

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Universitätsklinik für Pferde

(Leiterin: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Florian Jenner, Dipl. ACVS Dipl. ECVS)

**Die Druckverteilung der Hufe bei Fohlen
in den ersten drei Lebensmonaten
unter Berücksichtigung ihrer Gliedmaßenstellungen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Mag. Judith Zachhuber

Wien, im Juni 2023

Betreuerin: Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Theresia Licka, Dipl. ACVSMR
Dipl. ECVSMR
Veterinärmedizinische Universität Wien
Department für Kleintiere und Pferde
Universitätsklinik für Pferde
Klinische Abteilung für Pferdechirurgie

Externe Betreuerin: Dr. Rebekka Zsoldos PhD
Lecturer in Equine Science | Equine Science Program Coordinator
School of Agriculture & Food Sciences | Faculty of Science
The University of Queensland | Gatton, Queensland 4343 AUSTRALIA

Gutachterin: Dr. med.vet. Marion Mucha, Dipl. ECVSMR
Veterinärmedizinische Universität Wien
Physikalische Medizin und Rehabilitation
Universitätsklinik für Kleintiere
Klinische Abteilung für Kleintierchirurgie

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung und Fragestellung	1
1.1. Literaturübersicht.....	3
1.1.1. Entwicklung der Gliedmaßenachsen bei Fohlen.....	3
1.1.2. Entwicklung der posturalen und der Stabilität in Bewegung bei Fohlen.....	5
1.1.2.1. Posturale Stabilität.....	5
1.1.2.2. Stabilität in Bewegung	6
1.1.3. Hufbalance und Landpräferenzen bei erwachsenen Pferden.....	7
1.1.4. Druckmessmatte versus Kraftmessplatte	9
2. Material und Methode	11
2.1. Eigene Datenerhebungen, -verarbeitung und –auswertung	13
2.2. Auswertung der Daten der Druckmessmatte	22
2.3. Statistik	25
3. Ergebnisse	26
3.1. Ergebnisse der Gelenkmessungen mit imagej und der Videobeurteilung	29
3.2. Ergebnisse der Druckmessmattenanalyse	32
3.3. Korrelationen der statistischen Auswertung	36
4. Diskussion	39
4.1. Vermessung und visuelle Beurteilung der Gelenkwinkelungen	39
4.2. Ergebnisse der Druckmessmatte und Korrelationen mit den Gelenkwinkeln.....	43
5. Zusammenfassung	45
6. Summary	46
7. Abkürzungsverzeichnis	47
8. Literaturverzeichnis	48
9. Abbildungsverzeichnis	52
10. Tabellenverzeichnis	53
11. Anhang	54
11.1. Auflistung der Messergebnisse und Standardabweichungen.....	54
11.2. Auflistung der Ergebnisse der Videobeurteilung	62
11.2.1. Ergebnisse der Videobewertung der Betreuerin	63
11.2.2. Ergebnisse der Videobewertung der Diplomandin	66
11.3. Grafische Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte der Gelenkwinkelungen und Standardabweichungen für jedes Gelenk	69

1. Einleitung und Fragestellung

Druckmessung ist ein wertvolles Tool in der Bewegungsanalyse, das besonders für Forschungszwecke wichtig ist, um verlässliche und objektive Daten zu sammeln, aber auch in der klinischen Praxis verwendet wird (Skopljak et al. 2014; Oosterlinck et al. 2011b). Es gibt mittlerweile unzählige Studien verschiedene Tierarten (Meijer et al. 2014; Oosterlinck et al. 2011b), so auch Pferde (van Heel et al. 2004; Clayton et al. 2013; Clayton und Nauwelaerts 2012; Coda et al. 2014; Faramarzi et al. 2018; Gomes-Costa et al. 2015; Gorissen et al. 2018; Hair et al. 2014; Lange et al. 2012; Mokry et al. 2021; Oomen et al. 2012; Oosterlinck et al. 2011b; Oosterlinck et al. 2013; Oosterlinck et al. 2010; Oosterlinck et al. 2011a; Pitti et al. 2018; Todorovski 2019) und Ponys (Oosterlinck et al. 2011a), und Fragestellungen betreffend, bei denen verschiedene Systeme der Druckmessung (Oosterlinck et al. 2010) zum Einsatz kommen.

