatzes bei 5 Pferden in [mm].

Pferde		Tief	Beigezäumt	Aufgerichtet	Aufgerollt	Standardabweichungen
Pferd 1	Höchster Dornfortsatz	27	26	-	26	0,5774
	Zweithöchster Dornfortsatz	30	29	-	30	0,5773
Pferd 2	Höchster Dornfortsatz	35	35	-	34	0,5774
	Zweithöchster Dornfortsatz	31	31	-	31	0
Pferd 3	Höchster Dornfortsatz	34	32	-	33	1
	Zweithöchster Dornfortsatz	35	33	-	35	1,1547
Pferd 4	Höchster Dornfortsatz	36	36	37	35	0,8165
	Zweithöchster Dornfortsatz	31	32	33	31	0,9574
Pferd 5	Höchster Dornfortsatz	40	41	40	41	0,5773
	Zweithöchster Dornfortsatz	37	38	37	38	0,5774
Mittelwert Standardabweichung						0,6815

ab. Angaben hierzu liegen für den Hals nicht vor, für die Gliedmaßen gibt es gut begründete Schätzungen bei Witte et al. (1997). Die oft vermutete generelle „Überdehnung“ des Halses in der aufgerollten Haltung ist aber nicht zu befürchten, denn die größten Längen des ganzen Halses wurden nicht in der Hyperflexion, sondern in so alltäglichen Tätigkeiten wie Nahrungsaufnahme vom Boden beobachtet. Wenn die Zugstrukturen (Bänder oder Muskeln) gezwungen sind ihre Richtung zu ändern, üben sie an der Umlenkstelle (dem

sog. Hypomochlion) eine „Umlenkraft“ aus. Diese ergibt sich aus  $2 \cdot \cos \alpha \cdot \text{Kraft}$ , wobei  $\alpha$  der halbe Winkel zwischen den Teilkräften ist. Diese Umlenkkräfte sind wegen der recht weit geöffneten Winkel zwischen dem oberen Halsbereich und dem Kopf nicht allzu hoch. Der Verdacht, dass durch Überzäumung Knochenhautreizungen oder Schleimbeutelentzündungen, die sog. „Genickbeulen“, d.h. lange anhaltende gesundheitliche Probleme und Schmerzen hervorgerufen werden ist fraglich (Abb. 7).

**Abb. 6** Mechanische Wirkung der Strukturen des Halses. Die Bänder bzw. Muskeln sind auf ihre Wirkungslinien (Doppellinien) reduziert und ihre Hebelarme gegenüber den Gelenken zwischen den Halswirbeln sind eingetragen. **6a:** Oben *M. longissimus capitis*, der Hebelarm des kranialen Abschnittes gegenüber dem Gelenk zwischen C1 und C2 ist extrem kurz, die dorsalflektierende Wirkung des Muskels deshalb zweifelhaft. Darunter *M. longissimus atlantis*, die Hebelarme sind an den Gelenken zwischen C2 und C3, C3 und C4, C4 und C5 sowie zwischen C7 und Th1 dargestellt. **6b:** *M. longissimus cervicis*, von diesem fächerartig ausgebreiteten Muskel wurden neben der Wirkungslinie (Doppellinie) auch die Randfasern (einfache Linien) eingezeichnet, gestrichelte Linien zeigen den Verlauf unterhalb des Schulterblattes. **6c:** *M. rhomboideus*, dessen Fasern enden zum großen Teil bereits caudal des 3. Halswirbels an einer Bindegewebsplatte, die eine Verbindung mit der anderen Halsseite herstellt. **6d:** *M. semispinalis capitis*, die Doppellinie zeigt die Wirkungslinie des gesamten Muskels, gestrichelte Teile sind vom Schulterblatt überdeckt. **6e:** *M. serratus cervicis*, die punktierte Linie zeigt den Ansatz unter dem Schulterblatt. Die einfache Linie zeigt die vordere Begrenzung, die Doppellinie die Wirkungslinie des ganzen Muskels. **6f:** *M. splenius capitis* und *M. splenius cervicis* **6g:** *M. trapezius*. Um im 2. Halsabschnitt den Hebelarm (h2) ermitteln zu können, wurden die Randfasern (einfache Linien) zur Hilfe genommen. **6h:** Funiculus (dorsal) und Fasern der Lamina nuchae unterhalb des Funiculus. **6i:** Die „Unterhalsmuskeln“ die nur zum Beugen des Halses nach ventral, aber nicht zum Erhalten des Gleichgewichts gegenüber dem Kopfgewicht eingesetzt werden: *M. sternomandibularis* (ventral) und *brachiocephalicus* (dorsal), zu dem der (nicht dargestellte) *M. scalenus costae primae* ganz eng parallel verläuft.



