



Universität
Zürich ^{UZH}



Departement für Pferde/ Abteilung Sportmedizin

Wie nützlich ist die Algometrie bei der klinischen Untersuchung der Rückengesundheit von Pferden

Masterthesis
Anna Graf

genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. Michael Weishaupt
Dr. Marie Dittmann
Dr. Selma Latif

21. Januar 2020

ACCREDITED BY EAEVE/FVE

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	4
2 Summary	6
3 Einleitung	8
3.1 Die Algometrie in der Humanmedizin	8
3.2 Klinische Palpation zur Evaluation von Schmerzbereichen	9
3.3 Myofasziale Triggerpunkte	9
3.4 Physiologie der Nozizeption	12
3.5 Periphere Sensibilisierung von Nozizeptoren	12
3.6 Beeinflussung der Schmerzintensität und Schmerzunterdrückung	12
3.7 Die Algometrie in der Veterinärmedizin	13
Material und Methoden	17
4.1 Studiendurchführung und Auswahlkriterien der Pferde und Reiter	17
3.1.2 Die Studienpopulation	18
4.2 Durchführung der Messung	18
4.2.1 Der Algometer	18
4.2.2 Die Messung	20
4.2.3 Feedback	23
4.3 Statistik	23
4 Ergebnisse	24
5.1 Einflussfaktoren auf die Algometriemessung	24
5.1.1 Faktor Muskel versus Dornfortsatz	24
5.1.2 Faktor anatomische Stelle	24
5.1.3 Faktor Geschlecht	27
5.1.4 Faktor Rasse	28
5.1.5 Faktor Alter	30
5.1.6 Faktor Messung	31
5 Diskussion	32
6.1 Vergleich von Muskeln und Dornfortsatz	32
6.2 Anatomische Stelle	33
6.3 Geschlecht	33
6.4 Rasse	34
6.5 Alter	35
6.6 Repetitive Messung	35

6.7 Weiterführende Fragestellungen	36
7 Schlussfolgerung	38
8 Referenzen	39
9 Danksagung	45
10 Annex	46
10.1 3 Messungen in Folge	47

1 Zusammenfassung

Ziel: Das Ziel dieser Masterarbeit war, die Algometrie als Methode in der Diagnostik von Rückenproblemen von Pferden zu beschreiben und die im Rahmen der Rückenstudie von Herrn Prof. Dr. Michael Weishaupt und Frau Dr. Selma Latif erhobenen Algometriewerte auszuwerten und mit dem aktuellen Stand der Literatur zu vergleichen.

Einleitung: Die Algometrie wurde in der Vergangenheit sowohl in der Humanmedizin, als auch in der Veterinärmedizin in verschiedenen Studien als diagnostische Methode geprüft. Gerade in der Diagnostik von empfindlicheren Körperregionen oder schmerzhaften muskulären oder knöchernen Strukturen, wäre die Algometrie eine Möglichkeit mit viel Potenzial. Allerdings ist die Objektivierbarkeit und Präzision der Algometrie (bei Pferden) bislang noch nicht vollständig untersucht worden, da viele Faktoren die algometrische Messung beeinflussen. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag in der Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Algometriemessung aus den Ergebnissen unserer Studie und dem Stand der Literatur, sowie eine Einschätzung darüber zu geben, wie relevant die Algometrie in der Praxis sein könnte.

Material und Methode: Insgesamt wurden 237 Pferde algometriert. Bei der Studienpopulation gab es keine Rassenselektion, es waren 91 Stuten, 9 Hengste und 137 Wallache vertreten. Das Durchschnittsalter betrug 10.3 (5-18) Jahre. Die Pferde mussten den Kriterien für die Teilnahme an der Studie über die Rückengesundheit Schweizer Reitpferde entsprechen. Der verwendete Algometer war ein digitaler PAIN TEST FPX von Wagner Instruments. Die Auflagefläche von 1cm² bestand aus einem Gummistempel. Gemessen wurden die Dornfortsätze auf Höhe TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4, sowie auf dem M. longissimus dorsi. Die Messpunkte am M. longissimus wurden so gewählt, dass der Muskel sinnbildlich von der Wirbelsäule nach ventral gedrittelt wurde. Gemessen wurde dann am Übergang vom dorsalen zum mittleren Drittel auf Höhe TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4, sowie beidseits am Gluteus. Gemessen wurde von cranial nach caudal, zuerst an den Dornfortsätzen, dann muskulär zuerst die linke, dann die rechte Seite. Mithilfe von linearen Modellen wurde die Signifikanz verschiedener Einflussfaktoren (Muskeln/Dornfortsatz, anatomische Stelle, Geschlecht, Rasse, Alter, Messung) auf die Algometriewerte untersucht.

Resultate: Unsere Resultate ergaben für alle untersuchten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Algometrie. Muskeln hatten im Schnitt tiefere Algometriewerte als Dornen an allen Lokalisationen. Die Lokalisationen TH8 und TH10 ergaben die höchsten Werte an den Dornfortsätzen. Im Allgemeinen konnte ein abnehmender Trend aller Werte nach lumbal gemessen werden im Vergleich zu den thorakalen Werten. Hengste unterschieden sich nicht signifikant von Stuten und Wallachen, Stuten hatten signifikant tiefere Algometriewerte als Wallache. Beim Rasseeffekt konnte eine grosse Bandbreite an Werten gemessen werden, was auf eine grosse Varianz zwischen den verschiedenen Rassen schliessen lässt. Beim Alter zeigte sich eine Zunahme der Werte an den Dornfortsätzen und eine Abnahme der Werte bei den Muskeln mit zunehmendem Alter. Die Messungen zeigten einen leichten Abwärtstrend von Messrunde 1 zu Messrunde 3.

Diskussion: Gemäss unseren Ergebnissen beeinflussen viele Faktoren die Algometrie. Die grosse Bandbreite an Ergebnissen macht es notwendig, dass jedes Pferd in Bezug auf seine

Werte individuell beurteilt werden muss. Insbesondere die Rasse und das Geschlecht haben einen Einfluss auf die Messwerte und sollten bei der Interpretation mit einbezogen werden. Unsere Werte standen in Diskrepanz zu denen von Haussler (2006b), welche von thorakal nach lumbal zunahmen.

Die Varianz der Werte könnte einen Zusammenhang mit der Rückengesundheit des jeweiligen Pferdes haben. In einem nächsten Schritt sollten die Zusammenhänge der Algometriewerte mit den Resultaten der bildgebenden Diagnostik untersucht werden.

Schlussfolgerung: Die Algometrie ist keine hochpräzise Methode und sollte in der Diagnostik nicht alleine verwendet werden da die Werte stark von der durchführenden Person abhängen. Sie gibt aber für die Praxis relevante Anhaltspunkte über das Schmerzempfinden an der jeweiligen Messlokalisierung, wenn sie im Zusammenhang mit der Palpation interpretiert wird.

2 Summary

Objectives: The aim of this master thesis was to describe the algometry as an important tool for the diagnosis of several back problems in horses and to analyse algometry values recorded in the back health study of Prof. Dr. Michael Weishaupt and Dr. Selma Latif. We compared our findings with recent literature findings on algometry.

Introduction: Several studies in human and veterinary medicine considered the algometry as a suitable method in diagnostics. Algometry plays an important role in several kinds of diagnostics, for example in the diagnosis of sensitive body regions or painful muscles or bony structures. In horses, the objectivity and precision of this method has not been proven yet, because algometry is influenced by a variety of factors. The main focus of this master thesis was to analyse these influential factors and to compare our results with recent literature findings.

Material & Methods: Algometric measurements were taken in 237 horses. Horses were not selected for breed. The study population comprised 91 mares, 9 stallions and 137 geldings. The average of age was 10.3 (5-18) years. Eligibility of horses was based on the criteria of the back health study on Swiss riding horses. The algometer used in this study was a digital PAIN TEST FPX of Wagner Instruments. The surface had a rubber tip of 1 cm² diameter. The measurement was taken at the spinous processes of TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4, and on the transition from the dorsal to the middle third (we divided the longissimus muscle symbolic in three parts from the spine to the ventral edge) of the longissimus dorsi muscle on TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4 and both sides of the gluteus muscle. Measurements were taken from cranial to caudal, first the spinous processes and then both sides of the longissimus dorsi muscle, beginning on the left side. The significance of a variety of factors potentially influencing algometry values (muscle/spinous process, anatomical location, breed, sex, age, measurement) was assessed by the aid of linear models.

Results: In our study all investigated factors showed statistical significance. Muscles showed significant lower algometry values than the spinous processes at all locations. The spinous processes of TH8 and TH10 showed the highest values. In general, the caudal locations, especially the lumbar locations, showed lower values than the thoracic locations. Values of stallions showed no difference to the values of mares and geldings, but mares showed significantly lower values than geldings. Different breeds showed a wide variability in values, which suggests that there are big differences between breeds. With increasing age, there were slightly higher values at the spinous processes and slightly lower values at the muscle locations. The different measurements showed a slight downward trend from measurement round 1 to 3.

Discussion: Our results showed, that different factors influence algometry values. Therefore, it is important that values are interpreted for each horse individually. Especially the breed and the sex should be taken into account when interpreting algometric values, as they influenced the values. Our values differed from the ones reported by Haussler (2006b), which increased from the thoracic sites to the lumbar sites. There might be a link between the wide range in algometric values and the back health of the investigated horses. In a further step, algometry values should be compared with the results from diagnostic imaging.

Conclusion: Algomtry is no highly precise diagnostic method which should not be used on its own, as the results are highly dependent on the person performing the measurements. Nonetheless, it provides some relevant information on the sensitivity or pain at the location of interest. Therefore, algomtry is helpful in the clinical use when interpreted together with palpation or clinical examination.

3 Einleitung

3.1 Die Algometrie in der Humanmedizin

In der Humanmedizin spielt die Algometrie schon seit geraumer Zeit eine grosse Rolle und wurde bereits für verschiedenste Indikationen in diversen Studien untersucht, beispielsweise für die Diagnose von Fibrositis (Campbell et al., 1983; Moldovsky et al., 1970; Moldovsky et al., 1976), hypersensiblen Körperbereichen und Triggerpunkten (Fischer, 1984; Fischer et al., 1986; Kraus, 1981; Reeves et al. 1986), Aktivität von Arthritiden (McCarthy et al. 1965) und viszeralem Schmerz (Yamagata et al., 1976). Reeves et al. (1986) erkannten den Algometer als eine zuverlässige Methode in der Diagnostik myofaszialer Triggerpunkte. Sie konnten aufzeigen, dass der Algometer verwendet werden kann, um die spezifische Drucksensibilität solcher klinisch wichtiger Punkte zu quantifizieren. Auf die Relevanz myofaszialer Triggerpunkte wird in der Folge noch näher eingegangen.

Fischer (1987) definierte die Druckempfindlichkeit als den minimalsten Druck, welcher Schmerz oder Unbehagen hervorruft. Er beschreibt die Zuverlässigkeit der algometrischen Messung als exzellent und kommt damit auf einen Konsens mit früheren Studien, in denen Messungen anderer Körperregionen die Zuverlässigkeit der algometrischen Messung bestätigten (McCarthy et al., 1965; Merskey et al., 1962; Merskey und Spear, 1964; Reeves et al., 1986).

Fischer (1987) untersuchte den Unterschied der Druckempfindlichkeit verschiedener Muskeln zwischen Frauen und Männern und konnte feststellen, dass Männer in allen untersuchten Muskeln signifikant höhere Werte tolerierten als Frauen. Zu einem ähnlichen Schluss kamen Pelfort et al. (2015), die in ihrer Studie algometrisch die Druckempfindlichkeit an der medialen Tibia von Männern und Frauen verglichen und zu signifikant höheren Algometriewerten bei Männern kamen als bei Frauen. Fischer (1987) stellte fest, dass Muskeln in weiter unten gelegenen Körperregionen (konkret die lumbale paraspinale Muskulatur, sowie der *M. gluteus medius*) allgemein die höchsten Algometriewerte aufwiesen in beiden Geschlechtern. Die Schulterregion erwies sich mit niedrigeren Werten als sensitiver bis auf den *M. infraspinatus*, welcher näher am Durchschnitt der tiefen Rückenmuskulatur lag als an dem der Schulterregion. In der genannten Studie wurde mit einem Gummistempel und einer Auflagefläche von 1cm² gearbeitet. Die Auflagefläche von mehr als 0.5 cm² erwies sich als notwendig für die Drucktransmission in tiefere Gewebeschichten (Fischer, 1984).

Algometrisch eruierte Druckempfindlichkeiten erwiesen sich zudem als hilfreich in der Diagnostik und sie trugen zum Verständnis der Pathophysiologie von chronischen Kopfschmerzen, einschliesslich Migräne bei (Castien et al., 2018). Signifikant tiefere Algometriewerte im Bereich der cranio-cervikalen Muskeln können auf eine Sensibilisierung des trigemino-zervikalen Nucleus caudatus hinweisen. Es wird angenommen, dass diese Sensibilisierung eine grosse Rolle in der Pathophysiologie und Entstehung von chronischen Kopfschmerzen spielen könnte (Bezov et al., 2011; Chen, 2009; Filatova et al., 2008; Bernstein und Burstein, 2012; Fumal und Schoenen, 2008). Diverse Studien beschrieben signifikant tiefere Algometriewerte im Trapezmuskel bei Patienten, welche an Migräne leiden (Fernandez- De- Las- Penas et al., 2008 und 2010; Florencio et al., 2015; Grossi et al., 2011). Auch in den suboccipitalen Muskeln konnten mehrfach signifikant tiefere Algometriewerte im Zusammenhang mit Migräne gemessen werden (Fernandez- De- Las- Penas et al., 2010; Florencio et al., 2015; Grossi et al., 2011).

3.2 Klinische Palpation zur Evaluation von Schmerzbereichen

In der Humanmedizin wurde mehrmals gezeigt, dass die Palpation eine geeignete Methode zur Evaluation von schmerzhaften Bereichen ist (Andersen et al., 2002; Jacobs et al. 1995). Punkte mit hoher Druckempfindlichkeit konnten nach Andersen et al. (2002) als Risikofaktor für muskuläre Schmerzen und Druckhyperalgesie beschrieben werden.

In der Veterinärmedizin birgt die Palpation eine besondere Herausforderung, da der Patient sich nicht verbal ausdrücken kann. Trotzdem ist die Palpation gerade in der Pferdemedizin für die Untersuchung von Rückenproblemen eine wertvolle Diagnostikmethode. Wennerstrand et al. (2004) beschrieben verschiedene Schmerzzeichen von Pferden, welche während der Palpation auf Rückenprobleme hindeuten, wie beispielsweise Steigen oder Durchgehen, Schweifschlagen, schnelles Ohrenspiel, Widersetzlichkeit oder steife, ruckartige Bewegungen. Die klinische Manifestation von Rückenschmerzen bei Pferden zeigt sich in verminderter Beweglichkeit in den betroffenen Wirbelsäulensegmenten, um den schmerzhaften Bewegungen auszuweichen. Sichtbar ist unter anderem eine verminderte dorsoventrale Bewegung im caudalen thorakalen Bereich und im thorakolumbalen Übergang, sowohl im Schritt als auch im Trab (Wennerstrand et al., 2004). Die herkömmliche palpatorische Methode mit der Verwendung einer Kanülenkappe zur Diagnose von hypersensitiven, respektive schmerzhaften Rückenpartien ist nach Wolf (2002) zu wenig sensitiv und zu wenig spezifisch und sollte nicht angewendet werden. Stattdessen sollte die Palpation mit wenig Kraftaufwand geschehen, um die Anzeichen einer Dysfunktion zu erkennen. Diese wären eine hyperalgetische Hautzone, Muskelspasmen sowie eingeschränkte Wirbelsäulenbeweglichkeit (zitiert aus Wolf, 2002, Primärquelle Lewit, 1999).

Um die Befunde der Palpation einzuschätzen, erstellten Varcoe- Cocks et al. (2006) ein Schema (Tab. 1), welches diverse Palpationsaspekte miteinbezieht, beispielsweise Muskeltonus, Schmerz oder Mobilität.