Basierend auf einem zur Verfügung gestellten Datenset beschäftigt sich diese Arbeit mit der Druckverteilung der Fußungsflächen einzelner Hufe bei Fohlen, und zwar wie ihre Gliedmaßenstellung diese Druckverteilung beeinflusst, und wie sich diese beiden Parameter in den ersten drei Lebensmonaten verändern. Bei sehr jungen Fohlen wird eine hohe Variabilität bei der Druckverteilung in den ersten Monaten erwartet, die mit dem Alter der Fohlen negativ korreliert, also abnimmt. Daraus ergibt sich folgende zu untersuchende Hypothese: Die Druckverteilung innerhalb der einzelnen Hufe ist bei sehr jungen Fohlen sehr variabel und wird mit dem Alter der Fohlen zunehmend konstanter. Im Alter von drei Monaten, bei der letzten Messung, ist die Variabilität signifikant geringer als am Tag der Geburt, bei der ersten Messung. Die zweite zu untersuchende Hypothese ist: Die Gelenkwinkelungen der Gliedmaßen beeinflussen die Druckverteilung dahin gehend, dass ein Carpus oder Tarsus valgus sowie eine zehenweite Stellung zu einer höheren Druckbelastung in der medialen als in der lateralen Hufhälfte führt, und dass im umgekehrten Fall bei einem Carpus oder Tarsus varus sowie einer zehenengen Stellung die Druckbelastung in der lateralen Hufhälfte höher ist als in der medialen, wobei das Ausmaß der Gliedmaßenfehlstellung mit dem Ausmaß der Druckbelastungsdifferenz medial versus lateral korreliert.

Die Zielsetzung hinter dieser Fragestellung ist es festzustellen, ob die verwendete Form der Ganganalyse mittels Druckmessmatten bei Fohlen verlässliche Daten liefert, aus denen sich valide Rückschlüsse auf eventuelle Gliedmaßenfehlstellungen ziehen lassen können und ob

es somit sinnvoll wäre, die Druckmessmatte in einem klinischen Setting zum Monitoring für diese Fragestellung zu verwenden.

1.1. Literaturübersicht

1.1.1. Entwicklung der Gliedmaßenachsen bei Fohlen

Die meisten Fohlen kommen nicht mit regelmäßigen Extremitäten, die von vorne oder hinten betrachtet eine gerade Achse bilden, zur Welt, sondern haben im distalen Bereich ab dem Carpus und dem Tarsus in den ersten Lebensmonaten eine Abweichung von 3° bis 5°. Am häufigsten sind das Carpus und Tarsus valgus, die sich bis zum Alter von einem Jahr ohne über korrekte Hufpflege hinausgehende Maßnahmen zu einer funktionellen Achse auswachsen (Smith 2010). Im Gegensatz dazu neigt ein beim Neonaten auftretender Carpus varus eher dazu sich zu verschlimmern (Smith 2010). Nahezu jeder Stellungsfehler in einer Extremität geht mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Rotation des distalen Teils der Gliedmaße, ein Carpus oder Tarsus valgus mit einer Supination und ein Carpus oder Tarsus varus mit einer Pronation, einher (Bramlage und Auer 2006).

Fohlen verfügen über einen natürlichen Korrekturmechanismus, der bewirkt, dass sich viele Fehlstellungen graduell ohne aktive externe Intervention begradigen (Bramlage 1999). Dieser beruht darauf, dass der erhöhte intermittierende Druck in der Bewegung auf der konkaven Seite des Gelenks die Zellen in der Epiphyse stimuliert und so das Wachstum des Knorpels und die spätere Umwandlung des lokal höheren Knorpels in einen ebensolchen Knochen fördert (Bramlage 1999). Ist die Fehlstellung zu stark ausgeprägt, so dass ein pathologisches Limit erreicht wird, funktioniert dieser Mechanismus nicht mehr und das Zellwachstum wird auf der konvexen Seite der Epiphyse auf Grund der Überbelastung gestoppt (Bramlage und Auer 2006).