**Tab. 7** Geschätzte Hebelarme der Muskeln in den vier Halsabschnitten in [cm]. Zugrunde liegen die Skizzen der Abb. 6 und die dort gemessenen Strecken wurden auf Pferdegröße umgerechnet.

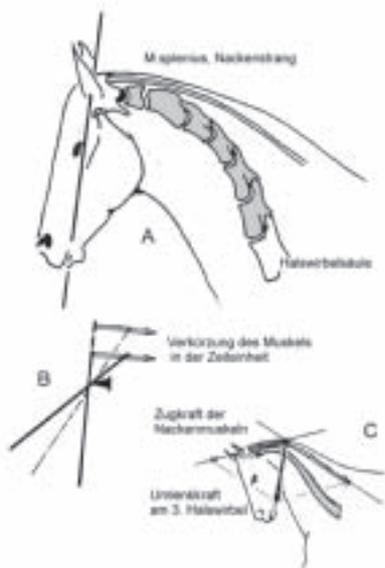
	kranial	Mitte distal	Mitte proximal	kaudal
<i>M. sternomandibularis</i>	-	19,0	16,5	16,5
<i>M. brachiocephalicus</i>	2,0	0,0	0,0	9,0
<i>M. splenius capitis</i>	4,0	7,6	21,5	34,0
<i>M. splenius cervicis</i>	-	7,0	14,0	28,0
<i>M. longissimus capitis</i>	1,3	3,0	11,5	16,5
<i>M. longissimus atlantis</i>	-	4,5	11,5	15,0
<i>M. longissimus cervicis</i>	-	-	11,5	10,0
<i>M. semispinalis capitis</i>	4,2	5,7	16,5	28,0
<i>M. trapezius</i>	-	12,7	14,0	15,0
<i>M. rhomboideus</i>	-	12,7	24,0	31,0
<i>M. serratus ventralis cervicis</i>	-	2,5	7,0	18,5
Funiculus nuchae	7,5	13,3	24,0	36,0

**Tab. 8** Gedehte bzw. gestauchte Strukturen des Pferdehals in den verschiedenen Abschnitten und Stellungen. Grüne Schrift = Stauchung der Struktur, hellgrün = leichte Stauchung, rote = Dehnung der Struktur, orangerot = leichte Dehnung. Die Muskeln, die bei Stauchung, also möglicher Kontraktion, die größten Hebelarme haben, sind hier fett und unterstrichen dargestellt. Da das Nackenband immer den größten Hebelarm hat, aber nur ein Band ist, ist dies nicht unterstrichen.