Palpationsgrad	Beschreibung der Befunde
0	Weich, tiefer Muskeltonus
1	Normal
2	Steif, aber nicht schmerzhaft
3	Steif und/ oder schmerzhaft (Palpations-assoziiertes Spasmus, keine Bewegungen)
4	Schmerzhaft (Palpations-assoziiertes Spasmus mit lokaler Abwehrbewegung e.g. Kippen des Beckens, Extensionshaltung im Rücken)
5	Sehr schmerzhaft (Spasmus plus starke Abwehrreaktionen wie Ohren zurücklegen, schlagen)

Tab. 1: Palpationsgrade der Muskulatur von Pferden, zitiert aus Varcoe- Cocks et al. (2006), adaptiert von Bendtsen et al. (1995) und Sakai et al. (1995)

3.3 Myofasziale Triggerpunkte

Gröbli und Dommerholt (1997) beschrieben myofasziale Triggerpunkte als «klinisch eindeutig identifizierbare schmerzhaft, pathologische Veränderungen in der Skelettmuskulatur». Der Begriff wurde ursprünglich von Travell (1942, 1952) erstmals verwendet. Zusammengefasst ergeben alle Symptome myofaszieller Triggerpunkte das sogenannte myofasziale Schmerzsyndrom, welches lokal, regional oder generalisiert

entstehen kann. Wichtig ist dabei die Unterscheidung zu anderen muskulären Erkrankungen wie beispielsweise der Fibromyalgie, bei denen hauptsächlich sogenannte «tender points» im Vordergrund stehen. Tender points befinden sich im Gegensatz zu myofaszialen Triggerpunkten nicht ausschliesslich in muskulären Strukturen und zeigen als einziges klinisches Symptom Druckschmerzhaftigkeit (Gröbli und Dommerholt, 1997). Baldry (1992) konnte allerdings zeigen, dass bei einer Fibromyalgie begleitend zu den tender points auch myofasziale Triggerpunkte entstehen können. Travell und Simons (1983) beschrieben die klinischen Diagnosekriterien von myofaszialen Triggerpunkten als die Folgenden, mit abnehmender Spezifität (entnommen aus Gröbli und Dommerholt, 1997):

1. Ausgeprägte Druckdolenz innerhalb eines Hartspannstrangs eines Skelettmuskels. Liegt die Druckdolenz nicht innerhalb des Hartspannstranges, ist sie nicht spezifisch für den myofaszialen Triggerpunkt.
2. Lokale Zuckungsantwort einzelner Muskelfasern als Reaktion auf mechanische Stimulation eines myofaszialen Triggerpunktes
3. Ausbreitung eines typischen übertragenen Schmerzes als Reaktion auf mechanische Stimulation des Triggerpunktes
4. Vorübergehende Reproduktion der eigentlichen Schmerzen des Patienten als Reaktion auf mechanische Stimulation des Triggerpunktes
5. Eingeschränkte Beweglichkeit
6. Muskelschwäche oder Atrophie
7. Autonome Phänomene wie pilo-, sudo-, oder vasomotorische Störungen

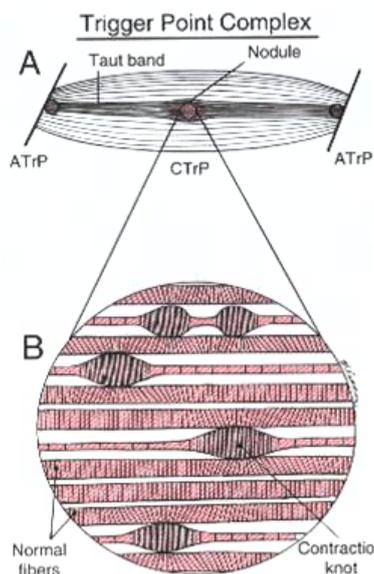


Abb. 1: Schematische Darstellung der Triggerpunkt-Zone: Verkrampfen sich verschiedene Muskelfaserabschnitte (contraction knot) entsteht daraus ein sogenannter Hartspannstrang (taut band), der als Ausgangspunkt für die Entstehung von Triggerpunkten dienen kann (Quelle: David G. Simons, MD, Janet G. Travell, MD & Lois Statham Simons, (1999). Myofascial Pain & Dysfunction - The Trigger Point Manual, Volume 1)

Primäre myofasziale Triggerpunkte entstehen als Folge einer Traumatisierung, respektive Überbeanspruchung der betroffenen Muskulatur. Solche primäre Triggerpunkte sind folglich auch die Auslöser eines primären myofaszialen Schmerzsyndroms (Travell und Simons, 1983). Das myofasziale Schmerzsyndrom zählt zu den häufigsten Ursachen von chronischen Schmerzen am Bewegungsapparat (Fricton, 1990; Rosomoff et al., 1989; Skootsky et al., 1989). Längeres Vorhandensein von primären myofaszialen Triggerpunkten und der daraus entstehenden Abschwächung der betroffenen Muskeln kann dazu führen, dass synergistische Muskeln die Funktion der geschwächten Muskulatur übernehmen müssen und selber ermüden, was zu einem sekundären myofaszialen Triggerpunkt, respektive sekundärem myofaszialen Schmerzsyndrom führen kann (Travell und Simons, 1989).

Eine bedeutende Rolle in der Pathophysiologie von myofaszialen Triggerpunkten steht die sogenannte «energy crisis theory» (Simons, 1993). Abb. 2 stellt schematisch die verschiedenen Vorgänge dieser Entstehungstheorie dar. Die Ursache der «energy crisis» kann, wie bereits erwähnt, eine Schädigung der betroffenen Muskeln oder eine konstante Erhöhung des neuromuskulären Tonus sein (Gröbli und Dommerholt, 1997). Im Zentrum des Teufelskreises steht die Hypoxie der Muskulatur, welche zu einem ATP Mangel führt. Dieser wiederum führt dazu, dass die Kalziumpumpen nicht mehr richtig arbeiten können; die Aktin- und Myosinfilamente bleiben kontrahiert (Gröbli, 1997; Mense, 1997; Simons, 1996). Der Hartspannstrang entsteht durch eine Verkürzung der Sarkomere als Folge einer Tonuserhöhung ohne Aktivierung von motorischen Endplatten (Hong, 1996). Es kommt zu einer Kompression von Arteriolen und einer lokalen Ischämie, welche die Hypoxie verstärkt. Des Weiteren werden diverse vasoneuroaktive Substanzen freigesetzt, welche zur Entstehung eines Ödems führen. Dies wiederum verstärkt die Kompression der Gefäße und verschärft die Hypoxie (Gröbli und Simons, 1997).

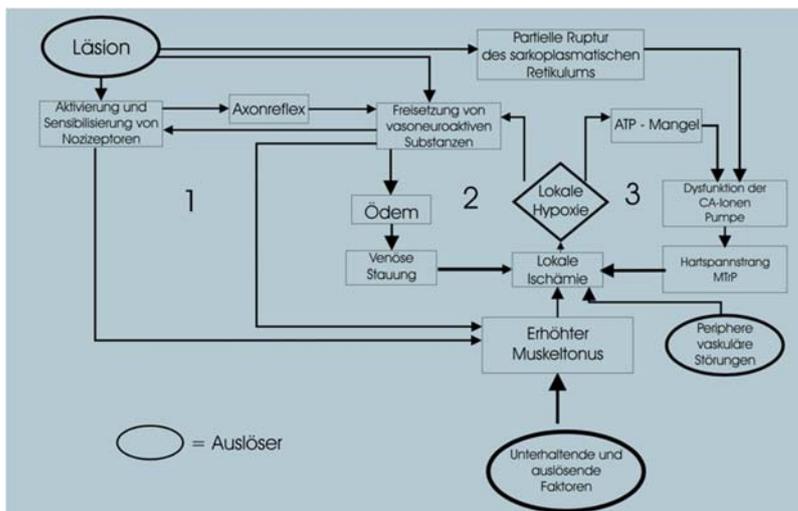


Abb. 2: Hypothese zu den Entstehungsmechanismen myofaszialer Triggerpunkte (Quelle: Gröbli, C., Dommerholt, J., (1997). Myofasziale Triggerpunkte. Pathologie und Behandlungsmöglichkeiten, Manuelle Medizin, 35; 295-303.)

3.4 Physiologie der Nozizeption

Schmerzen werden in viszerale und somatische Schmerzen eingeteilt. Somatische Schmerzen werden je nach Entstehungsort als Oberflächen- oder Tiefenschmerz benannt und unterscheiden sich qualitativ. Oberflächenschmerzen können als „helle“ Schmerzen wahrgenommen werden, als Reaktion auf einen kurzen, mechanischen Schmerzreiz. Vermittelt wird dieser erste Schmerz von freien Nervenendigungen mit schnellen, markhaltigen A δ -Fasern, sogenannten Mechanonozizeptoren. Diese Schmerzen klingen schnell wieder ab und es folgt ein „dunkler“, weniger gut lokalisierbarer Schmerz. Dieser kann ebenfalls nach chemischer oder thermischer Reizung wahrgenommen werden und entsteht durch die Stimulation von polymodalen Nozizeptoren; die Reizleitung erfolgt in marklosen langsamen C-Fasern. Diese sind ebenfalls für die Empfindung von Tiefenschmerz und viszerale Schmerzen verantwortlich (Vorlesungsunterlagen Prof. Dr. Johannes Vogel, Universität Zürich, 2015).

Schmerzrezeptoren sind in der Haut sehr viel dichter verteilt als klassische Mechanorezeptoren. Nozizeptive Fasern unterscheiden sich von klassischen Mechanosensoren in ihrer Reizspezifität. Klassische Mechanorezeptoren (z.B. Haarfollikelrezeptor) reagieren stärker auf nicht-noxische Reize (z.B. Berührungen) wohingegen Schmerzrezeptoren nicht auf schwache mechanische Reize, sondern nur noxische Reize (mechanisch, z.B. Quetschungen, oder polymodal, z.B. Hitze, chemische Reize) reagieren (Vorlesungsunterlagen Prof. Dr. Johannes Vogel, Universität Zürich, 2015).

3.5 Periphere Sensibilisierung von Nozizeptoren

Bei Gewebeschädigung werden verschiedene chemische Substanzen (z.B. Bradykinin, Histamin, Serotonin, anorganische Ionen) freigesetzt, welche als chemische Schmerzmediatoren agieren. Ebenfalls werden Prostaglandine und Leukotriene freigesetzt, welche zu einer Sensibilisierung der Nozizeptoren führen. Dieselbe Reaktion kann auch bei Entzündungen beobachtet werden: Das umliegende, normalerweise nicht schmerzhaftes Gewebe wird plötzlich schmerzhaft, durch die Sensibilisierung der Nozizeptoren. Die Sensibilisierung führt dazu, dass Schmerzafferenzen stärker auf Schmerzreiz reagieren (Vorlesungsunterlagen Prof. Dr. Johannes Vogel, Universität Zürich, 2015).

3.6 Beeinflussung der Schmerzintensität und Schmerzunterdrückung

Schmerzen sind dazu da, den Körper vor stärkeren Gewebeschäden zu schützen und lösen dazu Reflexe aus (Ausweichhaltungen, Wegziehen von Gliedmassen, Entlasten von Gliedmassen, Lahmen). Wenn Schäden länger anhalten, bleibt auch die Schmerzwahrnehmung, da sich Schmerzsensoren praktisch nicht adaptieren. In speziellen Situationen (Flucht, Bedrohung, Arbeit) wird der Schmerz unterdrückt. Dies kann negative Folgeschäden nach sich ziehen z.B. wenn eine wegen Schmerzen geschonte Gliedmasse übermässig belastet wird.

Absteigende Bahnen mit Ursprung im somatosensorischen Kortex und Hypothalamus können dazu führen, dass nozizeptive Rezeptoren im Rückenmark gehemmt werden und afferente

Schmerzsignale bereits bei der ersten Umschaltung innerhalb der nozizeptiven Bahn abgeschwächt werden.

Neurotransmitter der absteigenden Bahnen (Noradrenalin, Serotonin, körpereigene Opiode) können spinale nozizeptive Rezeptoren hemmen, da für diese spezielle Opiatrezeptoren vorhanden sind. Lokal kann eine Hemmung durch Enkephaline und GABA erzielt werden (Vorlesungsunterlagen Prof. Dr. Johannes Vogel, Universität Zürich, 2015).

3.7 Die Algometrie in der Veterinärmedizin

Die Algometrie wird verwendet, um die Drucksensitivität zu messen. Hierfür wird ein Algometer (Druckmessgerät) verwendet, mit dessen Druckstempel die jeweilige Stelle (über muskulären oder knöchernen Strukturen) stimuliert wird. Als Kontaktfläche können sowohl Gummistempel, aber auch Metallstempel verwendet werden (Pongratz und Licka, 2017). Die Auflagefläche und die Form der Stempel kann variieren. In der Studie von Pongratz und Licka (2017) ergaben Auflageflächen von 1 cm² sehr nahe beieinanderliegende Ergebnisse, mit einem Median von 34 N bei halbkugelförmigen Stempeln, und 25.1 N bei zylindrischen Stempeln. Bezüglich der Form konnten Pongratz und Licka (2017) zeigen, dass halbkugelförmige Stempel mit einer Auflagefläche von 2 cm² die höchsten Messwerte produzierten, während zylindrische Auflageflächen von 0.5 cm² die niedrigsten Werte hervorzurufen vermochten (Median bei 19.6 N). In der genannten Studie wurde mit Metallstempeln gearbeitet (Pongratz und Licka, 2017).

Die Drucksensitivität der Algometriewerte ist so zu interpretieren, als dass tiefe Algometriewerte für eine hohe Empfindlichkeit, respektive eine hohe Drucksensitivität sprechen und im Gegenzug dazu hohe Algometriewerte für eine tiefe Empfindlichkeit, respektive Drucksensitivität sprechen. Dies bedeutet konkret, dass schmerzhafte oder hypersensible Strukturen tendenziell niedrigere Algometriewerte ergeben, als nicht schmerzhafte Strukturen.

Die Bestimmung der Druckempfindlichkeit mittels Algometrie ist ein wichtiger Aspekt der Einschätzung der Wirksamkeit von Anästhetika und postoperativer Analgesie oder Wundhyperalgesie (Slingsby et al., 2001). Lascelles et al. (1997, 1998) beispielsweise untersuchten die Druckempfindlichkeit bei Hunden nach einer Pethidin- und Carprofen-Verabreichung nach Ovariohysterektomie und konnten mittels der gemessenen Werte aufzeigen, dass die präoperative Verabreichung von Analgetika den massgeblichsten Einfluss auf die Verminderung postoperativer Hyperalgesie hat, da die zentrale Sensibilisierung durch den chirurgischen Stimulus möglicherweise unterbunden wird. Gemessen wurden an der Ohrmuschel, am distalen Radius und an der Wunde.

Coleman et al. (2014) untersuchten die Druckempfindlichkeiten von gesunden Hunden an häufigen chirurgischen Eingriffstellen, um die Algometrie als Methode zur Beurteilung der chirurgischen Wundsensibilität einzuschätzen. In der Studie wurde ein Algometer mit einer Auflagefläche von 1cm² und einem zirkulären Gummistempel verwendet. Als Abwehrreaktionen auf den Stimulus wurden Pupillendilatation, Anhalten der Atmung, Hautzuckungen, Kopfdrehen, Vokalisation, Beissversuche und Rückzugsbewegungen gewertet. Die Variabilität zwischen den verschiedenen Hunden sowie zwischen den einzelnen Lokalisationen innerhalb des gleichen Hundes war relativ gross. Die Vermutung lag nahe, dass eine Gewöhnung an den Algometer stattgefunden hatte. Dies ist auch eine allgemeine Kritik an anderen Studiendurchführungen, da der Faktor der Gewöhnung bei

mehreren aufeinanderfolgenden Messungen beachtet werden muss. Zusätzlich zeigte diese Studie, dass ein Fortschritt in der Objektivierung der Abwehrreaktionen notwendig ist, respektive, dass andere Parameter hinzugezogen werden sollten wie beispielsweise die Herzfrequenz, der Blutdruck oder die Muskelspannung, welche auf Unbehagen oder Schmerz hindeuten würden und besser objektivierbar sind.

Auch in die Nutztiermedizin könnte die Algometrie Einzug halten, wie eine Studie von Krug et al. (2018) zeigte. Dabei wurde die Algometrie als Methode in der Diagnostik der Eutersensibilität von Kühen untersucht und auf Einflussfaktoren geprüft. Die Studie ergab, dass primipare Kühe tiefere Algometriewerte hatten, als multipare Kühe. Diese Erkenntnis deckt sich mit der von Fitzpatrick et al. (2011). Die Schlussfolgerung der Studie ergab viele Einflussfaktoren auf die Messung an Eutern, wie beispielsweise Tageszeit der Messung oder Charakteristika der Kühe wie Laktationszahl etc. Weitere Studien müssten durchgeführt werden, um die Algometrie als Möglichkeit in der Diagnostik von Mastitiden zu validieren.

Die Gewebedicke, sowie die Lokalisation, spielt bei der Drucksensitivität eine grosse Rolle. So konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Gewebedicke die Drucksensitivität abnimmt und die Variabilität der Resultate zunimmt (Pongratz und Licka, 2017). Für den Pferderücken ist dies speziell im thorakolumbalen Übergang von Bedeutung, da entlang des M. longissimus dorsi die Algometriewerte von cranial nach caudal zunehmen, und im lumbalen Bereich die Gewebedicke grösser ist als über den thorakalen Strukturen, respektive der thorakolumbalen Faszie. Pongratz und Licka (2017) konnten die grösste Zunahme der Algometriewerte auf Höhe zwischen L3 und L5 messen. Sie vermuten allerdings, dass diese Zunahme nicht nur als Folge der zunehmenden Gewebedicke in dieser Region angesehen werden kann, sondern aufgrund einer Variabilität in der Dichte der neurovaskulären Strukturen, wie sie in der Humanmedizin diskutiert wird (Vanderween et al., 1996; Keating et al., 2001). Auch Haussler und Erb (2003) konnten in ihrer Studie zeigen, dass die niedrigsten Werte auf Höhe des temporomandibulären Gelenks mit einer Erhöhung der Werte gegen die caudalen Regionen (bis C5) gemessen werden konnten. In der thorakalen Region zwischen Scapula und der 18. Rippe wurde ein relatives Plateau der Werte gemessen, wohingegen in Richtung Lumbal- und Hüftregion die Werte nochmals signifikant anstiegen. Haussler und Erb (2003) verwendeten in ihrer Studie einen Algometer mit einem Gummistempel und untersuchten den Unterschied der Schmerzgrenzen zwischen chiropraktisch behandelten Pferden und Kontrollpferden ohne Behandlung. Sie konnten zeigen, dass in den meisten Fällen eine Behandlung auf lange Sicht zu höheren Algometriewerten führen kann.

Pferde sind Fluchttiere und reagieren bei Stress jeglicher Art mit einer raschen Zunahme des Muskeltonus, um den tief verankerten Fluchtreflex aufrecht zu erhalten. Dieser Faktor muss besonders bei der muskulären Messung beachtet werden. De Heus et al. (2010) konnten zeigen, dass Pferde mit palpatorisch erhöhter muskulärer Temperatur, erhöhtem Muskeltonus oder schmerzhaften muskulären Bereichen, eine negative Korrelation zu den Algometriemessungen aufwiesen, was darauf hindeutet, dass Pferde mit erhöhter muskulärer Sensibilität allgemein tiefere Algometriewerte erreichen. Auf der anderen Seite zeigten Pferde mit erhöhter spinaler Mobilität eine positive Korrelation zu den Algometriemessungen, was auf eine erhöhte Schmerzgrenze an beweglichen vertebrealen Strukturen hindeutet. In ihrer Studie wurden Pferde von Physiotherapeuten auf diese subjektiven palpatorischen Parameter untersucht und mit einem Algometer mit Gummispitze nachgemessen. Bei solchen Interpretationen der Messwerte sind die Definitionen der Reaktionen bei welchen der Messwert notiert wird, besonders relevant. In der Studie von De

Heus et al. (2010) wurden Muskelfaszikulationen, Bewegungen in der Wirbelsäule oder zur Seite treten als relevante Reaktion gewertet. Haussler und Erb (2003) verwendeten in ihrer Studie die gleichen Reaktionen als Anzeichen der Druckobergrenze, respektive dem Punkt, an welchem die Messung gewertet wurde.