Santschi et al. (2006) untersuchten bei insgesamt 119 Vollblutfohlen die Stellung der Karpal- sowie der Fesselgelenke während deren ersten vier Lebensmonaten mehrmals, in Abständen von etwa 30 Tagen, wobei die erste Untersuchung in etwa am zehnten Lebenstag der Fohlen stattfand, visuell von vorne (Santschi et al. 2006). Aus der Studie geht nicht eindeutig hervor, wie bei der Untersuchung vorgegangen wurde und ob die Fohlen in Ruhestellung oder in Bewegung beurteilt wurden. Zur Qualitätssicherung wurden die Fohlen jeweils von zwei Personen an aufeinanderfolgenden Tagen untersucht. Die Studie wurde mit ungefähr 70 Fohlen noch ein weiteres Jahr mit Untersuchungen in Intervallen zwischen 30 und 60 Tagen fortgeführt (Santschi et al. 2006). Bei der ersten Messung nach der Geburt hatten 94 % der

Fohlen Carpus valgus, der sich in wenigen Monaten bei vielen zurückbildete. Gegen Ende des fünften Monats waren nur mehr 35 % der Fohlen betroffen. Die Fesselgelenke waren bei der ersten Messung bei 37 % der Fohlen zehenweit, gegen Ende des fünften Monats waren es nur mehr 16 %. Fohlen mit zehenenger Stellung blieben mit 4 % konstant. (Santschi et al. 2006). Es geht nicht aus der Studie hervor bei wie vielen Fohlen es sich jeweils um gering-, mittel-, oder hochgradige Fehlstellungen handelte.

Bei einer anderen Studie von Robert et al. (2013) mit 134 Vollblutfohlen, 162 französischen Trabern und 98 Selle Francais Fohlen wurden die Stellungen der Karpal- sowie der Fesselgelenke in Ruhestellung und im Schritt beurteilt. Die Beurteilung in Ruhestellung erfolgte immer vom selben Tierarzt am Fohlen, im Schritt wurden die Fohlen aus vier verschiedenen Perspektiven auf einer geraden Linie jeweils auf hartem sowie auf weichem Boden gefilmt und von drei Tierärzten anhand der Videos beurteilt. Zur Qualitätskontrolle wurden 100 der Filme ein zweites Mal von den gleichen Tierärzten beurteilt. Es hatten 64 % der Fohlen bei ihrer ersten Untersuchung während des ersten Lebensmonats eine Fehlstellung unterschiedlichen Grades an mindestens einem Karpal- oder Fesselgelenk. Am häufigsten fand sich dabei ein Carpus valgus, nämlich bei 42 % der Fohlen, gefolgt von einer zehenweiten Stellung bei 31 % aller untersuchten Fohlen. Sechs Monate später hatten insgesamt nur mehr 24 % der Fohlen eine Achsenfehlstellung, davon hatten 18 % einen Carpus valgus und 20 % eine zehenweite Stellung. Das Verhältnis hatte sich gedreht. Die Selle Francais Fohlen zeigten bei allen Untersuchungen weniger Fehlstellungen als die Fohlen der anderen untersuchten Rassen (Robert et al. 2013). Acht Fohlen mit hochgradigem Carpus valgus im Alter von zwei Monaten wurden chirurgisch mittels periosteal stripping behandelt. Davon besserte sich die Stellung bei vier Fohlen, die anderen vier Fohlen zeigten auch mit sechs Monaten noch mittel- bis hochgradigen Carpus valgus. Zwei Fohlen mit mittelgradig zehenweiter Stellung erhielten eine orthopädische Behandlung mit einer Schiene bzw. Hufextensionen aus Acryl und Boxenruhe, bei beiden verbesserte sich die zehenweite Stellung zu einer nur mehr geringgradigen Fehlstellung. Bei drei Fohlen mit einer mittel- bzw. hochgradigen zehenengen Stellung wurde bei zwei lediglich eine regelmäßige Hufbearbeitung vorgenommen, das dritte wurde chirurgisch mittels periosteal elevation behandelt. Bei keinem der Fohlen konnte eine Verbesserung der Fehlstellung beobachtet werden (Robert et al. 2013). Aus der Studie geht nicht hervor, ob das operierte Fohlen eine mittel- oder hochgradige Fehlstellung hatte. (Robert et al. 2013).