Stellung	Cranial	Mitte distal	Mitte proximal	Caudal
Lang und tief	<b>Funiculus nuchae,</b> <b><u>M. semispinalis capitis,</u></b> <b><u>M. splenius capitis,</u></b> M. longissimus capitis, M. brachiocephalicus	Funiculus nuchae, M.sternomandibularis M. brachiocephalicus, M. splenius cervicis, M. splenius capitis, M. semispinalis capitis, M. longissimus capitis et atlantis, M. rhomboideus, M. trapezius,	Funiculus nuchae, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis M. splenius capitis et cervicis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M semispinalis capitis, M. serratus ventralis cervicis, M. rhomboideus, M. trapezius	Funiculus nuchae, M. splenius capitis et cervicis, M. semispinalis capitis M. rhomboideus, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius
Dehnung	Funiculus nuchae, <b><u>M. semispinalis capitis,</u></b> <b><u>M. splenius capitis,</u></b> M. longissimus capitis, M. brachiocephalicus	Funiculus nuchae, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis, M. splenius cervicis, M. splenius capitis, M. semispinalis capitis, M. longissimus capitis et atlantis, M. rhomboideus, M trapezius	Funiculus nuchae, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis M. splenius capitis et cervicis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M. semispinalis capitis, M. serratus ventralis cervicis, M. rhomboideus, M. trapezius	Funiculus nuchae, M. splenius capitis et cervicis, M. semispinalis capitis M. rhomboideus, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius
Aufgerichtet	Funiculus nuchae, M. longissimus capitis, M. brachiocephalicus, M semispinalis capitis, M. splenius capitis,	Funiculus nuchae, M. brachiocephalicus, M.sternomandibularis, M. splenius cervicis, M. splenius capitis, M. semispinalis capitis, M. longissimus capitis et atlantis, M. rhomboideus, M trapezius	<b>Funiculus nuchae,</b> <b><u>M. sternomandibularis,</u></b> <b><u>M. rhomboideus,</u></b> <b><u>M semispinalis capitis,</u></b> <b><u>M. splenius capitis</u></b> et cervicis, M. longissimus capitis, et atlantis et cervicis, M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius, M. brachiocephalicus	<b>Funiculus nuchae,</b> <b><u>M. splenius capitis et cervicis,</u></b> <b><u>M. semispinalis capitis</u></b> <b><u>M. rhomboideus,</u></b> M. brachiocephalicus, M. sternomandibularis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius
Hoch	Funiculus nuchae M. longissimus capitis M. brachiocephalicus M semispinalis capitis M. splenius capitis	Funiculus nuchae M. brachiocephalicus M.sternomandibularis M. splenius cervicis M. splenius capitis M. semispinalis capitis M. longissimus capitis et atlantis M. rhomboideus M trapezius	<b>Funiculus nuchae</b> <b><u>M.sternomandibularis</u></b> <b><u>M. rhomboideus</u></b> <b><u>M semispinalis capitis</u></b> <b><u>M. splenius capitis</u></b> et cervicis, M. longissimus capitis, et atlantis et cervicis M. serratus ventralis cervicis M. trapezius M. brachiocephalicus	<b>Funiculus nuchae</b> <b><u>M. splenius capitis et cervicis</u></b> <b><u>M. semispinalis capitis</u></b> <b><u>M. rhomboideus</u></b> M.brachiocephalicus M.sternomandibularis M. longissimus capitis et atlantis et cervicis M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius
Aufgerollt	Funiculus nuchae M. longissimus capitis M. brachiocephalicus M semispinalis capitis M. splenius capitis	Funiculus nuchae M. brachiocephalicus M.sternomandibularis M. splenius cervicis M. splenius capitis M. semispinalis capitis M. longissimus capitis et atlantis M. rhomboideus M. trapezius	Funiculus nuchae, M. brachiocephalicus, M. sternomandibularis, M. splenius capitis et cervicis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis, M semispinalis capitis, M. serratus ventralis cervicis, M. rhomboideus, M. trapezius	<b>Funiculus nuchae</b> <b><u>M. splenius capitis et cervicis</u></b> <b><u>M. semispinalis capitis</u></b> <b><u>M. rhomboideus</u></b> M. brachiocephalicus M.sternomandibularis, M. longissimus capitis et atlantis et cervicis M. serratus ventralis cervicis, M. trapezius

Ein langer Hebelarm bedeutet hohes Drehmoment, erlaubt also bei mäßigem Kräfteinsatz erhebliche Lasten zu balancieren. Ein langer Hebelarm bedeutet aber auch pro Zeiteinheit einen Verlust an Bewegungsausschlag, er bewirkt also eine langsamere Bewegung als ein kurzer. Da aber jeder Muskel und jedes Band unter einer gegebenen Last nur eine bestimmte Strecke gedehnt werden können, führt ein langer Hebelarm auch dazu, dass die Dehnbarkeit eines Bandes früher ausgeschöpft ist als bei einem kurzen Hebelarm. In kopfnahen Halsabschnitten haben alle Muskeln vergleichsweise kurze Hebelarme. Das bedeutet, dass Längenänderungen der Muskeln um wenige Zentimeter beträchtliche (und schnelle!) Bewegungsausschläge des Kopfes im Hinterhauptsgelenk verursachen (Abb. 7)..