Über die Gewöhnung respektive den Lerneffekt auf repetitive Messungen mit dem Algometer liegen verschiedene Erfahrungen vor. De Heus et al. (2010) beschrieben tiefere Algometriewerte bei zweimal am Tag durchgeführten Messungen mit durchschnittlich 0.5 kg/cm² tieferen Werten am Abend als am Morgen. Allerdings bleibt offen, ob diese Variation von täglichen Schwankungen, Lerneffekt oder Gewöhnung an die Messlokalisierung abhängt (De Heus et al., 2010). Haussler und Erb (2003) fanden heraus, dass auch mehreren hintereinander folgende Algometriemessungen weder eine Gewöhnung im Sinne eines Lerneffektes, noch eine Sensibilisierung auf den Algometer ergeben. Sullivan et al. (2008) beschrieben in 67% keine Veränderungen zwischen den Messungen, in 20% eine erhöhte Sensibilität und in 13% eine reduzierte Sensibilität an der Messlokalisierung.

Ein wichtiger Einflussfaktor ist gemäss Menke et al. (2016) die die Messungen durchführende Person. In ihrer Studie untersuchten sie die Wiederholbarkeit zwischen den Messungen bei der gleichen Person, sowie den Messungen zwischen verschiedenen Messpersonen und konnten feststellen, dass die Wiederholbarkeit bei der gleichen Person sehr gut ist, die Wiederholbarkeit zwischen verschiedenen Personen über einen kurzen Zeitraum (3 Messungen direkt hintereinander) ebenfalls relativ gut sei, allerdings über einen längeren Zeitraum von 3 Wochen nur noch moderat war.

Neben den oben beschriebenen Messvariationen und Einflussfaktoren ist bei der algometrischen Messung häufig die Lokalisation der Messung, als auch der Unterschied zwischen knöchernen und muskulären Strukturen von besonderem Interesse.

Sowohl in der Humanmedizin (Kosek et al., 2002; Fischer, 1986), als auch in der Veterinärmedizin (Buthe et al., 2002), konnte gezeigt werden, dass knöchernen Strukturen signifikant niedrigere Algometriewerte ergeben, als muskuläre Strukturen. Pongratz und Licka (2017) erklären dies nach ihrem in-vitro Versuch damit, dass die Drucktransmission auf knöchernen Strukturen durch die Haut und das Unterhautgewebe um einiges direkter geschieht, als auf muskuläre Strukturen, die eine gewisse Gewebedicke bereits beinhalten. Ein weiterer Faktor ist die unterschiedliche Konzentration an Nervenfasern an knöchernen oder muskulären Strukturen (Ohrbach und Gale, 1989; Kosek et al. 1999).

Haussler und Erb (2006b) eruierten eine grobe Angabe an Referenzwerten für den Pferderücken an klinisch gesunden Pferden, sowohl allgemein für verschiedene Strukturen, als auch für die verschiedenen Regionen. Ihre Werte ergaben einen Median für alle knöchernen Strukturen von 10 kg/cm², über den dorsalen Processi spinosi 13 kg/cm² und für Weichteilstrukturen 12 kg/cm². Sie unterteilten die gemessenen Regionen am Pferderücken in zervikal, thorakal, lumbal und in die Hüftregion. Die regionalen Medianwerte ergaben für zervikal 9 kg/cm², thorakal 12 kg/cm², lumbal 13 kg/cm² und für die Hüftregion 16 kg/cm². Innerhalb dieser regionalen Abschnitte lagen die Werte relativ nahe beieinander, wohingegen die Werte zur nächsten caudal gelegenen Region sprunghaft zunahmen.

Die Algometrie wird vielerorts als Methode in der Diagnostik eingesetzt. Eine Möglichkeit für den Einsatz der Algometrie ist beispielsweise wie von Sullivan et al. (2008) beschrieben, der Nachweis eines Therapieerfolges. In ihrer Studie wurden drei verschiedene

Versuchsgruppen mit 38 gesunden Pferden auf den Einfluss manueller Therapien (Chiropraktik und manuelle Massage) oder Phenylbutazon auf die Druckempfindlichkeit untersucht. Die Resultate zeigten, dass die manuellen Therapien die Algometriewerte innert 7 Tagen signifikant erhöhen konnten. Die Behandlung mit Phenylbutazon zeigte eher eine Senkung der Algometriewerte bis Tag 3. Erst an Tag 7 konnte ein verzögerter Anstieg der Werte nach Phenylbutazongabe gemessen werden. Weshalb die Werte abnahmen unter initialer Behandlung mit Phenylbutazon, war für die Autoren nicht erklärbar. Eine Einschränkung dieser Studie war allerdings, dass mit gesunden Pferden gearbeitet wurde. Pferde mit bestehenden Erkrankungen hätten auf die verschiedenen Behandlungsformen evtl. anders reagiert.

Varcoe-Cocks et al. (2006) beschrieben eine Korrelation zwischen palpatorisch diagnostizierten Veränderungen bei Pferden mit einer sacroilialen Dysfunktion und den algometrischen Messungen. Pferde mit palpatorisch diagnostizierter sacroilialer Dysfunktion zeigten signifikant tiefere Algometriewerte. Sie legten damit die Relevanz der Algometrie in der Ergänzung zur Palpation bei der klinischen Untersuchung von Pferden nahe.

Auch im Tierschutzbereich hat die Algometrie Potenzial, bewiesen nach der Studie von Haussler et al. (2008). Sie kamen in ihrer Studie an 25 Tennessee Walking Horses zum Schluss, dass die Algometrie im Sinne des Tierschutzes bei dieser Rasse eingesetzt werden könnte, um Fälle aufzudecken, in denen Pferde durch das sogenannte «soring» behandelt wurden. Tennessee Walking Horses werden durch das «soring» dazu animiert, die Vorderbeine bei Pferdeshows unnatürlich hoch vorzuführen. «Soring» bedeutet, dass die Fesselgelenke der Pferde mit reizenden Substanzen verätzt werden und somit für das Pferd schmerzhaft sind. Derselbe Effekt kann auch mit Ketten hervorgerufen werden. Haussler et al. (2008) untersuchten die Sensibilität an den distalen Gliedmassen von unbehandelten Pferden. 80% der Pferde reagierten erst ab 10 kg/cm². Dies könnte ein Referenzwert sein, um in Zukunft Hyperalgesie infolge einer Behandlung der distalen Gliedmassen mit Irritantien aufzudecken.

Wie aus den vorangegangenen Literaturrecherchen hervorgeht, ist die Algometrie von vielen Faktoren beeinflussbar und wurde bereits für etliche Indikationen eingesetzt. Das Ziel dieser Arbeit war es, diese Faktoren innerhalb unserer Studie zu prüfen und versuchen zu verstehen, inwiefern welche Faktoren die Algometriemessung beeinflussen und ob es sinnvoll ist, Referenzwerte zu erstellen.

Material und Methoden

4.1 Studiendurchführung und Auswahlkriterien der Pferde und Reiter

Die Algotmetriemessungen fanden im Rahmen einer umfassenden Studie über die Rückengesundheit bei Schweizer Reitpferden statt. Dabei wurden 237 Pferde klinisch orthopädisch sowie chiropraktisch untersucht und anschliessend einer algometriscen Messung unterzogen.

Die Pferde und Reiter wurden nach den folgenden Kriterien für die Studie ausgewählt:

1. Der Reiter musste der primäre Nutzer des Pferdes sein und mindestens 2/3 der Reitzzeit mit dem Pferd abdecken
2. Der Reiter musste mindestens 18 Jahre alt sein und durfte an keinen akuten Krankheiten, Verletzungen oder sonstigen Beschwerden leiden, die die normale reiterliche Leistungsfähigkeit einschränkten
3. Das Pferd musste zwischen fünf (Jahrgang 2012) und 18 Jahre (Jahrgang 1999) alt und angeritten sein
4. Das Pferd musste mindestens zwei Stunden pro Woche geritten werden
5. Das Pferd durfte nicht unter akuten oder chronischen Krankheiten oder sonstigen Beschwerden leiden, welche die vorgesehene Nutzung einschränkten
6. Das Pferd wurde in mindestens einer der folgenden Disziplinen genutzt:
 - Freizeitreiten
 - Dressur
 - Springen
 - Vielseitigkeit
 - Distanzsport
 - Westernreiten

3.1.2 Die Studienpopulation

Insgesamt wurden 237 Pferde algometrisch untersucht. Das Durchschnittsalter betrug 10.3 (5-18) Jahre. Bei den teilnehmenden Pferden waren Stuten, Hengste und Wallache vertreten.

	Anzahl	Durchschnittsalter Jahre
Hengste	9	11.3
Wallache	137	10.1
Stuten	91	10.5

Tab. 2: Anzahl Stuten, Hengste und Wallache und ihr Durchschnittsalter

Bei den teilnehmenden Pferden gab es keine Rassenbeschränkung. Die Rassen wurden von uns aufgrund der grossen Vielfalt nach Typus gruppiert.

	Anzahl (Ø Alter)	Hengste	Stuten	Wallache
Araber	13 (11.7)	0	6 (11)	7 (12.4)
FM	14 (9.8)	0	4 (11)	10 (9.4)
ICE	11 (11.1)	0	2 (9)	9 (11.6)
Andere	19 (11.4)	2 (9.5)	8 (11.5)	9 (11.7)
Pony	2 (11)	0	1 (12)	1 (10)
PRE_PSL	13 (11)	4 (12.5)	0	9 (10.4)
Quarter/ Paint	12 (10.3)	1 (8)	5 (12.4)	6 (9)
SF	4 (12)	0	2 (14.5)	2 (9.5)
WB	149 (9.9)	2 (12.5)	63 (10)	84 (9.7)

Tab. 3: Anzahl Pferde pro Rasse, Durchschnittsalter pro Rasse in Jahren.
(Abk.: FM= Franches Monagnes, ICE= Isländer, SF= Selle Francais, WB= Warmblüter)

4.2 Durchführung der Messung

4.2.1 Der Algometer

Der in dieser Studie verwendete Algometer war ein digitaler PAIN TEST FPX von Wagner Instruments (Abb.3).

Die Auflagefläche von 1cm² bestand aus einem Gummistempel.

Das Prinzip der algometrischen Messung ist das Folgende: Über den Gummistempel wird mit Druck eine Kraft auf den Körper ausgeübt. Der Druckmesser zeigt die Werte in Newton (N) oder kg/cm² an und kann auf verschiedene Spannbreiten von Messwerten eingestellt werden. In dieser Studie wurde ein Range von 0 bis 25 kg/cm² verwendet. Der Range ist insofern von Bedeutung, als dass er höhere Werte ausschliesst, wenn er zu tief gewählt wurde. Bei der analogen Algometriemessung wird der Druckstempel über eine Feder mit definierter Federstärke auf die Nadelanzeige übersetzt (Quelle: Kommunikation mit Prof. Dr. M. Weishaupt).



Abb. 3: Analoges Algometer (Bildquelle: www.wagnerinstruments.com)

Heutzutage wird die analoge Messung durch die digitale algometrische Messung ersetzt. Dabei drückt der Stempel auf eine elektronische Wägezelle (einen Kraftsensor). Die gemessene mV- Spannung des Sensors wird in eine Zahl übersetzt und digital angezeigt. Die beiden Systeme haben eigene Kalibrationsprinzipien (Quelle: Kommunikation mit Prof. Dr. M. Weishaupt)



Abb. 4: Digitaler Algometer (Bildquelle: www.wagnerinstruments.com)

Eine neuere Variante der Algometer überträgt die gemessenen Druckwerte direkt online auf einen Computerbildschirm, auf welchem die Geschwindigkeit, mit welcher der Druck appliziert wurde, direkt gemessen werden kann. Somit wird eine Standardisierung der Messdurchführung am einzelnen Probanden zwischen den verschiedenen Lokalisationen, sowie zwischen verschiedenen Probanden, einfacher.

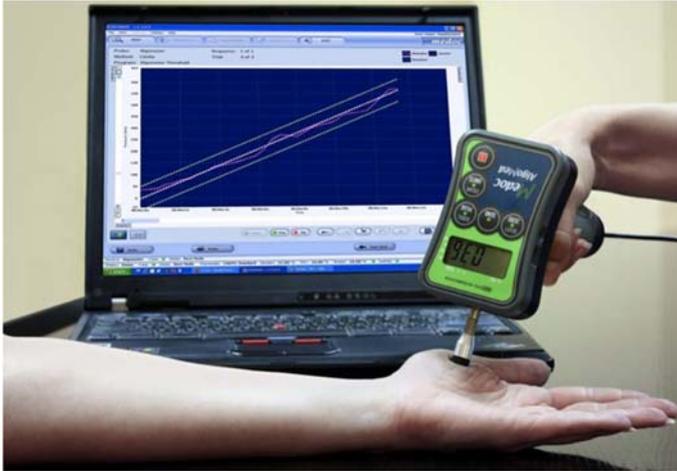


Abb. 5: Computerized Pressure Algometer (AlgoMed) von Medoc (Bildquelle: <https://neurolite.ch/sites/default/files/AlgoMed%20Broschüre.pdf>)

4.2.2 Die Messung

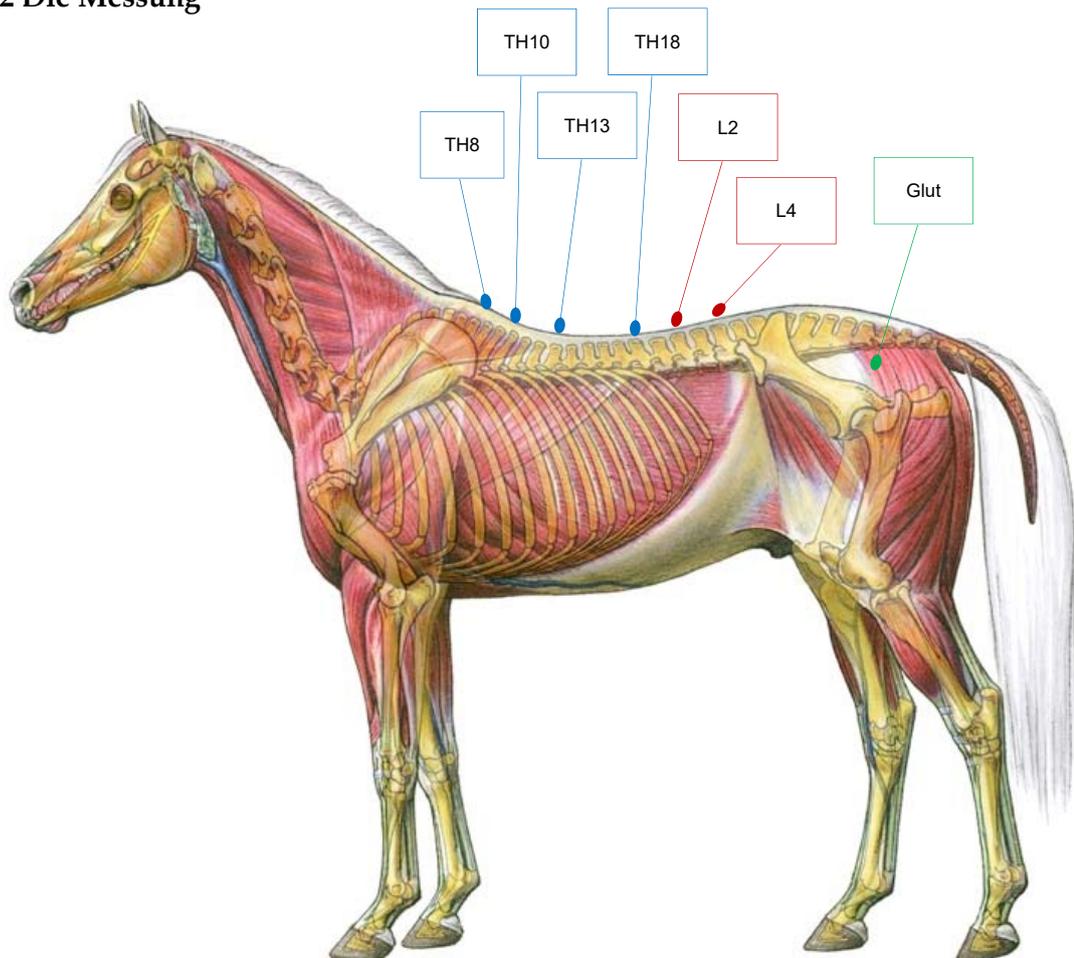


Abb. 6: Anatomische Stellen, an denen gemessen wurde (Bildquelle: Matthias Haab, UZH)

Die Algotmetriemessung in unserer Studie wurde wie folgt durchgeführt:

1. Zuerst wurden die Messstellen identifiziert und markiert. Dazu orientierte man sich am Verlauf der letzten Rippe (= TH18). Die Stelle wurde durch die Palpation der Dornfortsätze kontrolliert, diese werden ab L1 breiter.
2. Dann wurden die zu untersuchenden Lokalisationen an den Dornfortsätzen abgezählt (TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4) und mit TippEx markiert.
3. Die Muskellokalisierungen wurden nach der Distanz zwischen Dornfortsatz und Rippenbogen (paramedianes Mass) eruiert an der ventralen Kante des M. longissimus dorsi, im Übergang von dessen dorsalen zum mittleren Drittel. Die Lokalisationen befanden sich jeweils auf der Höhe der zugehörigen Dornfortsätzen (TH 8, TH 10, TH 13, TH 18, L 2, L 4), zusätzlich auf dem Gluteus auf halber Distanz zwischen Tuber sacrale und Tuber coxae.
4. Die Messung wurde, beginnend an den Dornfortsätzen zuerst von cranial nach caudal, anschliessend an den linken, dann an den rechten Muskellokalisierungen, durchgeführt. Die gesamte Messung wurden 3x wiederholt. (Quelle: Kommunikation Prof. Dr. M. Weishaupt)

Das Pferd musste während der Messung auf allen vier Gliedmassen möglichst geschlossen stehen und diese gleichmässig belasten, sowie in einer möglichst ruhigen Verfassung entspannt und aufmerksam/konzentriert sein. Die Führperson wurde angewiesen, den Kopf nicht zu stark zu halten, sondern den Strick möglichst lose zu lassen. Die Messung wurde erst dann ausgeführt, wenn das Pferd den Kopf gestreckt in der Körperachse hielt.