Witte et al. (2004) haben im Rahmen einer Studie zehn Vollblutfohlen und ein Quarterhorsefohlen mit ein- oder beidseitigem Tarsus valgus von über 7° Abweichung von einer funktionellen geraden Achse, was visuell in Ruhestellung und im Schritt am lebenden Tier beurteilt wurde, im Alter von sieben Monaten chirurgisch mittels operativer Wachstumsverzögerung behandelt. Bei allen elf Fohlen eine Verbesserung der Achse ohne nennenswerte kosmetische Einschränkungen erreicht.

1.1.2. Entwicklung der posturalen und der Stabilität in Bewegung bei Fohlen

1.1.2.1. Posturale Stabilität

Posturale Stabilität wird definiert als Fähigkeit in einer angenehmen Haltung mit minimalen Bewegungen der Körpersegmente zu stehen. Der Masseschwerpunkt (COM) bleibt dabei stets innerhalb der Grenzen der Unterstützungsflächen (BOS), die durch den Bodenkontakt definiert sind. Fohlen sind, auch wenn sie wenige Stunden nach ihrer Geburt bereits mit der Mutterstute umherlaufen können, nach ihrer Geburt instabil, und können noch nicht so ausbalanciert stehen, wie ein erwachsenes Pferd. Nauwelaerts et al. (2013) zeigten in einer Studie mit zwölf neugeborenen klinisch gesunden Araberfohlen bei denen die Autor*innen über fünf Monate lang zuerst wöchentlich und ab dem Alter von einem Monat monatlich die Bodenreaktionskräfte (GRF) mit einer Kraftmessplatte erhoben und daraus den Verlauf des COM ermittelten, dass diese ihren COM in Ruhestellung kontinuierlich stärker als ein erwachsenes Pferd in craniocaudaler sowie in mediolateraler Richtung verlagerten. Für die Erhebung dieser Daten mussten die Fohlen bei jeder Messung dreimal mindestens zehn Sekunden auf einer Kraftmessplatte stehen, ohne die Position der Hufe zu verändern. Die Amplitude dieser Bewegungen ist in den ersten zwei bis drei Monaten höher in craniocaudaler Richtung, nimmt dann aber schneller ab als in mediolateraler Richtung, wodurch sich das Verhältnis im Alter von ein bis zwei Monaten dreht und die Amplitude in mediolateraler Richtung schließlich höher ist als in craniocaudaler Richtung (Nauwelaerts et al. 2013). Die Fohlen in der Studie von Nauwelaerts et al. (2013) erlangten im Alter von fünf Monaten eine mit adulten Pferden vergleichbare posturale Stabilität (Nauwelaerts et al. 2013; Gomes-Costa et al. 2015; Clayton et al. 2013).

Bei erwachsenen Pferden ist diese Bewegung in mediolateraler Richtung größer als in craniocaudaler Richtung wie Gomes-Costa et al. (2015) in einer Studie gezeigt haben, bei der sie von sieben erwachsenen Lusitanos, die auf zwei synchronisierten Druckmessmatten standen, jeweils fünf Mal für mindestens acht Sekunden, den Verlauf des Druckzentrums (COP) erhoben. Auch Clayton et al. (2013) kamen bei einer Studie mit 24 erwachsenen klinisch lahmfreien Pferden und Ponys verschiedener Rassen zu diesem Ergebnis, wobei sie außerdem feststellen konnten, dass diese Haltungsschwankungen bei großen, schweren Pferden langsamer ablaufen als bei kleineren. Bei dieser Studie mussten die Pferde und Ponys bei jeder Erhebung 60 Sekunden regelmäßig und möglichst still auf zwei aneinandergereihten Kraftmessplatten stehen (Clayton et al. 2013).