Im kaudalen Halsabschnitt gelten hingegen umgekehrte Verhältnisse. Hier haben die Muskeln die größten Hebelarme unter allen Abschnitten und somit wird, um einen Bewegungsausschlag zu erzielen, eine Änderung um mehrere Zentimeter benötigt, so dass die Bewegungsausschläge des Halses vergleichsweise langsam erfolgen. Die langen Hebelarme sind erforderlich, da an der Halsbasis viel größere Kräfte wirken als am Kopf (Abb.5). In der Zeiteinheit verkürzt sich ein Muskel um einen konstanten Wert. Die beugende oder streckende Komponente des Muskels steht senkrecht auf der Längsachse des Kopfes. Der Hebelarm eines Muskels ist vergleichbar mit der Ankathete, die wirksame Kraftkomponente mit der Gegenkathete in einem rechtwinkligen Dreieck. Das Verhältnis Ankathete zu Gegenkathete ist gleich Cotangens, d.h. mit wachsender Hebellänge wird der Winkelausschlag



**Abb. 7** **A:** Der Kopf wird auf der Halswirbelsäule durch den Zug der Nackenmuskeln und – bei entsprechender Vordehnung – des Nackenstrangs balanciert. Beide Strukturen haben nahe am Kopf kurze Hebelarme. **B:** Vereinfachte Darstellung von A. Nur die Längsachse des Kopfes (dicke Linie) ist dargestellt. Bei Verkürzung des Muskels (Doppellinie) in einer vorgegebenen Zeit (z.B. 100 Millisekunden) führt ein kurzer Hebelarm zu einem größeren Bewegungsausschlag (durchgezogene Linie) als ein langer Hebelarm (gestrichelte Linien). **C:** Die Krümmung der Halswirbelsäule in einer Hyperflexion zwingt die Nackenmuskeln und den Nackenstrang zu einer Richtungsänderung. Dabei wird eine „Umlenkraft“ in Richtung der Winkelhalbierenden ausgeübt. Wegen der geringen Umlenkung fällt diese Umlenkraft im Hals nicht größer aus als die Zugkraft in Nackenstrang und Nackenmuskeln (an der Länge der Pfeile erkennbar).

pro Zeiteinheit immer kleiner. Die Hebelarme der Muskeln sind in der Tabelle 7 dargestellt. Die Längenangaben der Hebelarme von Muskeln sind ganz grobe Schätzungen und gelten nur für die normale, entspannte Kopfhaltung (siehe Bilder) und nur für ein bestimmtes Pferd. Dennoch geben sie allgemein gültige Anhaltspunkte für die Bedingungen, denen die Muskeln unterliegen und für ihre Wirkung.

Auf der Grundlage der Längenänderungen und der Statik des Halses können auch diejenigen anatomischen Strukturen ermittelt werden, welche die Halsstellung besonders stark beeinflussen. Die Abb. 6 zeigt in schematisierter Form die Halswirbel sowie die Bänder bzw. Muskeln des Halses (Doppellinien). Anhand dieser Bilder wurden Abschnitte für Abschnitte die gedehnten bzw. gestauchten anatomischen Strukturen ermittelt und in Tabelle 8 dargestellt.

### Diskussion

Es war zu erwarten, dass die Gesamtlänge des Halses in der Freißposition am längsten und in der hohen Position am kürzesten ist. Auch in der gedehnten und der beigezümmten Haltung folgen die Längenänderungen den Erwartungen. Interessant ist, dass die aufgerollte Position, die relativ hoch ange-setzt mit der Nase knapp an oder über dem Buggelenk ver-messen wurde, fast die gleichen Messwerte erbringt wie der gedehnte Hals.

Ungenauigkeiten könnten aufgrund unterschiedlicher Morphologie und Größe bei den gemessenen Pferden als unsichere Faktoren hinzukommen. Außerdem spielt der Futterzu-stand eine Rolle, denn gerade der von uns gemessene Mäh-nenkamm ist ein bevorzugter Ort für adipöse Ablagerungen (Fettdepot). Sicherlich kann ein kleineres Pony den Hals nicht so deutlich runden wie ein 1,80 cm großes, schlankes Warm-blut. Die Messungen wurden jedoch auf Verhältniszahlen umgerechnet und diese weisen recht einheitliche Werte auf. Besonders bei den einfach und leicht reproduzierbar herbei-zuführenden Stellungen (wie der Fressstellung) zeigten die Ergebnisse, dass bei allen Pferden ungefähr dieselben Ver-hältnisse vorliegen.