Wichtig bei der Messung war, dass sie jeweils immer von derselben, in der Messung geübten, Person (Prof. Dr. M. Weishaupt) mit einer stetigen Druckzunahme durchgeführt wurde. Die Druckzunahme geschah nicht wie in diversen anderen Studien (siehe beispielsweise Haussler und Erb, 2006) mit einer Geschwindigkeit von 1 kg/cm²/s, sondern langsamer, was zu einem „Einschleichen“ des Algotmeterstempels führte. Dadurch konnte ausgeschlossen werden, dass das Feedback des Pferdes aufgrund einer zu schnellen Einwirkung mit dem Algotmeter erfolgte. In dieser Studie wurde mit einer Geschwindigkeit von 0.2 bis 0.3 kg/cm²/s begonnen und bis 0.7 kg/cm²/s gesteigert. Mit der rechten Hand wurde jeweils der Algotmeter bedient. Die linke Hand wurde zur Feedbackkontrolle sanft ohne Druck neben dem Messpunkt auf den Rücken des Pferdes aufgelegt.



Abb. 7: Anatomische Stellen der Messung (Bildquelle: Prof. Dr. M. Weishaupt)



Abb. 8: Markieren der zu messenden Stellen mit Tipp-Ex (Bildquelle: Prof. Dr. M. Weishaupt)



Abb. 9: Algometrieren der markierten Stellen (Bildquelle: Prof. Dr. M. Weishaupt)



Abb. 10: Genaue Durchführung der algometrischen Messung mit Kontrolle durch den Daumen (Bildquelle: Prof. Dr. M. Weishaupt)

4.2.3 Feedback

Das Feedback auf die Druckausübung wurde als positiv gewertet, wenn unter der Hand eine Zunahme des Muskeltonus entgegen des Stempels gefühlt werden konnte. Einzelne Hautmuskelnzuckungen wurden nicht als positiv gewertet. Die Druckantwort zwischen Muskeln und Dornfortsätzen war unterschiedlich. An den Muskeln konnte ein Muskelspannungsaufbau gefühlt werden, währenddessen an den Dornfortsätzen ein subtiles Weichen des darunterliegenden Wirbels gemessen wurde. Anders als in früher beschriebenen Studien wie beispielsweise von Haussler und Erb (2003) oder De Heus et al. (2010) wurde die Messung nicht so lange aufrechterhalten, bis starke Abwehrbewegungen des Pferdes aufgelöst wurden oder gar mit Verhaltensauffälligkeiten wie Beissen, Schlagen oder Durchgehen gerechnet werden musste. Das Ziel in dieser Studie war es, die feinste spürbare Reaktion zu erfassen. Relevant war dabei die Geschwindigkeit der Druckausübung. Wurde der Druck langsam gesteigert, wurde der Stempel des Algometers nicht als unangenehm empfunden. Somit konnte vermieden werden, dass der Algometerstempel an sich eine Abwehrreaktion auslöste, die nichts mit der eigentlichen Empfindlichkeit an der Stelle von Interesse zu tun hatte.

4.3 Statistik

Zuerst wurden die Unterschiede der drei Durchgänge mittels des Wilcoxon Tests verglichen. In einem zweiten Schritt wurden anhand von linearen Modellen die Faktoren untersucht, die einen potentiellen Zusammenhang mit der Algometriemessung haben könnten. Folgende Faktoren wurden untersucht:

- Vergleich zwischen Muskel und Dornfortsatz
- Anatomische Stelle
- Geschlecht
- Rasse
- Alter
- Messung

Die Statistik wurde mit R Studio (Version 3.4.4) erstellt. Verwendet wurden dabei die Funktionen (resp. Packages) *boxplot*, *hist* für die Erstellung von Histogrammen zur Überprüfung der Normalverteilung der Werte, *tidyr* für die Erstellung der Daten im *long format*, *subset*, *paired t-Test* für den Vergleich der drei Messungen, *lm* und *drop1* für die Berechnung der linearen Modelle sowie *ggplot* zur Erstellung der Grafiken.

4 Ergebnisse

Die Studienresultate werden in der Folge nach den Faktoren präsentiert, deren Einfluss auf die Messungen untersucht wurde. Alle hier beschriebenen Faktoren hatten einen Einfluss auf die Algotmetriemessung, wie den signifikanten p-Werten aus der Tabelle 4 zu entnehmen ist. Der R-square lag bei 47%. Dies bedeutet, dass 53% der Variabilität der Daten auf Faktoren zurückgehen, welche in dieser Analyse nicht miteinbezogen wurden. Wir werden die einzelnen Faktoren nachfolgend im Detail anschauen.

5.1 Einflussfaktoren auf die Algotmetriemessung

	F- Value	p- Value
Muskel/ Dorn	8112.3	$< 2.2 \times 10^{-16}$
Anatomische Stelle	602.6	$< 2.2 \times 10^{-16}$
Geschlecht	8.8	0.0001
Rasse	119.2	$< 2.2 \times 10^{-16}$
Alter	4.8	0.028
Messung	16.5	4.902×10^{-5}

Tab. 4: Ergebnisse des linearen Modells.

Dargestellt in den Übersichtstabellen sind jeweils die p-Werte, sowie die Estimates (in grün dargestellt), welche angeben, um wieviel sich die einzelnen Level bei den Faktoren unterscheiden. Die statistische Analyse wurde mit den Einzelwerten der drei Messungen der einzelnen Pferde durchgeführt.

5.1.1 Faktor Muskel versus Dornfortsatz

Wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist, hat es einen deutlichen Einfluss auf die Messung, ob es sich um einen Muskel oder um einen Dornfortsatz handelt, den man misst.

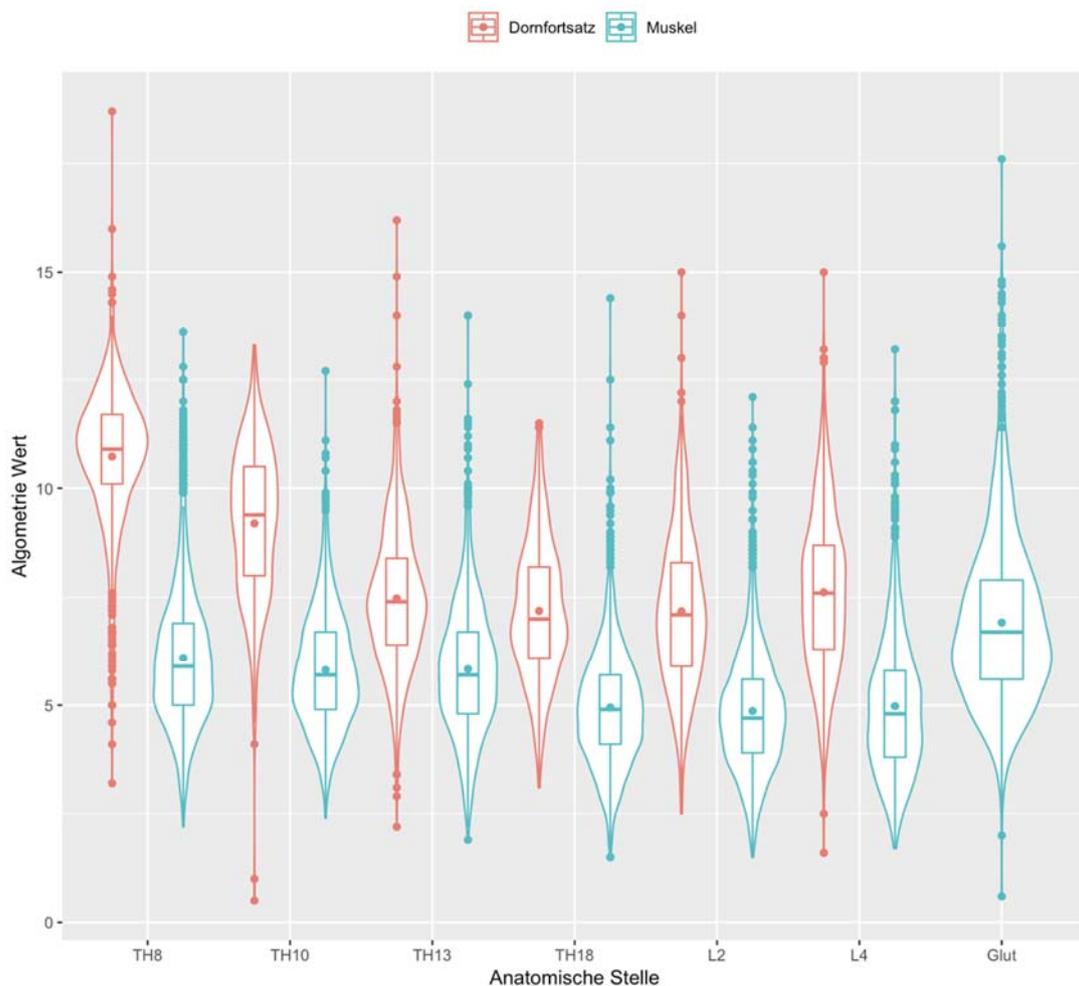
Muskeln haben im Schnitt rund 2.8 kg/cm² tiefere Algotmetriewerte als Dornfortsätze (p < 0.001).

5.1.2 Faktor anatomische Stelle

	TH8	TH10	TH13	TH18	L2	L4	Glut
TH8		-0.7 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-1.3 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-1.9 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-2.0 p= $< 2 \times 10^{-16}$	1.8 p= $< 2.2 \times 10^{-16}$	0.2 p= 0.0003
TH10	0.7 p= $< 2 \times 10^{-16}$		-0.6 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-1.3 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-1.3 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-1.1 p= $< 2 \times 10^{-16}$	0.9 p= $< 2 \times 10^{-16}$
TH13	1.3 p= $< 2 \times 10^{-16}$	0.6 p= $< 2 \times 10^{-16}$		-0.7 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-0.7 p= $< 2 \times 10^{-16}$	-0.5 p= $< 2 \times 10^{-16}$	1.5 p= $< 2 \times 10^{-16}$
TH18	1.9	1.3	0.7		-0.1 p= 0.239	0.2 p= 0.001	2.2 p= $< 2 \times 10^{-16}$

	$p = < 2 \times 10^{-16}$	$p = < 2 \times 10^{-16}$	$p = < 2 \times 10^{-16}$			
L2	2.0 $p = < 2 \times 10^{-16}$	1.3 $p = < 2 \times 10^{-16}$	0.7 $p = < 2 \times 10^{-16}$	0.1 $p = 0.239$		0.2 $p = 7.79 \times 10^{-6}$
L4	-1.8 $p = < 2 \times 10^{-16}$	1.1 $p = < 2 \times 10^{-16}$	0.5 $p = < 2 \times 10^{-16}$	-0.2 $p = 0.001$	-0.2 $p = 7.79 \times 10^{-6}$	-2.0 $p = < 2 \times 10^{-16}$
Glut	-0.2 $p = 0.0003$	-0.9 $p = < 2 \times 10^{-16}$	-1.5 $p = < 2 \times 10^{-16}$	-2.2 $p = < 2 \times 10^{-16}$	-2.2 $p = < 2 \times 10^{-16}$	2.0 $p = < 2 \times 10^{-16}$

Tab. 5: Estimates und p-Werte der gemessenen anatomischen Stellen



Grafik 1: Algetriebewerte von Dornfortsätzen und Muskeln nach anatomischer Stelle gruppiert

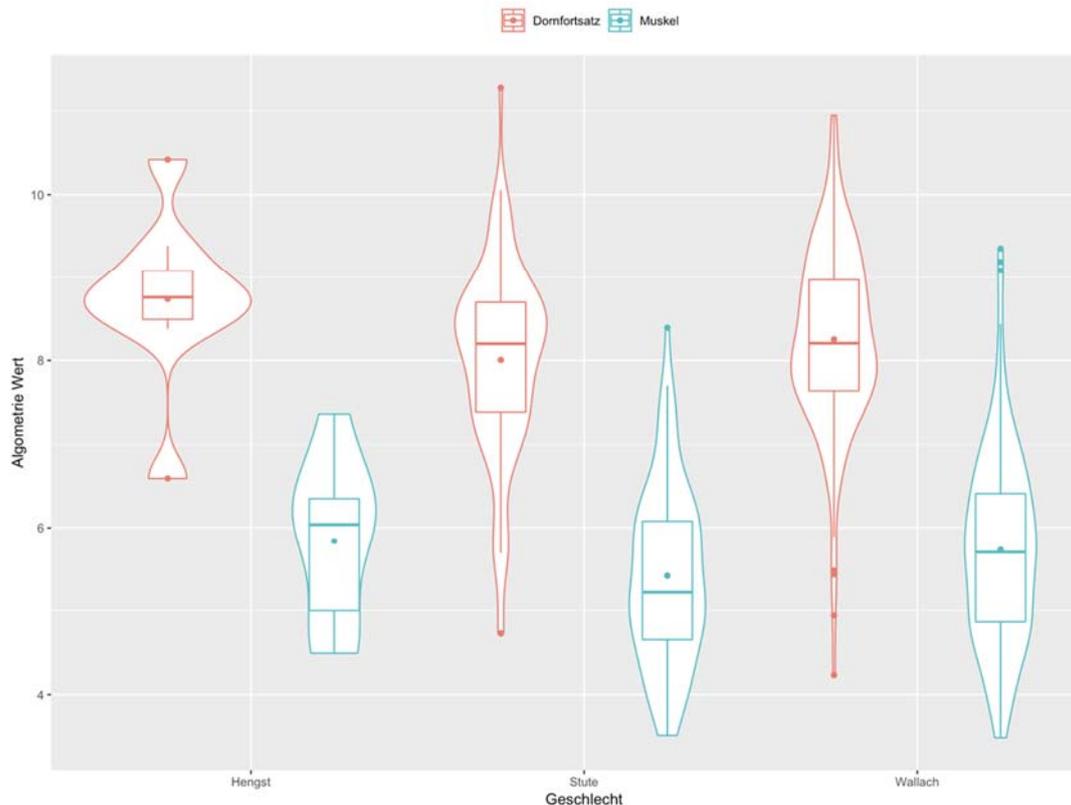
Tabelle 5 zeigt auf, dass die gemessene anatomische Stelle am Pferderücken eine bedeutsame Rolle einnimmt. Grafik 1 verdeutlicht erneut den signifikanten Unterschied zwischen Dornfortsatz und Muskel an derselben Lokalisation. Dornfortsätze ergeben deutlich höhere

Algotmetriewerte, als Muskeln. Bei den Lokalisationen TH8 und TH10 konnten an den Dornen höhere Werte gemessen werden, als bei den übrigen Lokalisationen. Einzig zwischen TH18 und L2 konnte kein signifikanter Unterschied an Dornen und Muskeln gemessen werden. Im Allgemeinen ist ein abnehmender Trend vor allem an den lumbalen muskulären Lokalisationen im Vergleich zu den thorakalen Stellen festzustellen, wobei dieser bei den Dornen stärker ausgeprägt ist als bei den Muskeln. An den Dornen ist eine leichte erneute Zunahme von L2 zu L4 bemerkbar. Gegen den Gluteus hin nehmen die muskulären Werte wieder signifikant zu.

5.1.3 Faktor Geschlecht

	Hengst	Wallach	Stute
Hengst		p= 0.897, -0.01	p= 0.102, -0.1
Wallach	p= 0.897, 0.01		p= 3.33 x 10 ⁻⁵ , -0.1
Stute	p= 0.102, 0.1	p= 3.33 x 10 ⁻⁵ , 0.1	

Tab. 6: P-Werte und Estimates von Stuten, Hengsten und Wallachen



Grafik 2: Algometriewerte von Dornfortsätzen und Muskeln verglichen zwischen Hengsten, Stuten und Wallachen

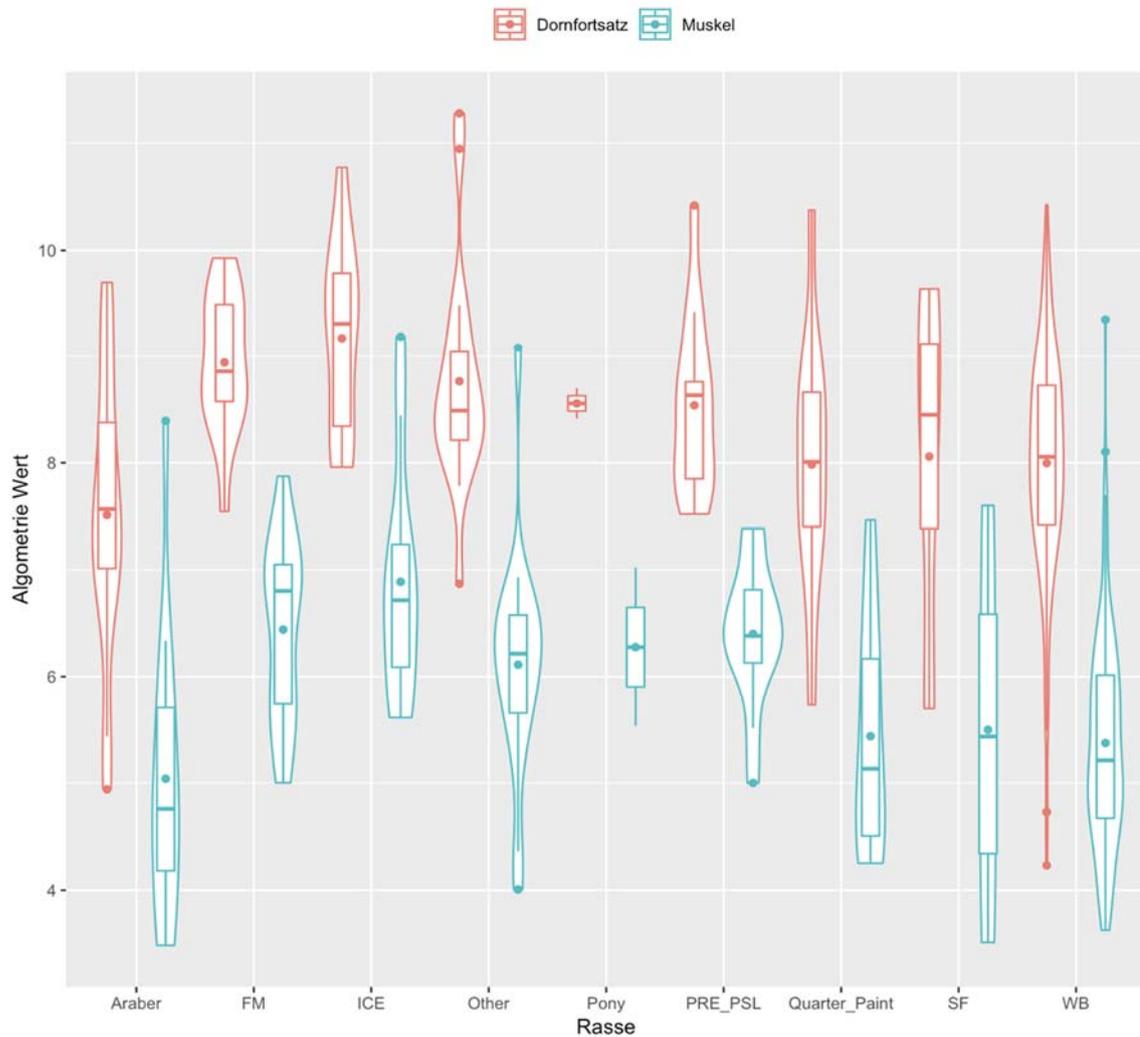
Aus Grafik 2 geht hervor, dass Hengste sowohl bei den Muskeln als auch bei den Dornen höhere absolute Algometriewerte aufzeigen, als Stuten oder Wallache. Hengste unterscheiden sich aber nicht signifikant von Stuten oder Wallachen, wie aus Tabelle 6 zu entnehmen ist. Stuten zeigen im Verhältnis zu Hengsten und Wallachen niedrige Werte auf, vor allem auf die Muskelwerte bezogen.