1.1.2.2. Stabilität in Bewegung

Gorissen et al. (2018) untersuchten die Hufbalance und Landpräferenzen von zehn klinisch lahmfreien niederländischen Warmblutfohlen (KWPN). In dieser Studie nahm die Balance innerhalb der einzelnen Hufe in Bewegung der Fohlen innerhalb der ersten 24 Lebenswochen zu und wurde zum Ende der Studie, also mit sechs Monaten, der erwachsener Pferde ähnlich beschrieben. Die Landpräferenzen der Hufe entwickelten sich in diesem Zeitraum von einer Landung eher am dorsalen Tragrand und eher medial zu einer Landung eher auf der Trachte und eher lateral, wie bei erwachsenen Pferden (Oosterlinck et al. 2013; Gorissen et al. 2018; Mokry et al. 2021; Wilson et al. 2016; Oosterlinck et al. 2015; Lange et al. 2012). Gorissen et al. (2018) dokumentierten auch geringgradigen Carpus valgus sowie geringgradig zehenweite Stellung in den ersten Lebenswochen mancher Fohlen dieser Studie. Ein Zusammenhang dieser Fehlstellungen mit den Ergebnissen der Druckmessmatte, die in den ersten Lebenswochen eine eher mediale Landung zeigten, wird von den Autor*innen vermutet, wurde in der genannten Studie aber nicht untersucht (Gorissen et al. 2018).

In manchen Studien wurden Seitenpräferenzen festgestellt, das heißt, dass Fohlen den Vorder- und/oder Hinterhuf einer Seite stärker belasteten als den der anderen Seite. Das kann an externen Ursachen wie dem Vorführer liegen (Gorissen et al. 2018) oder an den körperlichen Voraussetzungen der Fohlen selbst (van Heel et al. 2006; Kroekenstoel et al. 2006). Van Heel et al. (2006) stellten fest, dass insbesondere langbeinige Fohlen mit relativ kleinen Köpfen dazu neigen beim Grasens immer dasselbe Vorderbein nach vorne zu stellen,

wodurch die dorsale Hufwand des hinten stehenden Vorderbeines zunehmend steiler wird und sich das COP innerhalb des Hufs auch bei paralleler Belastung der Vorderextremitäten weiter in Richtung dorsalen Tragrand verlagert (van Heel et al. 2006; Kroekenstoel et al. 2006). Eine Studie aus 2013 die sich mit dem Thema Händigkeit bei Pferden beschäftigt, legt die Vermutung nahe, dass diese sich bei vielen Pferden erst zu einem späteren Zeitpunkt entwickelt. Von 29 neun Monate alten Fohlen konnte nur bei neun, also 31,3 % Händigkeit nachgewiesen werden (Lucidi et al. 2013).

1.1.3. Hufbalance und Landepreferenzen bei erwachsenen Pferden

In einer Studie mit sieben klinisch lahmfreien holländischen Sportpferden ohne nennenswerte Fehlstellungen, die im Schritt und im Trab über eine 20 m lange Bahn mit einer zwei Meter langen Kombination aus Kraftmessplatte und Druckmessmatte im mittleren Bereich geführt wurden, wurde die Hufbalance der Vorderhufe mittels Berechnung der GRF im Verlauf der Standbeinphase untersucht. Es zeigte sich, dass diese Pferde im Schritt eher auf den Trachten landen, darauf folgt eine kurze Verlagerung auf den dorsalen Anteil der Sohle in den ersten 5 % der Standbeinphase, darauf folgt eine ausgeglichene Phase und ab zirka 60 % der Standbeinphase eine graduelle Zunahme am dorsalen Anteil der Sohle und schließlich ein Abrollen über den dorsalen Tragrand (Oosterlinck et al. 2013).

Im Rahmen einer weiteren Studie bei der die Fußung, die Belastung, mittels des berechneten Kräfteschwerpunkts (COF) in der mittleren Stützbeinphase, und der Abrollvorgang der Vorderhufe von zehn klinisch lahmfreien Pferden im Schritt und im Trab auf dem horizontalen Laufband und mit direkt am Huf angebrachten flexiblen Hufsensoren untersucht wurden, wurde bei drei von sieben Pferden mit einer nach palmar gebrochenen Zehenachse, mit einem mittleren dorsalen Hufwinkel von 47° eine vermehrte Fußung am dorsalen Tragrand im Schritt beobachtet (Lange et al. 2012). Im medio-lateralen Vergleich zeigte sich, wie auch in anderen Studien sowohl bei der Landung als auch während der Standbeinphase eine stärkere Belastung lateral (Lange et al. 2012; Oosterlinck et al. 2013; Mokry et al. 2021; Wilson et al. 2016; Oosterlinck et al. 2015). Bei der Studie von Lange et al. (2012) hatte der Großteil der teilnehmenden Pferde eine zeheneuge Stellung was eine laterale Fußung erwarten ließe, was sich bei einem der untersuchten Pferde mit zeheneuger Stellung nicht bewahrheitete, weil dieses trotzdem medial eine höhere Belastung am Huf zeigte als lateral (Lange et al. 2012).