Die beiden kranial gelegenen Abschnitte folgen in Dehnung und Verkürzung dem Genickwinkel, also der Kopfstellung: Je offener das Genick, also je größer der Genickwinkel ist, desto kürzer sind die beiden kranialen Abschnitte. Die Höhe des Halses hat keinen Einfluss hierauf. Die Kürze der Hebelarme in kopfnahen Halsabschnitt zieht schnelle Bewegungen gerade des Kopfes nach sich. Das Pferd setzt diese Schnelligkeit z.B. ein, um die Auswahl von Futterpflanzen schnell vorzunehmen, Grashalme und Blätter von den Wurzeln abzureißen, Fliegen zu verscheuchen, einen Biss genau zu platzieren, oder eben um die Kopfstellung in den Gangarten an den Zügel anzu-passen. Die Reiter machen sich diese Schnelligkeit nicht zu-nutzen. Die beiden kaudal gelegenen Halsabschnitte sind in ihrem Dehnungsverhalten von der Höhe des Halses abhängig: Je höher der Hals getragen wird, desto kürzer sind die kaudalen Halsabschnitte. Die Hyperflexion des Halses folgt als ein-zige Stellung diesen Regeln nicht, hier kommt es zu einer Deh-nung von drei Abschnitten, allein der kaudale Abschnitt wird gestaucht. Alle anderen Halsstellungen führen in den beiden kaudalen Abschnitten zu einer Dehnung oder Verkürzung und

in den beiden kranialen Halsabschnitte dann jeweils zum Gegenteil. Eine Abhängigkeit von der Kopfhöhe und der Halslänge ist klar erkennbar. Sie fällt besonders im kaudalen Abschnitt deutlicher aus als im dritten Halsabschnitt (Mitte proximal). Je höher der Hals getragen wird, desto kürzer ist der kaudale Halsabschnitt, je niedriger der Hals getragen wird, desto länger ist dieser rumpfnaher Abschnitt.

Der Widerrist zeigte insgesamt weniger Änderungen in seiner Länge als die Halsabschnitte. Auch folgt er nur teilweise den oben dargelegten Regeln, da er beispielsweise in der Dehnungshaltung länger ist als in der beigezümmten Position. Wenn der Widerrist lang wird, verkürzen sich die beiden kranialen Halsabschnitte (Tabelle 2 und 4), sowie der Abschnitt „Mitte proximal“, der kaudale Abschnitt wird gedehnt. Vergleicht man die Zusammenhänge mit der Korrelationsrechnung, passen die Widerristlängen nicht zu den übrigen Beobachtungen. Daraus könnte man die Vermutung ableiten, dass die Stellung der den Widerrist bildenden Dornfortsätze zueinander evtl. nicht nur von der Halsstellung, sondern von den in dieser Studie nicht erfassten Kontraktionen der Schultergürtel- und Rumpfmuskeln abhängt. Eine zweite Möglichkeit zu einer Verfälschung der Messungen besteht in der Verschiebung der Haut gegenüber dem Skelett (vgl. unten). Eigentlich erscheint es logisch und leicht vorstellbar, dass die Dornfortsätze im Widerrist bei einem tief stehenden Hals auseinander gezogen werden (*Fauquex* (1982) und dass damit der Widerrist insgesamt länger wird. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch die geringste Länge des Widerristes in der aufgerollten Position und die größte Länge in der hohen Halsposition. Die individuell unterschiedliche Aktivität der o.g. Muskeln könnte somit auch die relativ hohe Standardabweichung des Widerristes in der aufgerollten Halsposition erklären. Eine weitere Aufklärung ist nur durch Einsatz der EMG-Technik sowie durch Vergrößerung der Stichprobe zu erzielen. Einen Einfluss auf die Stellung der Dornfortsätze könnte auch der Genickwinkel haben, weil der Nackenstrang als einzige Zugstruktur von der Hinterhauptschuppe direkt bis zum Widerrist durchläuft. Wirkt eine (elastische) Kraft im Nackenstrang, so übt er am Hinterhaupt und am Widerrist die gleiche Kraft aus. Er verfügt jedoch am Kopf über einen Hebelarm von ca. 3-4 cm und am Widerrist von 20 cm oder mehr. Je enger der Genickwinkel ist, desto stärker ist der Zug des Nackenbandes an beiden Ansätzen. Unklar ist jedoch, welche Kraft durch die Dehnung des Nackenbandes erzeugt wird, weil dessen elastische Verformung, d.h. sein E-Modul nicht bekannt ist. Zweifellos führt diese Zugkraft an dem langen Hebelarm, den die Dornfortsätze des Widerristes bedingen, zu sehr hohen Drehmomenten – aber auch nur zu einer sehr geringen Verschiebung.