5.1.4 Faktor Rasse

	Arab	FM	ICE	Andere	Pony	PRE_PSL	Quarter/P	SF	WB
Araber		1.3 < 2 x 10 ⁻¹⁶	1.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶	1.0 < 2 x 10 ⁻¹⁶	1.2 2.39 x 10 ⁻¹²	1.1 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.4 1.23 x 10 ⁻⁵	0.5 2.06 x 10 ⁻⁵	0.3 1.85 x 10 ⁻⁷
FM	-1.3 < 2 x 10 ⁻¹⁶		0.5 1.11 x 10 ⁻⁷	-0.3 0.0001	-0.1 0.488	-0.2 0.063	-0.9 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-0.8 4.27 x 10 ⁻¹¹	-1.0 < 2 x 10 ⁻¹⁶
ICE	-1.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-0.5 1.11 x 10 ⁻⁷		-0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-0.6 0.001	-0.6 1.29 x 10 ⁻¹¹	-1.4 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-1.3 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-1.4 < 2 x 10 ⁻¹⁶
Andere	-1.0 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.3 0.0001	0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶		0.2 0.303	0.1 0.093	-0.6 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-0.5 1.70 x 10 ⁻⁵	-0.7 < 2 x 10 ⁻¹⁶
Pony	-1.2 2.39 x 10 ⁻¹²	0.1 0.488	0.6 0.001	-0.2 0.303		-0.04 0.815	-0.8 1.62 x 10 ⁻⁶	-0.7 0.0004	-0.9 5.90 x 10 ⁻⁸
PRE_PSL	-1.1 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.2 0.063	0.6 1.29 x 10 ⁻¹¹	-0.1 0.093	0.04 0.815		-0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶	-0.635 2.80 x 10 ⁻⁷	-0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶
Quarter/sP	-0.4 1.23 x 10 ⁻⁵	0.9 < 2 x 10 ⁻¹⁶	1.4 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.6 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.8 1.62 x 10 ⁻⁶	0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶		0.1 0.242	-0.1 0.428
SF	-0.5 2.06 x 10 ⁻⁵	0.8 4.27 x 10 ⁻¹¹	1.3 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.5 1.70 x 10 ⁻⁵	0.7 0.0004	0.6 2.80 x 10 ⁻⁷	-0.1 0.242		-0.2 0.1
WB	-0.3 1.85 x 10 ⁻⁷	1.0 < 2 x 10 ⁻¹⁶	1.4 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.7 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.9 5.90 x 10 ⁻⁸	0.8 < 2 x 10 ⁻¹⁶	0.1 0.4276	0.2 0.072	

Tab. 7: Estimates (grün) und p-Werte der verschiedenen Rassen

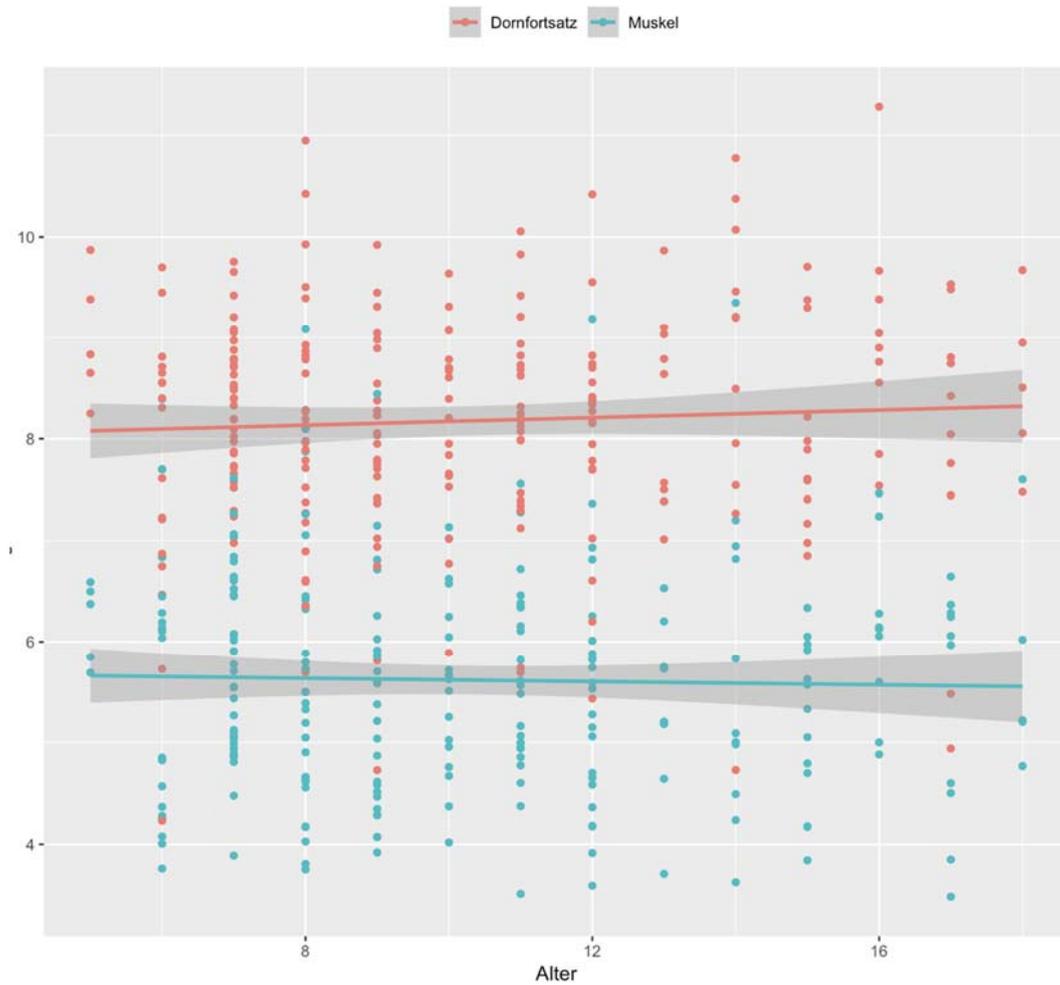
Der Faktor Rasse spielt in der Variabilität der Werte eine grosse Rolle. Aus Tabelle 7 ist ersichtlich, dass es zwischen verschiedenen Rassen grosse Unterschiede gibt und es von Bedeutung ist, um welche Rasse es sich bei dem gemessenen Tier handelt.



Grafik 3: Algotmetriewerte nach Rassen gruppiert

Grafik 3 verdeutlicht die Unterschiede zwischen den verschiedenen Rassen in den Algotmetriewerten. Deutlich niedrigere Werte konnten beim Araber gemessen werden und beim Quarter/Paint Horse, insbesondere bei den Muskelwerten. Bei den Warmblütern konnten auch eher niedrigere Werte gemessen werden. Höhere Werte zeigten die Isländer, sowie die Freiberger.

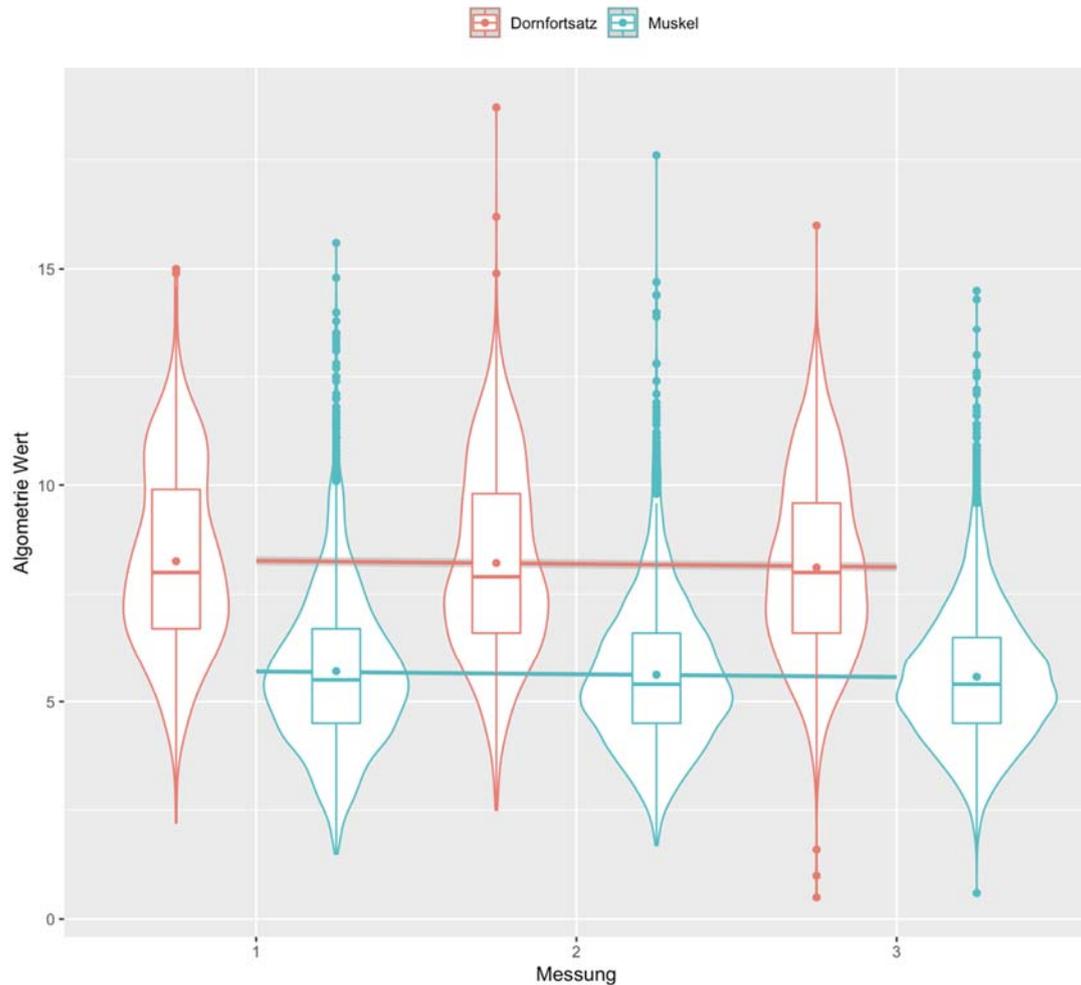
5.1.5 Faktor Alter



Grafik 4: Algotmetriewerte in Abhängigkeit zum Alter

Wie bereits erwähnt, hatte das Alter einen signifikanten Einfluss auf die Algotmetriemessung. Wie in der Grafik 4 zu sehen ist, gibt es mit zunehmendem Alter einen leichten Trend bei den Dornenwerten nach oben und der Muskelwerte nach unten.

5.1.6 Faktor Messung



Grafik 5: Algotmetriewerte von Dornfortsätzen und Muskeln nach Messungen gruppiert

Nach dem linearen Modell hat die repetitive Messung einen Einfluss auf die Messresultate. In der Grafik 5 kann ein leichter Abwärtstrend sowohl der Dornenwerte, als auch der Muskelwerte von Messung 1 zu Messung 3 beobachtet werden. Im Schnitt nimmt der Algotmetriewert mit jeder Messung um 0.07 kg/cm^2 ab. Es gab allerdings auch Pferde, bei denen die Werte über die drei Messungen zunahmen.

5 Diskussion

Die Algometrie wurde im Zusammenhang mit der Objektivierung von Schmerzen in der Vergangenheit bereits in etlichen Studien diskutiert. Wie auch aus unserer Studie hervorgeht, ist die Algometrie eine Methode, die von vielen Faktoren abhängt. Das Erstellen von Referenzwerten ist demnach als fraglich sinnvoll zu betrachten, auch aufgrund der grossen Variabilität der Werte, wie dem Resultateteil zu entnehmen ist. Vielmehr sollten die einzelnen Messwerte innerhalb eines Pferdes miteinander verglichen werden, um anhand einzelner extremer Werte oder dem Verhältnis bestimmter Werte zu einer individuellen Referenz festzustellen, ob gewisse Messorte für dieses jeweilige Tier auffällig niedrigere Werte zeigten. Dies kann beispielsweise mit den hier beschriebenen, die Algometrie beeinflussenden Faktoren abgeschätzt werden. Unsere Resultate ergaben eine grosse Bandbreite an Messergebnissen, sowohl innerhalb von Einzeltieren als auch innerhalb der einzelnen Faktoren wie beispielsweise zwischen den Rassen oder den Geschlechtern. Diese Variabilität der Ergebnisse im Zusammenhang mit verschiedenen Einflussfaktoren zu analysieren, war das Ziel dieser Arbeit. Unseren Resultaten zufolge haben alle von uns einbezogenen Faktoren einen Einfluss auf die Algometriemessung, welche im Folgenden diskutiert werden. Vergleicht man die Resultate unserer Studie mit Messergebnissen anderer Pferdestudien der Algometrie, ergeben sich beispielsweise für den Thoraxbereich ein Mittelwert von 6.6 kg/cm² im Vergleich zu der Studie von Haussler und Erb (2006b) mit 12 kg/cm², für den lumbalen Bereich 8.5 kg/cm² im Vergleich zu Haussler und Erb (2006b) mit 13 kg/cm². Bei den Processi spinosi kommen Haussler und Erb (2006b) auf einen Mittelwert von 13 kg/cm², in unserer Studie betrug der Mittelwert aller Dornenwerte 8.1 kg/cm². So betrachtet liegen die Werte unserer Studie deutlich unter denen von Haussler und Erb (2006b). Die Studienpferde von Haussler waren alle als klinisch gesund bewertet worden. Die Pferde unserer Studienpopulation zeigten teilweise schmerzhaft Bereiche im Rücken. Allerdings ist ein Vergleich zwischen diesen beiden Studien oder zwischen Studien verschiedener Messdurchführer auch deswegen als fraglich anzuschauen, da man nicht davon ausgehen kann, dass in verschiedenen Studien mit verschiedenen Messdurchführer bei exakt derselben Reaktion des Pferdes gemessen wurde. In der Studie von Haussler und Erb (2006b) beispielsweise wurden andere, weniger subtile Reaktionen wie Hautzuckungen, Muskelkontraktionen, eine induzierte Lordose der Wirbelsäule oder zur Seite treten als Messpunkt definiert, als in unserer Studie. Um eine gute Aussage zwischen verschiedenen Studien treffen zu können, müssten die Messbedingungen standardisiert durchgeführt werden, da die Messergebnisse von zu vielen subtilen Faktoren abhängen. In unserer Studie wurde der Algometer langsam in das Gewebe eingeschlichen und nicht mit einer schnellen Bewegung in den Pferderücken gedrückt. Dies ist wichtig bei der Interpretation der Werte. Gewisse Pferde werden bei einer zu schnellen Applikation des Algometers falsch tiefe Werte zeigen, da es sich um eine Flucht- oder Abwehrreaktion handelt und nicht um eine Antwort, die die Druckempfindlichkeit des Gewebes widerspiegelt.

6.1 Vergleich von Muskeln und Dornfortsatz

Vergleicht man die muskulären Stellen mit den Dornfortsätzen, zeigt sich deutlich, dass Muskeln tiefere Algometriewerte aufweisen als Dornfortsätze. Dies ist kontrovers zu bisherigen Studien in der Human- und Veterinärmedizin, die an knöchernen Strukturen und Dornfortsätzen tiefere Algometriewerte messen konnten (Kosek et al., 1999; Buthe et al., 2002;

Fischer, 1987). Pongratz und Licka (2017) erklären sich dies, wie bereits in der Einleitung erwähnt, durch die direktere Drucktransmission auf den Knochen durch die Haut und das Unterhautgewebe im Vergleich zur Muskulatur. Weichteile reagieren anders auf Druck als knöcherne Strukturen aufgrund der unterschiedlichen Gewebezusammensetzung und Innervierung (Ohrbach und Gale, 1989; Kosek et al. 1999). Andererseits ist die Reaktion auf den Messstempel an den muskulären Strukturen ganz anders als an den Knochenoberflächen. Bei den Muskeln handelte es sich um einen Muskelspannungsaufbau, der gemessen wurde, währenddessen bei den Dornfortsätzen ein subtiles Weichen des darunterliegenden Wirbels gemessen wurde. Auch hier lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den Studien dadurch erklären, dass in den erwähnten Studien (Kosek et al., 1999; Buthe et al., 2002; Fischer, 1987) andere Reaktionen für die Feststellung des Endwertes definiert waren. gerade in der Humanmedizin wird der Patient aufgefordert, seinen Schmerzpunkt verbal auszudrücken, was wieder von einer gewissen Individualität abhängt. Um die klinische Relevanz der Algometriewerte abschätzen zu können, wäre es interessant zu untersuchen, ob Pferde mit klinischen Befunden (Palpation, Bildgebende Diagnostik, eingeschränkter Beweglichkeit) an der Wirbelsäule tiefere Werte an den Dornfortsätzen und an den muskulären Strukturen zeigen würden, als gesunde Pferde. Die Werte der Dornfortsätze können etwas verallgemeinert als guter Indikator dafür verwendet werden, wie das Pferd grundsätzlich auf die Algometriemessung reagiert, da sie weniger von der momentanen Grundspannung abhängen als die Muskelwerte.