Die Dehnungen bzw. Verkürzungen der Muskeln sind geringer als die Dehnungen/Verkürzungen der Kammlängen, weil die Abstände vom Drehpunkt zu den Muskelfasern kleiner sind als deren Abstände zum Mähnenkamm. Dabei bleiben die prozentualen Änderungen gleich. Der größte Längenunterschied im kranialen Abschnitt besteht zwischen der aufgerichteten Haltung (max. Dehnung) und der Fressposition (max. Stauchung), dies entspricht einer Verkürzung von ca. 26,6% Prozent. Die Zugstrukturen darunter unterliegen geringerer Veränderung. Diese kann anhand von Berechnungen bestimmt werden, indem man den ersten Strahlensatz für ähnliche Dreiecke anwendet. Z.B. würde der M. sple-

nus um ca. 15,19 % im kopfnahen Abschnitt und der M. semispinalis ähnlich um ca. 15,6% in seiner Länge verändert. Der M. brachiocephalicus, der einen recht kurzen Hebelarm im kranialen Abschnitt aufweist, würde nur eine maximale Längenänderung von ca. 7,6% erfahren. Die größten Änderungen der Längen finden im kranialen Abschnitt statt. Im mittleren distalen Abschnitt findet sich lediglich eine Längenänderung von 7,1% der Kammlänge, wenig mehr im mittleren proximalen Abschnitt mit 9,6%. Deutlich mehr ändert sich mit maximal 19,1% im kaudalen Halsabschnitt. Je länger der Hebelarm ist, desto ähnlicher ist die Dehnung des darunter liegenden Muskels der Dehnung des Mähnenkamms. Die hier festgestellten Dehnungen bewegen sich in einem realistischen Größenbereich. *Kostuj* (2001) hat anhand der Längenänderungen menschlicher Unterarmmuskeln festgestellt, dass die physiologisch relevante Verkürzung von Muskeln im Bereich von 10 % bis 30 % ihrer Länge bei der größten Dehnung liegt, die ein Muskel im Verband des Körpers erfahren kann. Die Autorin hat ihre Ergebnisse auch in Beziehung zur Sarkomerlänge und zur Filamentgleitheorie gesetzt.

Die Dehnung des Halses müsste sich, um den von interessierter Seite behaupteten Effekt einer Aufwölbung des Rückens zu erreichen, über den Widerrist auf den Rücken erstrecken. Die Messungen bestätigen dies auf keinen Fall, denn der Widerrist ist in der aufgerollten Position nicht gedehnt, sondern eher verkürzt. Auch die Röntgenaufnahmen zeigen keinen Trend zu einem verlängerten Widerrist, wie er in der Dehnungshaltung deutlich in Erscheinung tritt. Soweit kann Ansicht von *Heuschmann* (2007) bestätigt werden, dass es deutliche Unterschiede zwischen der Dehnungshaltung und der Rollkurhaltung gibt. Indessen konnte nicht bestätigt werden, dass die Folge des aufgerollten Halses ein durch das Nackenband hochgezogener („überspannter“) Rücken ist. Allerdings ist der kaudale Halsabschnitt bei der aufgerollten Position nur etwa gleichlang mit der beigezümmten Position. Aufgerollt hätte man einen größeren Wert erwartet als bei der beigezümmten Position, da der Genickwinkel in aufgerollter Stellung kleiner ist als in der beigezümmten Haltung. Die Standardabweichung ist bei der aufgerollten Position recht groß, was auf die Schwierigkeiten zurückgehen mag (siehe Methoden), eine einheitliche Stellung zu erreichen. Die „extreme“ Flexion des Genicks war unverzichtbar, um gerade deren Auswirkungen zu erfassen. Also musste dieser Kompromiss zwischen einer möglichst einheitlichen und einer im Rahmen des Möglichen ventral flektierten Kopfhaltung eingegangen werden. Dieser hat wahrscheinlich zu kleinen Ungenauigkeiten in der Statistik geführt und begründet damit möglicherweise diese Unstimmigkeit. Da der angestrebte Genickwinkel, wie oben beschrieben, nicht bei allen Pferden einheitlich erreicht werden konnte, könnte dies eine weitere Erklärung für die hohe Standardabweichung darstellen.

Es wird argumentiert, dass in der hyperflektierten Stellung die Hinterbeine freier bewegt werden und der Pferderücken mehr im Sinne von Flexion-Extensions-Bewegung schwingen kann (*Gomez et al.* 2006). Wenn man die Zunahme der Extension-Flexion-Bewegung im Pferderücken aber nicht wünscht, weil das Pferd so weniger bequem zu reiten ist und da man ja vermehrtes Untertreten der Hinterhufe und nicht vermehrtes Schwingen ohne dieses Untertreten erreichen möchte, entfällt ein wesentlicher Grund für das Aufrollen.

Gut begründete Einwendungen gegen die Rollkur hat Meyer (2010) zusammengestellt. In dem Bemühen, die Schädlichkeit der Hyperflexion zu beweisen wird immer wieder eine „Überdehnung“ der Halsstrukturen, insbesondere des Nackenbandes angenommen. Eine solche generelle Überdehnung ist aus anatomischen Gründen nicht wahrscheinlich, weil die einzelnen Zugstrukturen nur jeweils einen Teil der Hals- bzw. Rumpflänge überspannen. Am Beginn unserer Auswertung steht deshalb die Prüfung, ob die Bewegungen und Stellungen der einzelnen Halsabschnitte überhaupt miteinander verknüpft sind. Deswegen wurden die Signifikanzprüfungen vorgenommen. Für die meisten Vergleiche zwischen den Halsstellungen wurden klare Unterschiede statistisch abgesichert, d.h. sie haben Aussagekraft. Die gemessenen Stellungen wurden aus der Praxis des Reitens heraus gewählt, und nicht, um größtmögliche Längenänderungen zu erreichen. Deswegen sind sie teilweise, wie z.B. die beigezümmte und die aufgerichtete Stellung, recht ähnlich und signifikante Differenzen sind nicht unbedingt zu erwarten. Die Prüfung ergab hier tatsächlich nur in drei von fünf Abschnitten eine Signifikanz, d.h. die eingenommen Stellungen sind nicht sehr verschieden voneinander. In dem Vergleich der Stellungen „lang und tief“ und „hoch“ waren klare Unterschiede zu erwarten und in der Tat waren die Differenzen signifikant. Allein der Widerrist verhielt sich nicht den Erwartungen entsprechend. Der Widerrist ist jedoch nicht nur von den kranial befindlichen Halsabschnitten abhängig, sondern auch von der kaudal anschließenden thorakalen sowie der lumbo-sakralen Wirbelsäule und er wird auch von Muskeln der Rückens und des Schultergürtels überspannt (vgl. oben) und beeinflusst.

Da am Widerrist in der hohen Halsposition eine Dehnung festgestellt wurde und in der aufgerollten Position eine Stauung, muss auch überlegt werden, welchen Einfluss die Verschiebbarkeit der Haut hat. In früheren Untersuchungen der Bewegungsabläufe wurden Markierungen auf der Haut angebracht und mit Kameras aufgenommen (Faber 2001b, Preuschhoff et al. 1987, Loitsch 1993, Witte et al. 1995, Weishaupt 2006, Gomez 2006, Rhodin 2008). Diese Messungen sind allgemein anerkannt und haben sich gegenseitig bestätigt. Am Widerrist ist aber eine deutlichere Verschiebung der Haut möglich als z.B. an der Lendenwirbelsäule. Es ist problematisch, direkt auf die Stellung der Dornfortsätze zu schließen, obwohl diese direkt unter der Haut liegen (Faber et al. 2001, dessen Messung sich allerdings auf den Rücken beschränkte). Immerhin zeigen die Ergebnisse Tendenzen auf. Zur Präzisierung haben wir einige zusätzlich Röntgenaufnahmen machen lassen. Ohne Anwendung invasiver Verfahren, wie Röntgen-Reihenuntersuchungen in größerem Umfang, kann die genaue Lage der Dornfortsätze jedoch nicht zweifelsfrei geklärt werden

## Danksagungen

Sibylle Wiemer sei für das Bereitstellen der meisten Pferde für die Halsmessungen und ihre Unterstützung gedankt. Dank auch an die Bergische Tierklinik Heiligenhaus und Herrn Dr. Balthus, sowie Herrn Wiesmann für das Anfertigen der Röntgenaufnahmen. Herrn Dr. Heuschmann danken wir für die Unterstützung und Vermittlung vieler Kontakte und Jan Sören Koch für die höchst wirksame Unterstützung in statischen Fragen.