6.2 Anatomische Stelle

Die anatomische Stelle, wo die Messung stattfindet, hatte ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die Messwerte. In unseren Untersuchungsreihen wurden die Stellen der Dornfortsätze und Muskelwerte von TH8 und TH10 jeweils als gewisse Referenzpunkte behandelt, da diese beiden Punkte direkt an der Widerriststelle liegen und einen guten Hinweis darüber gaben, wie viel Druck das individuelle Pferd vertragen konnte. Praktisch bei allen Pferden konnte an der Lokalisation der Dornen von TH8 höhere Werte gemessen werden mit einem Mittelwert von 10.7 kg/cm². Dies zeigt, dass Pferde auf Druck an dieser Stelle eher unempfindlich reagieren. Alle Lokalisationen unterschieden sich signifikant voneinander, wobei aber vor allem die lumbalen Werte abnahmen und gegen den Glutaeus hin wieder zunahmen. Dies könnte mit einer grösseren Muskelbauchdicke des Glutaeus zusammenhängen, die vermutlich eine grössere Toleranz an punktuellen Druck zulässt. Unsere Werte verhielten sich kontrovers zur Literatur von Haussler (2003, 2006a), Pongratz und Licka (2017) oder Studien in der Humanmedizin (Ylinen, 2007; Vanderween, 1996), bei denen die Algometriewerte von cranial nach caudal zunahmen. Ein Grund für diese Unterschiede könnte wiederum die unterschiedlichen gemessenen Reaktionen sein. Ein zweiter Grund könnte die schnellere Drucksteigerung, wie sie bei Haussler (2003) mit 1 kg/s vorgenommen wurde, sein. In unserer Studie wurde mit maximal 0.7 kg/s gemessen. Eine schnellere Drucksteigerung könnte zur Folge haben, dass das Pferd in den zuerst gemessenen cranialen Bereichen sensibler reagiert, als weiter caudal.

6.3 Geschlecht

Werfen wir einen Blick auf die Geschlechterverteilung von Grafik 2 wird deutlich, dass bei den Hengsten höhere Algometriewerte gemessen werden konnten, als bei den Stuten oder

Wallachen. Die p-Werte aus Tabelle 5 ergeben aber keinen Unterschied zwischen Hengsten und Wallachen oder Stuten; nur Stuten zeigen signifikant niedrigere Algometriewerte als Wallache. Dazu ist anzumerken, dass die Gruppe von an der Studie teilnehmenden Hengste im Verhältnis zu Stuten oder Wallachen klar geringer war (9 Hengste im Gegensatz zu 91 Stuten und 137 Wallachen). Diese wesentlich geringere Stichprobe bei den Hengsten könnte erklären, weshalb die (in Grafik 2 deutlichen) Unterschiede zwischen Hengsten und den anderen Geschlechtern nicht signifikant war. Um bezüglich eines Unterschiedes zwischen den Geschlechtern Klarheit zu schaffen, müsste allenfalls mit einer äquivalenten Anzahl an teilnehmenden Hengsten, Wallachen und Stuten nachgetestet werden. Bei den teilnehmenden Hengsten handelte es sich bei fast der Hälfte (4 von 9) um PREs (Pura Raza Espanola) oder PSLs (Puro Sangu Lusitano). Diese beiden iberischen Pferdetypen zeichnen sich durch einen eher robusten Habitus und einen starken Charakter und Willensstärke aus. Wie aus Grafik 3 ersichtlich ist, haben diese Rassen im Vergleich zu Warmblütern (2 teilnehmende Hengste) oder Quarterhorses (1 teilnehmender Hengst) sowie sonstigen Rassen (1 teilnehmender Hengst) höhere Algometriewerte. Die fehlende Signifikanz des Unterschiedes zwischen Hengsten und anderen Geschlechtern könnte daher auch einen Rasseeffekt repräsentieren.

Bei den Stuten waren insgesamt tiefere Algometriewerte zu messen im Vergleich zu Wallachen. Dies deckt sich mit den Messungen in der Humanmedizin von Fischer (1987) und Pelfort et al. (2015), welche ebenfalls bei Frauen signifikant niedrigere Algometriewerte erhielten als bei Männern. Mit Einbezug des Estimates wird jedoch ersichtlich, dass es sich durchschnittlich um 0.1 kg/cm² handelt. Dieser geringe Unterschied hat in der Praxis vermutlich nur eine geringe Konsequenz. Ob Stuten sensibler auf Druck reagieren, beispielsweise zyklusbedingt oder aber auch aufgrund ihres Charakters und der mentalen Konstitution, müsste in der Folge genauer betrachtet und untersucht werden.

6.4 Rasse

Der Rasseinfluss zeigt, wie bereits in Tabelle 6 dargestellt, eine grosse Varianz an Messwerten. Dies verdeutlicht, dass das Erstellen von allgemein gültigen Referenzwerten in der Algometrie ein eher schwieriges Unterfangen ist. Die Ergebnisse stimmen mit dem Habitus der jeweiligen Pferderassen gut überein. Beispielsweise zeigen eher robuste Pferderassen wie die Isländer, Freiberger oder PREs/ PSLs tendenziell höhere Werte als feinere, augenscheinlich empfindlichere Rassen wie der Araber, Warmblüter oder dem Französischen Warmblut. Diese Ergebnisse stimmen gut überein mit den subjektiven Beobachtungen während den Messungen. Rasseunterschiede in der Empfindung könnten nach Bagshaw et al. (1994) infolge einer genetischen Selektion der Kodierung Neurotransmitter und Neuromodulatoren sein. Eine mögliche Erklärung für die Differenzen zwischen den verschiedenen Rassen könnte die unterschiedliche Gewebezusammensetzung im Bereich der Muskeln und Dornfortsätze sein.

Eine weitere Rolle spielt auch die psychische Verfassung des Pferdes. Beobachtet werden konnte während unseren Messungen, dass Pferde, die sich in der Messumgebung ruhig verhielten und komfortabel erschienen, auch eher höhere Algometriewerte hatten, respektive ihre Reaktion auf den Druck des Algometers gut mit unseren Erfahrungswerten korrelierte. Pferde vom eher nervösen, sensiblen Typ reagierten beobachtungsgemäss weniger konstant und bei eher tieferen Algometriewerten. Auf der anderen Seite ist davon auszugehen, dass beispielsweise Isländer mehr Druck tolerieren, weil sie generell wenig Unbehagen zur

Geltung bringen und auf Unangenehmes eher mit Resignation reagieren als mit einer sichtbaren Abwehrreaktion. Grundsätzlich muss die Frage gestellt werden, ob diese Methode für alle Rassen geeignet ist. Gerade bei sehr robusten, eher introvertierten Pferden oder gegensätzlich sehr sensiblen Pferden ist vermutlich allein durch die Algometrie wenig relevante, im Zusammenhang zur Läsion oder Pathologie stehende Information zu gewinnen. In dieser Hinsicht wäre es sinnvoll, beispielsweise wie oben bereits beschrieben Dornenwerte von TH8 oder TH10 als Referenzpunkt für das jeweilige Pferd verwenden zu können, um die restlichen Werte daran abgleichen zu können. Bei dieser Variation an Werten muss beachtet werden, dass vermutlich der Rückengesundheit unserer Studienpferde eine nicht ausser Acht zu lassende Relevanz zukommt. Die Pferde unserer Studie wiesen teilweise deutliche Zeichen von Rückenschmerzen auf.

6.5 Alter

Das Alter hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Algometrie. Mit einem durchschnittlichen Anstieg von 0.009 kg/cm^2 pro Jahr ist dieser Zusammenhang für die Anwendung in der Praxis allerdings von geringer Relevanz. Pferde zeigen individuell sehr unterschiedliche Werte. Mit zunehmendem Alter ist bei den Dornfortsätzen ein leicht steigender Trend, bei den Muskelwerten ein leicht abnehmender Trend zu beobachten. Dies könnte einen Zusammenhang mit der abnehmenden Trainingsintensität mit zunehmendem Alter und der daraus anzunehmenden Muskelatrophie haben. Auch die Zusammensetzung peripherer Nerven ändert sich mit zunehmendem Alter, so zeigen ältere Pferde einen Verlust von grösseren myelinisierten Fasern (Wheeler et al., 1989) oder eine abnehmende sensorische Nervenleitung (Wheeler, 1990). Auch die Muskelfasern verändern sich mit zunehmendem Alter, so finden sich bei älteren Pferden mehr Typ 1 Muskelfasern und weniger Typ 2B Muskelfasern (vor allem oxidative Typ 2B Fasern), als bei jüngeren Pferden (Rivero et al., 1993).

6.6 Repetitive Messung

Der statistisch signifikante Effekt der repetitiven Messung ist für die Praxis ebenfalls wenig relevant. Die leicht abnehmende Trendlinie des Medianwerts von Messung 1 zu Messung 3 lässt auf keinen eindeutigen Lern- respektive Gewöhnungseffekt schliessen. Nicht alle Pferde zeigten eine abnehmenden Trend der 3 Messungen, bei einigen Pferden konnte eine Zunahme der Algometriewerte während der 3 Messungen beobachtet werden, was auf eine Gewöhnung schliessen könnte, weil das Pferd gelernt hat, dass der Stimulus nicht schmerzhaft oder unangenehm ist. Einen weiteren Effekt könnte auch durch eine gewisse Massagewirkung durch den Algometer entstehen, ähnlich einer Triggerpunktmassage. Dass Massage bei Pferden eine Stressreduktion hervorrufen kann, zeigten McBride et al. (2004); dies würde erklären, warum sich gewisse Pferde während den Algometriemessungen entspannten und in diesem Fall auch die Massagewirkung bestätigen. Ob das Pferd einen abnehmenden oder zunehmenden Trend der 3 Messungen zeigte, hängt mit grosser Wahrscheinlichkeit auch von der momentanen mentalen Verfassung ab. Je nach dem, in wie weit sich das Pferd auf die Messung einlassen konnte, beeinflusste wahrscheinlich das Ergebnis der 3 Messungen. Ob die Werte innerhalb einer Messreihe zu- oder abnehmen, könnte aber auch damit zusammenhängen ob das Pferd Schmerzen hat oder nicht. Ist ein

algometrierter Punkt schmerzhaft, würde das vermutlich in der Folge zu einer Vermeidungsreaktion führen bei der nächsten Messung und somit einen tieferen Algometriewert ergeben.

6.7 Weiterführende Fragestellungen

Ausgehend von den hier diskutierten Ergebnissen, lässt sich die Fragestellung erweitern. Zum einen müsste die klinische Relevanz der hier eruierten und diskutierten Algometrieergebnisse in der Praxis mit bildgebender Diagnostik des Rückens verglichen werden und mit den Palpations- und Beweglichkeitsbefunden in Zusammenhang gebracht werden, um eine klare Aussage darüber machen zu können, ob die verschiedenen Werte und die Varianz der Werte im Zusammenhang mit einer klinischen Pathologie am Pferderücken stehen könnten. Dazu wäre interessant, die Algometriewerte über einen längeren Zeitraum zu wiederholen und damit den Einfluss des Trainings oder der klinischen Veränderungen einbeziehen zu können. Auch müssten genauer analysiert werden, inwiefern sich die einzelnen Faktoren untereinander beeinflussen. Wir gehen davon aus, dass die Algometriewerte nicht nur schmerzabhängig sind, sondern nach unseren Erfahrungen auch stark vom Messdurchführer und somit von der Art und Weise des Druckaufbaus abhängen. So wurde in dieser Studie ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass der Messstempel des Algometers mit deutlich langsamerer Geschwindigkeit am Pferderücken angewendet wurde, als in vorangegangenen Studien. Mit diesem Einschleichen des Algometers konnten durch Abwehrreaktionen verzerrte Werte, die aus einer Ausweichhaltung mit Verspannung des *M. longissimus* und folglich höherem Muskeltonus resultierten, zu einem grossen Teil vermieden werden. Diese Technik wurde bisher in keiner anderen Studie so angewendet und kann demnach nur für die hier gemessenen Werte als bedeutsam angeschaut werden. Ein direkter Vergleich der Daten zu ähnlichen Algometriestudien an Pferden ist deswegen, wie bereits erwähnt, mit grosser Vorsicht zu machen.

Bezüglich der Referenzwerte eines einzelnen Pferds ist zu sagen, dass die absoluten Werte von weniger grossem Interesse sind, als das Verhältnis zwischen den Werten für ein bestimmtes Pferd an einer bestimmten Lokalisation. So können beispielsweise an einer Lokalisation die Dornenwerte mit den Muskelwerten verglichen werden. Aussagekräftiger als ein absoluter Wert wäre demnach auch der Vergleich zwischen benachbarten Lokalisationen. Nimmt ein Wert von einer benachbarten Lokalisation zur nächsten drastisch ab, obwohl die restlichen Werte sich relativ ähnlich verhalten, könnte dies evtl. auf eine Pathologie oder Dysfunktion hinweisen. Dasselbe gilt für die Messungen in Folge. Weiter untersucht werden müsste, ob sensible, evtl. schmerzhaftere Pferde mit der Zeit und Anzahl Messungen empfindlicher werden und die Algometriewerte abnehmen.

Des Weiteren müsste der Effekt der Geschlechterverteilung in einer geeigneteren Studienpopulation, beispielsweise mit einer grösseren Anzahl an vertretenen Hengsten unterschiedlicher Rassen untersucht werden, um einen Schluss daraus zu ziehen, ob die erhöhten Werte bei den Hengsten evtl. rassebedingt sein könnten. Zudem müsste genauer untersucht werden, ob sich die Faktoren untereinander ebenfalls beeinflussen und ob die Kombination verschiedener Faktoren einen spezifischen Effekt auf die individuellen Werte

ergeben. Dazu müsste man statistisch die Interaktionen der verschiedenen Faktoren untersuchen.

Eine nächste Fragestellung wäre, welche weiteren Einflussfaktoren mitgespielt haben könnten in der Variabilität der Werte. Zum einen spielte sicherlich die momentane Situation eine Rolle, sprich die Umgebung, Ablenkungen jeglicher Art (andere Pferde, Menschen, evtl. Gerätschaften oder Fahrzeuge, Geräusche) oder auch das Wetter (Wärme oder Kälte, die den Muskeltonus beeinflussen), die Tagesform des Pferdes sowie des Untersuchers, die Geduld und Kompetenz des Pferdeführers oder die Konzentration des Pferdes und Messdurchführers in der jeweiligen momentanen Situation. Zusätzlich ist es von immenser Bedeutung zu wissen, ob die Pferde schmerzhaft waren im Rücken, oder nicht. Diese Faktoren sind sicherlich schwieriger, wenn nicht unmöglich, zu standardisieren. Eine gewisse Unsicherheit bleibt bestehen, gerade deswegen, weil die Messung gewissermassen eine Momentaufnahme der Verfassung des Pferdes darstellt.

7 Schlussfolgerung

Zusammenfassend können wir sagen, dass die Algometrie aus Sicht der Literatur sowie aus den eigenen Erfahrungen eine gute Methode für die Praxis darstellt, allerdings keine hochpräzise Diagnostik ermöglicht. In Zusammenhang mit der Palpation gibt die Algometrie aber wertvolle Anhaltspunkte zur Empfindsamkeit der jeweiligen Körperregion. Dabei beachtet werden muss die Individualität jedes Patienten, denn einzelne Algometriedaten sind wenig geeignet, um allgemeine Aussagen zu treffen oder gar Referenzwerte zu definieren, da viele Faktoren die Algometrie beeinflussen.

In unserer Studie ergaben sich bezüglich der Werte einige Diskrepanzen zur Literatur. Unsere Werte nahmen in Richtung caudaler Körperregion ab, was in der Literatur gegensätzlich beschrieben wurde. Ebenso verhält es sich mit den Werten über Dornfortsätzen und Muskeln, in unserer Studie waren die Muskelwerte signifikant tiefer, als die Werte der Dornfortsätze, auch dies wurde in der Literatur anders beschrieben. Dazu ist anzumerken, dass eine Standardisierung in der Algometrie schwierig ist, da das Endergebnis von der Reaktion des Pferdes, der messenden Person und der festgelegten Messreaktion abhängt. Einen wesentlichen Einfluss auf unsere Werte hatte vermutlich die Rückengesundheit unserer Studienpferde. Einen wesentlichen Einfluss auf unsere Algometriewerte hatten auch die Faktoren Rasse und Geschlecht, auch da gilt es, das individuelle Pferd anzuschauen und die Werte je nach Rasse und Geschlecht anders einzuschätzen, da wir da eine grosse Variabilität an Werten erhalten haben.

Die Algometrie ist somit durchaus eine nützliche Methode in der klinischen Untersuchung der Rückengesundheit von Pferden, sofern sie mit den oben genannten Kriterien und der klinischen Untersuchung in Zusammenhang gebracht wird. Wie relevant Algometriewerte in Bezug auf die Feststellung klinischer Befunde / Pathologien ist, muss in einem nächsten Schritt mittels eines Vergleichs mit den Resultaten der bildgebenden Diagnostik untersucht werden.

8 Referenzen

- Andersen JH., Kaergaard A., Frost P., Thomsen JF., Bonde JP., Fallentin N., et al., 2002. Physical, psychosocial, and individual risk factors for neck/shoulder pain with pressure tenderness in the muscles among workers performing monotonous, repetitive work. *Spine* 27:660-667
- Antonaci F., Sand T., Lucas GA., 1998. Pressure algometry in healthy subjects: inter-examiner variability. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 30:3-8
- Baldry P., 1992. Fibromyalgia: a review of current knowledge. *Acupunct Med* 10:13-17
- Bagshaw CS., Ralston SL., Fischer H., 1994. Behavioral and physiological effect of orally administered tryptophan on horses subjected to acute isolation stress. *Appl Anim Behav Sci* 40:1-12.
- Bendtsen L., Jensen R., Jensen NK., Olesen J., 1995. Pressure-controlled palpation: a new technique which increases the reliability of manual palpation. *Cephalalgia* 15:205-210.
- Bernstein C., Burstein R., 2012. Sensitization of the trigeminovascular pathway: perspective and implications to migraine pathophysiology. *J Clin Neurol* 8(2):89-99
- Bezov D., Ashina S., Jensen R., Bendtsen L., 2011. Pain perception studies in tension-type headache. *Headache* 51(2):262-271
- Buthe A., Hertsch B., 2002. Objektivierung der Stempelprobe als Bestandteil der klinischen Rückenuntersuchung zur Diagnose des Kissing Spines- Syndroms mittels Algometrie in Korrelation mit Röntgenbefunden. *Der Praktische Tierarzt* 83:436-40.
- Campbell SM., Clark S., Tindall E.A., Forehand M.E., Bennett R.M., 1983. Clinical characteristics of fibrositis. 1. A 'blinded' controlled study of symptoms and tender points, *Arthr Rheum* 26:817-824
- Castien RF., van der Wouden JC., De Hertogh W., 2018. Pressure pain thresholds over the cranio-cervical region in headache: a systematic review and meta-analysis. *J Headache Pain* 19:9
- Chen Y., 2009. Advances in the pathophysiology of tension-type headache: from stress to central sensitization. *Cur Pain Head Rep* 13(6):484-494
- Coleman KD., Schmiedt CW., Kirkby KA., Coleman AE., Robertson SA., Hash J., Lascelles BDX., 2014. Learning confounds algometric assessment of mechanical thresholds in normal dogs. *Vet Surg* 43:361-367

De Heus P., Van Oossanen G., Van Dierendonck MC., 2010. A pressure algometer is a useful tool to objectively monitor the effect of diagnostic palpation by a physiotherapist in warmblood horses. *Equine Vet J* 30:310–321

Fernandez-De-Las-Penas C., Cuadrado ML., Arendt-Nielsen L., Pareja JA., 2008. Side-to-side differences in pressure pain thresholds and pericranial muscle tenderness in strictly unilateral migraine. *Eur J Neurol* 15(2):162–168

Fernandez-De-Las-Penas C., Madeleine P., Caminero AB., Cuadrado ML., Arendt-Nielsen L., Pareja JA., 2010. Generalized neck-shoulder hyperalgesia in chronic tension-type headache and unilateral migraine assessed by pressure pain sensitivity topographical maps of the trapezius muscle. *Cephalalgia* 30(1):77–86

Filatova E., Latysheva N., Kurenkov A., 2008. Evidence of persistent central sensitization in chronic headaches: a multi-method study. *J Headache Pain* 9(5):295–300

Fischer A.A., 1984. Diagnosis and management of chronic pain in physical medicine and rehabilitation. In: A.P. Ruskin (Ed.), *Current Therapy in Psychiatry*, Saunders, Philadelphia, PA, 123-145

Fischer A.A., Chang C., 1986. Temperature and pressure threshold measurements in trigger points. *Thermology* 1:212-215

Fischer AA., 1987. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. *Pain* 30:115–126

Fischer AA., 1998. Algometry in diagnosis of musculoskeletal pain and evaluation of treatment outcome: an update. *J Musculoskel Pain* 6:5–32

Fitzpatrick C., 2011. Assessing and Mediating Pain in Dairy Cows With Experimentally Induced Clinical Mastitis. dissertation/master's thesis. Guelph, ON: University of Guelph

Florencio LL., Giantomassi MCM., Carvalho GF., Goncalves MC., Dach FF., Fernandez-de-las-Penas C., Grossi DB., 2015. Generalized pressure pain hypersensitivity in the cervical muscles in women with migraine. *Pain Med* 16(8):1629–1634

Fricton JR., 1990. Myofascial pain syndrome: characteristics and epidemiology. *Adv Pain Res* 17:107-128

Fumal A., Schoenen J., 2008. Tension-type headache: current research and clinical management. *Lancet Neurol* 7(1):70–83

Grossi DB., Chaves TC., Gonçalves MC., Moreira VC., Canonica AC., Florencio LL., Bordini C., Spaciali J., Bigal M., 2011. Pressure pain threshold in the craniocervical muscles of women with episodic and chronic migraine: a controlled study. *Arq Neuropsiquiatr* 69(4):607–612

- Grobli C., 1997. Klinik und Pathophysiologie von myofaszialen Triggerpunkten. *Physiotherapie* 3(1): 17-26
- Gröbli C., Dommerholt J., 1997. Myofasziale Triggerpunkte. Pathologie und Behandlungsmöglichkeiten. *Manuelle Medizin* 35:295-303
- Haussler KK., Bertram JEA., Gellman K., Hermanson JW., 2001. Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study. *Equine Vet J Suppl* 33:160-164.
- Haussler KK., Erb HN., 2003. Pressure algometry: objective assessment of back pain and effects of chiropractic treatment. *Proceedings 49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners* 49:66-70 New Orleans, LA. Ithaca, NY: International Veterinary Information Service
- Haussler KK., Erb HN., 2006a. Pressure algometry for the detection of induced back pain in horses: a preliminary study. *Equine Vet J* 37:76-81
- Haussler KK., Erb HN., 2006b. Mechanical nociceptive thresholds in the axial skeleton of horses. *Equine Vet J* 38:0-75
- Haussler KK., Behre TH., Hill AE., 2008. Mechanical nociceptive thresholds within the pastern region of Tennessee Walking Horses. *Equine Vet J* 40(5):455-459
- Hong CZ., 1996. Pathophysiology of myofascial trigger point. *J Formos Med Assoc* 95:93-104
- Jacobs JW., Geenen R., van der Heide A., Rasker JJ., Bijlsma JW., 1995. Are tender point scores assessed by manual palpation in fibromyalgia reliable? An investigation into the variance of tender point scores. *Scandinavian Journal of Rheumatology* 24:243-247
- Keating L., Lubke C., Powell V., Young T., Souvlis T., Jull G., 2001. Mid- thoracic tenderness: a comparison of pressure pain threshold between spinal regions, in asymptomatic subjects. *Man Ther.* 6:34-9.
- Kosek E., Ekholm J., Hansson P., 1999. Pressure pain thresholds in different tissues in one body region. The influence of skin sensitivity in pressure algometry. *Scan J Rehab Med* 31:89-93
- Kraus H., 1981. Musculofascial pain. In: *Pain Control: Practical Aspects of Patient Care*, Masson, New York
- Krug C., Devries TJ., Roy J-P., Dubuc J., Dufour S., 2018. Algometer Precision for Quantifying Mechanical Nociceptive Threshold When Applied to the Udder of Lactating Dairy Cows. *Front Vet Sci* 5:215
- Lascelles BD., Cripps PJ., Jones A., et al., 1997. Post-operative central hypersensitivity and pain: the pre-emptive value of pethidine for ovariohysterectomy. *Pain* 73:461-471

- Lascelles BD., Cripps PJ., Jones A., et al., 1998. Efficacy and kinetics of carprofen, administered preoperatively or postoperatively, for the prevention of pain in dogs undergoing ovariohysterectomy. *Vet Surg* 27:568-582
- Lewit K., 1999. Manipulative therapy in rehabilitation of the locomotor system. Oxford: Butterworth- Heinemann
- McBride SD., Hemmings A., Robinson K., 2004. A preliminary study on the effect of massage to reduce stress in the horse. *J Equine Vet Sci* 24:76-81.
- McCarthy Jr., D.J., Gatter R.A., Phelps P., 1965. A dolorimeter for quantification of articular tenderness. *Artbr Rheum* 8:551-559
- Mense S., 1997. Pathophysiologic basis of muscle pain syndromes. In: Fischer AA (ed) *Myofascial pain; update in diagnosis and treatment*, 8. Saunders, Philadelphia
- Merskey H., Gillis A., Marszaleck K.S., 1962. A clinical investigation of reactions to pain. *J ment Sci* 108:347-355
- Merskey H., Spear F.G., 1964. The reliability of the pressure algometer. *Brit J sot clin Psychol* 3:130-136
- Moldofsky H., Chester W.J., 1970. Pain and mood in patients with rheumatoid arthritis. *Psychosom Med* 32:309-318
- Moldofsky H., Scarbrick P., England R., Smythe H., 1976. Musculoskeletal symptoms and non-REM sleep disturbance in patients with 'fibrositis syndrome' and healthy subjects. *Psychosom Med* 37:341-351
- Ohrbach R., Gale E.N., 1989. Pressure pain thresholds in normal muscles: reliability, measurement effects and topographic differences. *Pain* 37:257-263
- Pongratz U., Licka T., 2017. Algometry to measure pain threshold in the horse's back- an in vivo and in vitro study. *BMC Veterinary Research* 13:80
- Pöntinen PJ. , 1998. Reliability, validity, reproducibility of algometry in diagnosis of active and latent tender spots and trigger points. *J Musculoskel Pain* 6:61-71
- Reeves JL., Jaeger B., Graff-Radford SB., 1986. Reliability of pressure algometer as a measure of myofascial trigger point sensitivity. *Pain* 24:313-321
- Rivero JLL., Galisteo AM., Agüera E., Miro F., 1993. Skeletal muscle histochemistry in male and female Andalusian and Arabian horses of different ages. *Res Vet Sci* 54(2):160-169
- Rosomoff HL., Fishbain DA., Goldberg M. et al., 1989. Physical findings in patients with chronic intractable pain of the neck and/or back. *Pain* 37:279-287

- Sakai F., Ebihara S., Akiyama M., Horikawa M., 1995. Pericranial muscle hardness in tension-type headache: A non-invasive measurement method and its clinical application. *Brain* 118:523-531.
- Simons D., 1993. Referred phenomena of myofascial trigger points. In: Vecchiet L, Albe-Fessard D, Lindblom U et al (eds) *New trends in referred pain and hyperalgesia*, 27. Elsevier, Amsterdam
- Simons D., 1996. Clinical and etiological update of myofascial pain from trigger points. *J Musculoskelet Pain* 4:93-121
- Skootsky SA., Jaeger B., Oye RK. 1989. Prevalence of myofascial pain in general internal medicine practice. *West J Med* 151:157-160
- Slingsby LS., Jones A., Waterman-Pearson AE., 2001. Use of a new finger-mounted device to compare mechanical nociceptive thresholds in cats given pethidine or no medication after castration. *Res Vet Sci* 70:243-246
- Sullivan KA., Hill AE., Haussler KK., 2008. The effects of chiropractic, massage and phenylbutazone on spinal nociceptive thresholds in horses without clinical signs. *Equine Vet J* 40:14-20
- Travell JG., Rinzler S., Herman M., 1942. Pain and disability of the shoulder and arm. *J Am Med Assoc* 120:417-422
- Travell JG., Rinzler SH., 1952. The myofascial genesis of pain. *Postgrad Med* 11:452-434
- Travell JG., Simons DG., 1983. *Myofascial Pain and Dysfunction. The Trigger Point Manual.* vol 1. Williams & Wilkins, Baltimore
- Vanderween L., Oostendorp R.A.B., Vaes P., Duquet W., 1996. Pressure algometry in manual therapy. *Man Ther.* 1:258-65
- Varcoe-Cocks K., Sagar KN., Jeffcott LB., McGowan CM., 2006. Pressure algometry to quantify muscle pain in racehorses with suspected sacroiliac dysfunction. *Equine Vet J* 38:558-562
- Vogel, J., 2015. Vorlesungsunterlagen Universität Zürich, Veterinärphysiologie
- Wennerstrand J., Johnston C., Roethlisberger-Holm K., Erichsen C., Eksell P., Drevemo S., 2004. Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. *Equine Vet J* 36:707-711
- Wheeler SJ., Plummer JM., 1989. Age-related changes in the fibre composition of equine peripheral nerve. *J Neurol Sci* 90:53-66
- Wheeler SJ., 1990. The effect of age on sensory nerve conduction velocity in the horse, *Res Vet Sci* 48(2): 141-144

Wolf L., 2002. The role of complementary techniques in managing musculoskeletal pain in performance horses. *Vet Clin North Am Equine Pract* 18:107-115

Yamagata S., Ishikawa M., Saijo M., Fukushima S., Yamanobe K., Musamune O., Takahasbi. T., Nagasaki A., 1976. A diagnostic re-evaluation of electric skin resistance, skin temperature and deeper tenderness in patients with abdominal pain. *Tohoku J Exp Med* 118: Suppl. 183-189

Ylinen J., Nykanen M., Kautiainen H., Hakkinen A., 2007. Evaluation of repeatability of pressure algometry on the neck muscles for clinical use. *Man Ther* 2:192-197

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen ganz herzlich bedanken, die beim Erstellen dieser Arbeit massgeblich beteiligt waren oder mich in irgendeiner Form unterstützt haben.

Herzlich danken möchte ich an erster Stelle Prof. Dr. Michael Weishaupt, der mir überhaupt erst die Möglichkeit gab, in diesem spannenden Gebiet der Pferdesportmedizin eine Arbeit schreiben zu dürfen, sowie die Geduld aufbrachte, mir die Algometrie sehr detailliert und fundiert näher zu bringen.

Ebenfalls herzlich danken für ihre grossartige Hilfe, Geduld und Unterstützung während der ganzen Arbeit möchte ich Dr. Marie Dittmann, bei ihr durfte ich jederzeit Rat holen, wenn etwas nicht mehr weiterging.

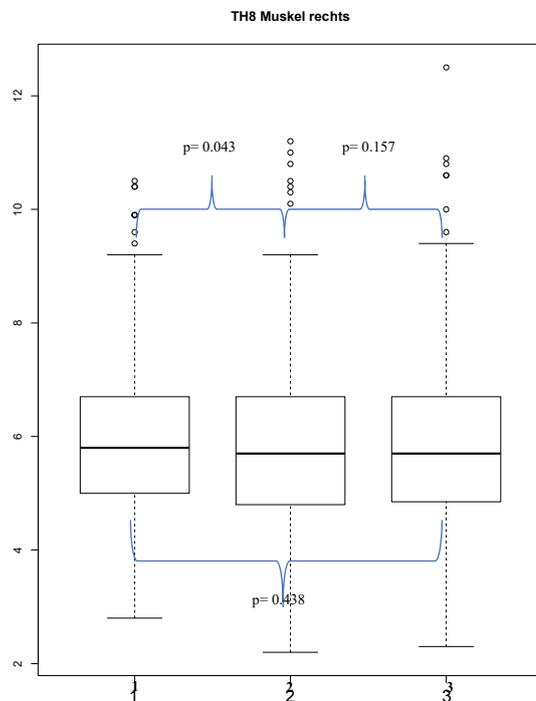
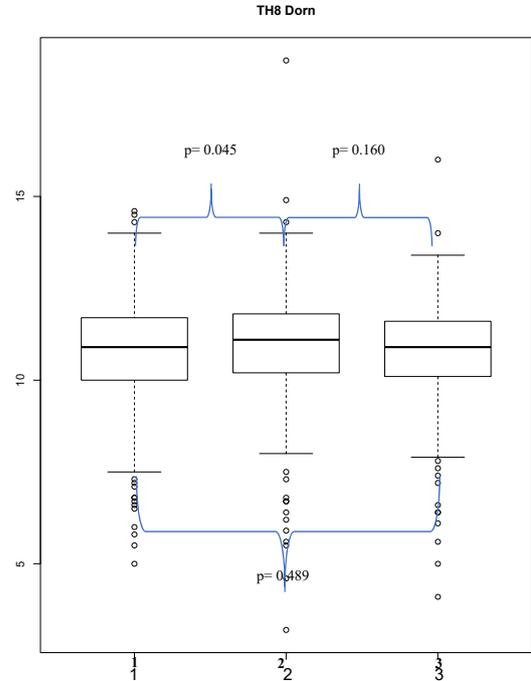
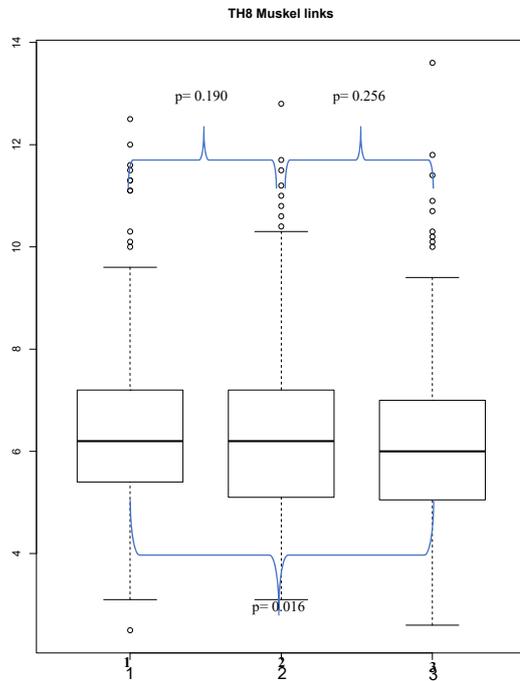
Weiter möchte ich Dr. Selma Latif danken, die besonders im ersten Teil dieser Arbeit mitgewirkt hat und mir viele gute Tipps und Infos weitergab im Hinblick auf die Palpation und Rückengesundheit beim Pferd.

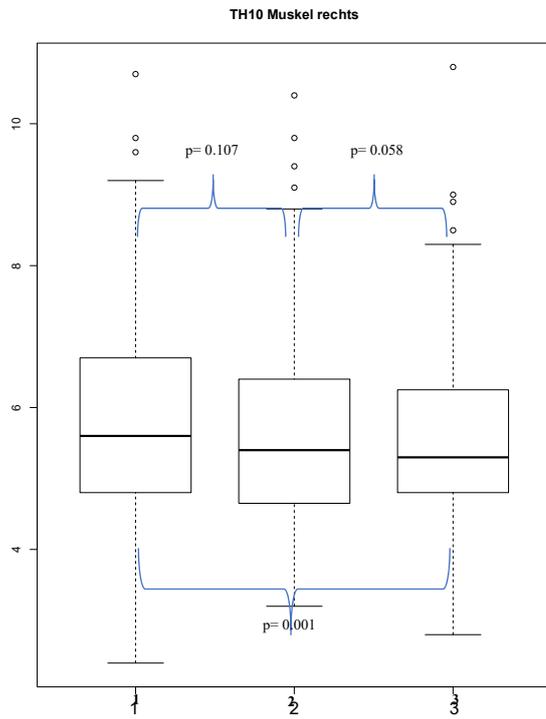
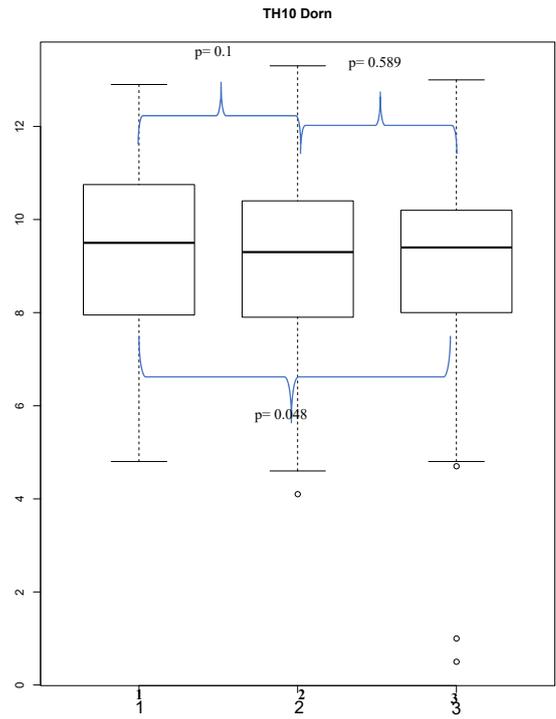
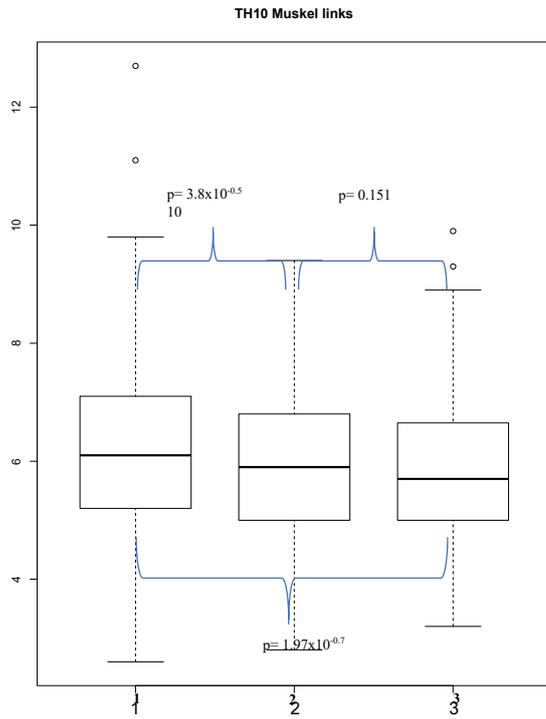
Nicht zuletzt möchte ich meiner wundervollen Familie und meinem Freund danken, für die immerwährende Unterstützung während des gesamten Studiums.