## Literatur

- Bühl A. und Zöfel P. (2005) SPSS 12, Einführung in moderne Datenanalyse unter Windows. Pearson-Verlag, 9. Auflage. 401
- Deutsche Reiterliche Vereinigung (1994) Richtlinien für Reiten und Fahren, Band 1, FN-Verlag. 171, 176-179
- Faber M. J., Schamhardt H. C., van Weeren P. R. and Barneveld A. (2001b) Methodology and validity of assessing kinematics of the thoracolumbar vertebral column in horses on the basis of skin-fixed markers. *Am. J. Vet. Res.* 62, 301-306
- Fauquex E. (1982) Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des Pferdes im Bereich der Sattellage in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Bewegung. Diss. Med. Vet. Zürich
- Gomez Alvarez C. B., Rhodin M., Bobbert M. F., Meyer H., Weishaupt M. A. und Johnston C. (2006) The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse, *Equine vet. J. Supplement* 36,445-451
- Hall C., Goodwin D., Heleski C., Randle H. und Waran N. (2007) Is there evidence of 'Learned Helplessness' in horses? *Proceedings of the 3rd International Equitation Science Conference*, Mi, USA. 8
- Heuschmann G. (2007) Die Rollkur (Hyperflexion) mit überspanntem Rücken (Spannrückengänger), *Finger in der Wunde*, Wu-Wei-Verlag, Schondorf am Ammersee. 90-92
- Janssen J. (2006) His philosophy of Training, *www.horsemagazine.com*, Interview von Chris Hektor
- Kleeven H. K. (2000) Die Anatomie der Muskeln, *Physiotherapie für Pferde*, FN-Verlag. 29-42
- Kostuj T. (2001) Längenänderungen der menschlichen Unterarmmuskeln in vivo. Diss. Med. Bochum
- Loitsch C. (1993) Kinematische Untersuchung über den Galopp von Pferden (*Equus caballus*). Diss. Biol. Bochum
- Meyer H. (2010) „Hyperflexion“ und „LDR“ – Die natürlich Kopf- und Halshaltung des Pferdes und deren Veränderung durch die reiterliche Einwirkung. *Pferdeheilkunde* 26, 388-413
- Nickel R., Schummer A. und Seiferle E. (1968) Anatomie der Haustiere. Paul Parey. 272, 299-303, 341-345, 349, 360
- Pearson K. (1901) On the Correlation of Characters not Quantitatively Measurable. *Philosophical Transactions of the Royal Society Of London. Series A. Vol. 195, I. Mathematical Contributions to the Theory of Evolution - VII*, pp. 1-47
- Preuschhoff H., Streitlein I., Kniesel G., Fritz M. und Hüllen-Kluge K. (1987) Studien zu den Bewegungen von Sportpferden. *Wissenschaftliche Publikation* 9, FN-Verlag, Warendorf ISBN 3-88542-194-1
- Preuschhoff H., Falaturi P. und Lesch C. (1995) Grenzen der Einwirkungen des Reiters auf das Pferd, *Tierärztl. Umsch.* 50, 511-521
- Rao J. G. (1998) Über die Rolle der Elastizität in der Lokomotion: Das Kollagen- Myosin-Titin- Modell (CMT-Modell), Diss. Bochum *Reitvorschrift* vom 18.08.1937, (1937), Verlag E.S. Mittler & Sohn GmbH, Herford
- Rhodin M. (2008) A Biomechanical Analysis of Relationship between the Head and Neck Position, Vertebral Column and Limbs in the Horse at Walk and Trot, Diss. Med., *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* vol. 1
- Rhodin M., Johnston C., Roethlisberger Holm K., Wennerstrand J. und 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, 7-11
- Van Weeren P. R., (2008): The effect of different head and neck positions on the motion patterns of the horse. *FFP Spezialheft*, 68-81
- Weishaupt M. A., Wiestner T., von Peinen K., Waldern N., Roepstorff L., van Weeren R., Meyer H. und Johnston C. (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. Supplement* 36, 387-392
- Witte H., Recknagel S., Lesch C., Rao J. G. und Preuschhoff H. (1997) Is elastic storage of quantitative relevance for the functional morphology of the human locomotor apparatus? *Acta anatomica* 158, 106-111

Prof. Holger Preuschhoff  
Aeskulapweg 18  
44801 Bochum  
holger.preuschhoff@rub.de