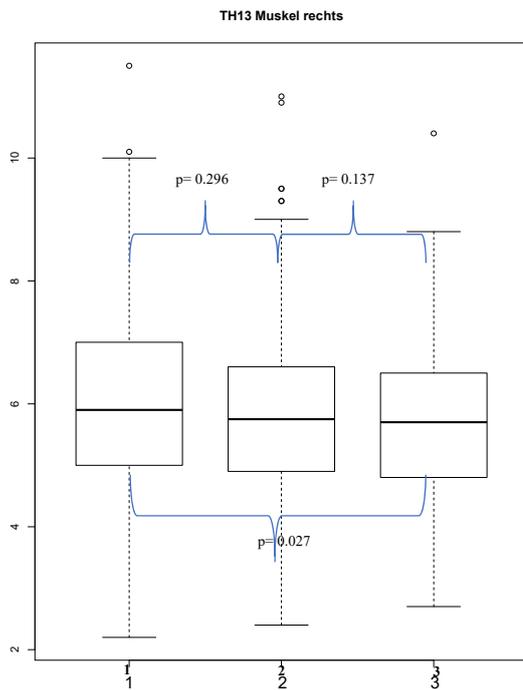
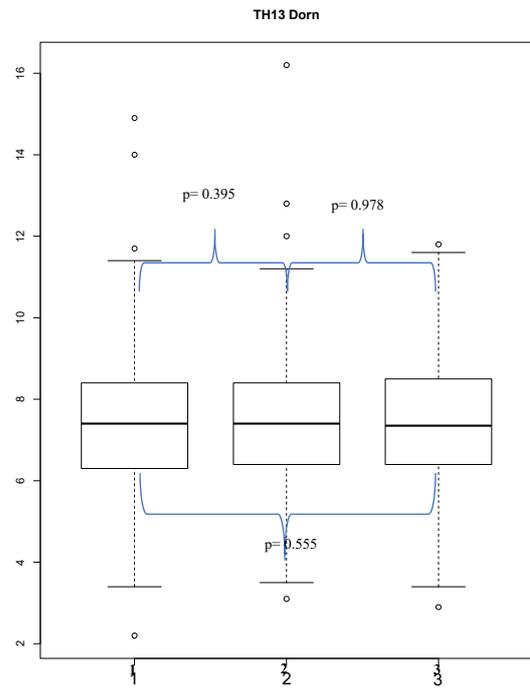
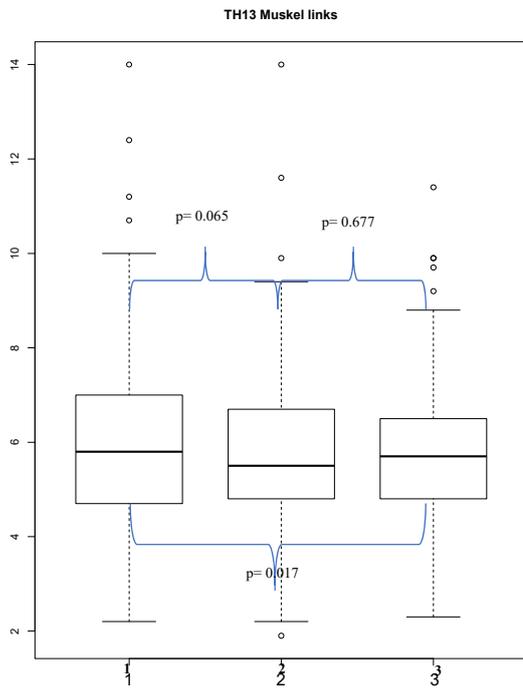
10 Annex

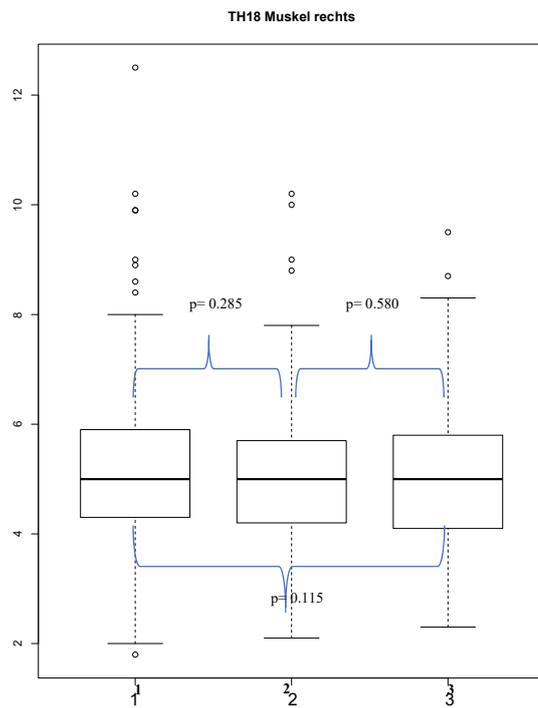
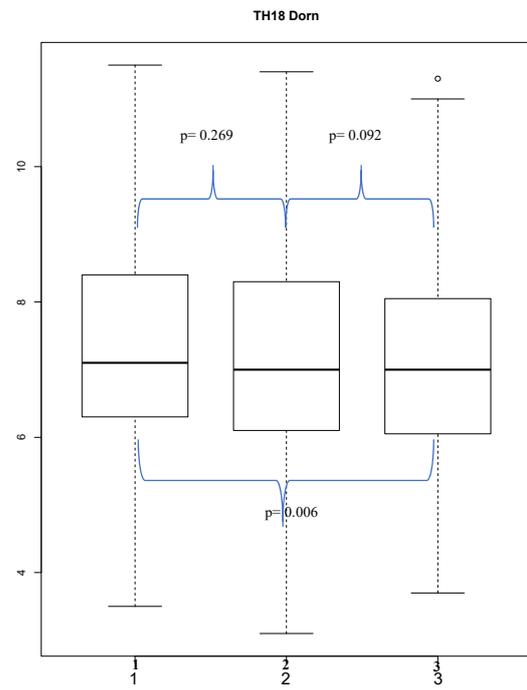
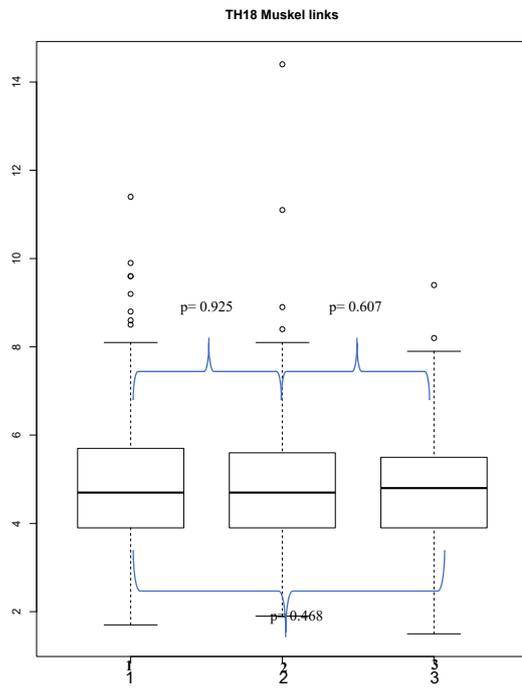
- Boxplots der einzelnen Messungen
- Eigenständigkeitserklärung

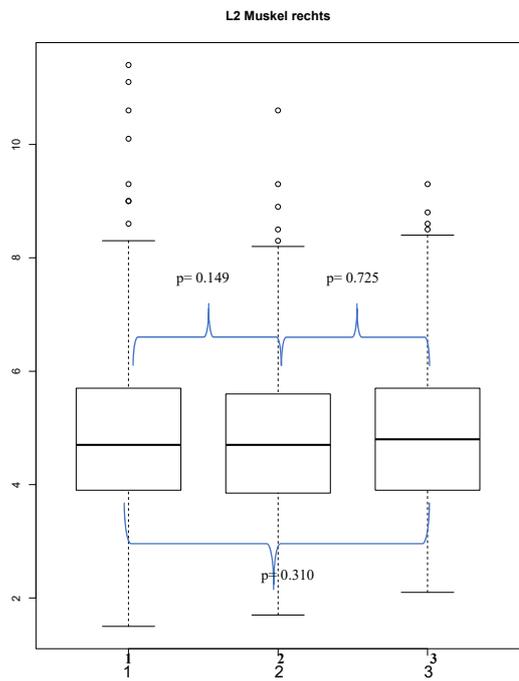
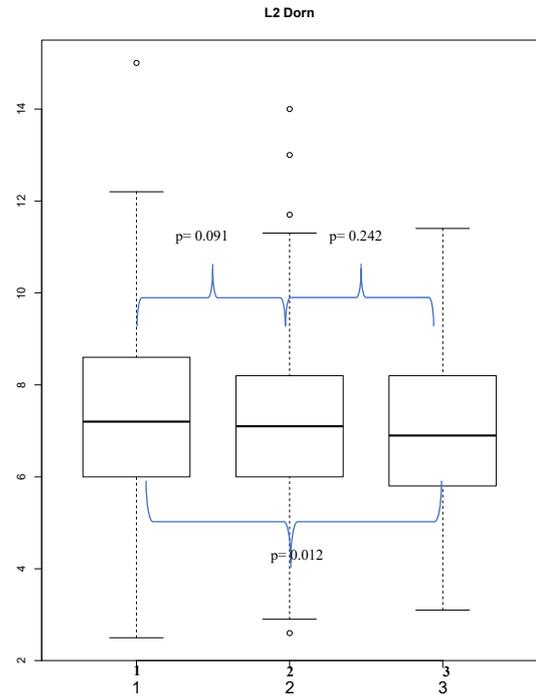
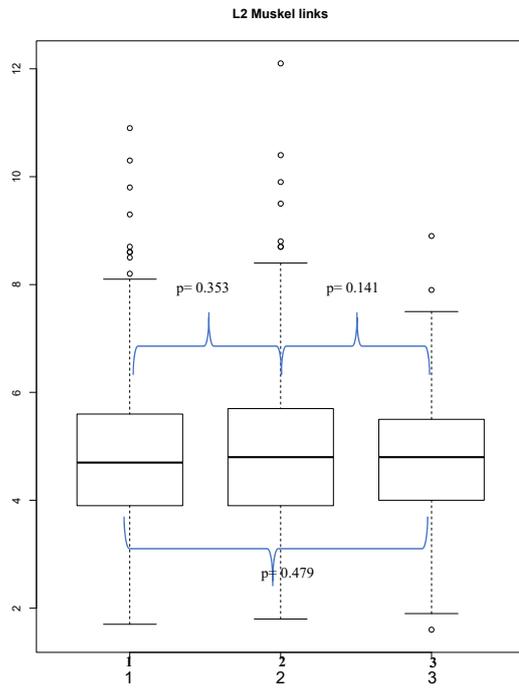
10.1 3 Messungen in Folge

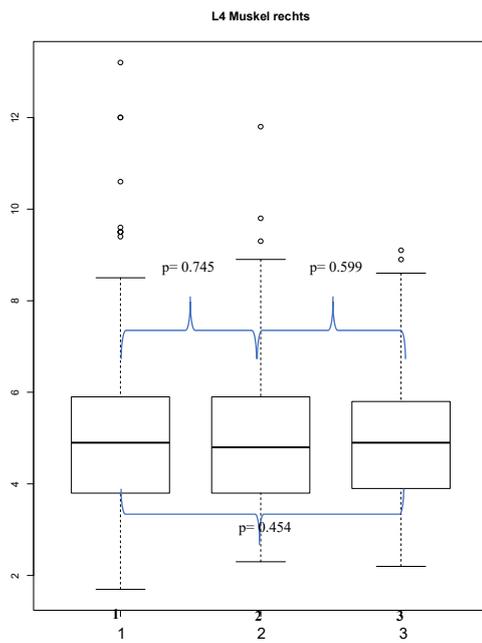
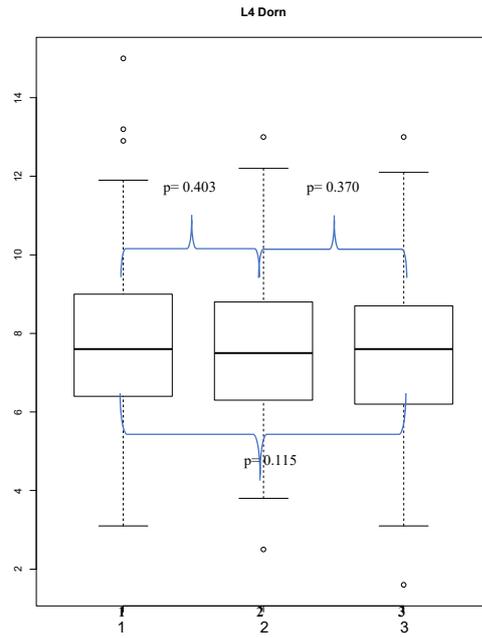
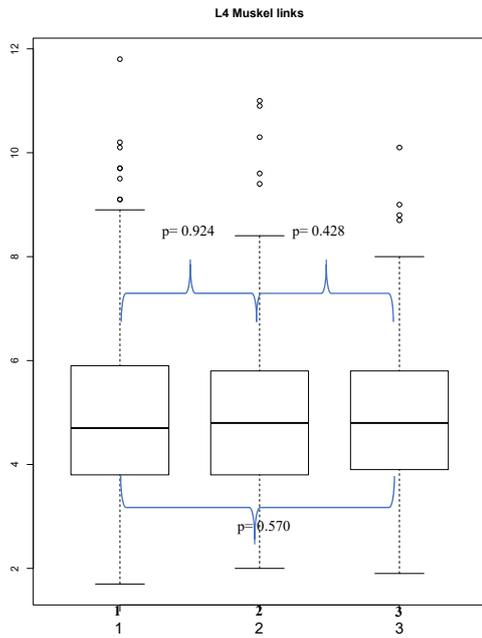


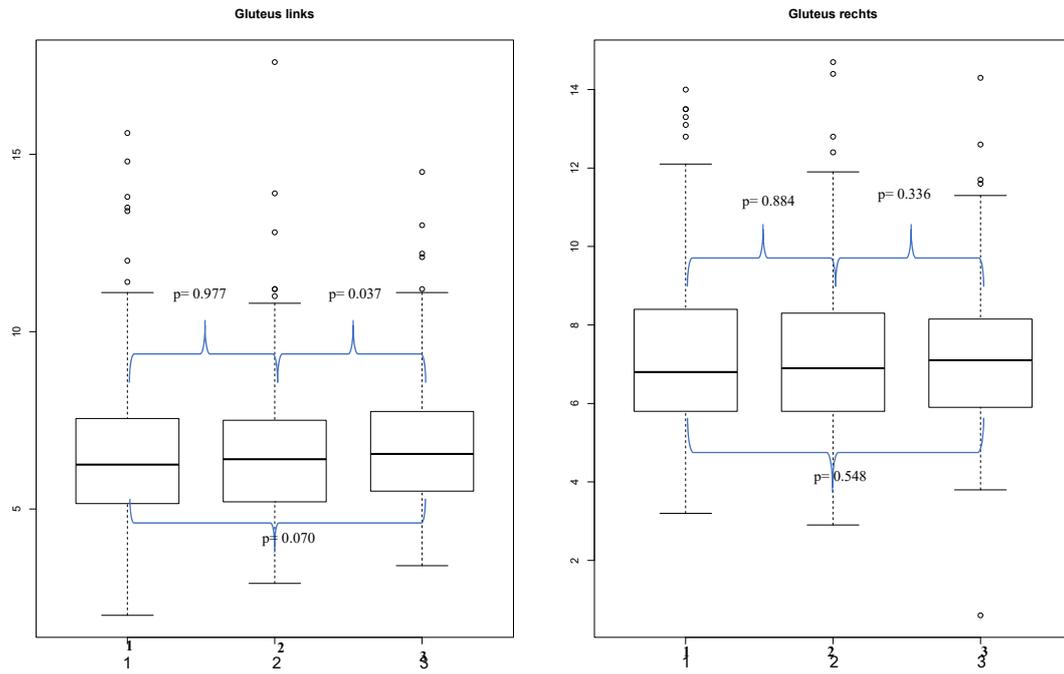












Eigenständigkeitserklärung
Masterarbeit

Ich Anna Graf (Name des Studierenden) bestätige,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt habe;
- dass alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, kenntlich gemacht sind;
- dass ich die Masterarbeit gemäss Richtlinien im Merkblatt für Studierende und Betreuende zur Durchführung der Masterarbeit an der Vetsuisse-Fakultät der Standorte Bern und Zürich durchgeführt habe.

Seengen, 13.08.19
Ort, Datum


Unterschrift Studierende