Außerdem wird angenommen, dass die stärker belastete Seite des Hufes steiler und die dazugehörige Hufhälfte schmaler wird als die der weniger belasteten gegenüberliegende Seite. In dieser Studie bewahrheitete sich das allerdings nur bei einem Pferd, bei einem anderen zeigte sich der umgekehrte Fall und alle anderen hatten bei höherer Belastung lateral eine regelmäßige Hufform (Lange et al. 2012). Über die Vorgeschichte dieser Pferde hinsichtlich Hufzubereitung, Beschlag, ihrer Nutzung, sowie Alter und Rasse wurde in dieser Studie nichts berichtet. Es wird auch nicht erläutert wie die Gliedmaßenfehlstellungen der Pferde untersucht wurden. Lange et al. (2012) wiesen darauf hin, dass es einerseits vielfältige Kombinationsmöglichkeiten von Achsenabweichungen in einer gesamten Gliedmaße gebe, und dass andererseits die Gliedmaßenführung während der Vorführphase Einfluss auf die gemessenen Parameter habe (Lange et al. 2012).

Im Trab zeigte sich bei Lange et al (2012) was den berechneten COF betrifft ein ähnliches Bild wie im Schritt mit einer höheren Belastung lateral als medial, der Abrollpunkt war im Trab mit durchschnittlich $16,7^\circ$ lateral der Hufmedianen, geringgradig weiter lateral als im Schritt mit durchschnittlich $13,2^\circ$ lateral der Hufmedianen.

Bei beiden der oben genannten Studien war die laterale Hufhälfte insgesamt stärker belastet als die mediale (Lange et al. 2012; Oosterlinck et al. 2013). Im mediolateralen Vergleich gab es bei Oosterlinck et al. (2013) jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen dem linken und rechten Vorderhuf. Rechts lag die Belastung deutlich lateral während der gesamten Standbeinphase, während links die Landung eher medial erfolgte und sich die Belastung dann kontinuierlich nach lateral verschob (Oosterlinck et al. 2013). Obwohl die Pferde bei der Studie alle von links geführt wurden und ein linksseitiges Handling gewohnt waren, hielten Oosterlinck et al (2013) eine vorführ- oder trainingsbedingte Ursache für dieses Ergebnis für unwahrscheinlich. Ein gewisser Grad von Asymmetrie könnte auf funktionelle Unterschiede der gegenüberliegenden Gliedmaßen zurück zu führen sein (Oosterlinck et al. 2013; Wilson et al. 2009; van Heel et al. 2006). Bei Lange et al. (2012) wurde von keinem signifikanten Unterschied zwischen rechten und linken Gliedmaßen berichtet (Lange et al. 2012)

In einer Studie von Nauwelaerts et al. (2017) mit 31 klinisch lahmfreien Pferden verschiedener Rassen, bei denen manche beschlagen und andere unbeschlagen waren, wurde der COP-Weg des im Trab der einzelnen Gliedmaßen in verschiedenen Pferderassen mittels Sensoren auf den Gliedmaßen, Druckmessmatte und Video, gemessen und analysiert. Anatomische

Asymmetrien wurden anhand der Stellung der dorsalen Hufwand mit dem Weg des Druckmittelpunkts in Relation gesetzt und es wurde geprüft, ob ein Zusammenhang bestand. Der COP-Weg einzelner Hufe war zwar sehr konstant, aber in nur in seltenen Fällen annähernd spiegelgleich mit dem gegenüberliegenden Huf (bei neun von 31 Pferden). Die Autor*innen kamen ähnlich wie Lange et al. (2012) zu dem Schluss, dass der theoretisch optimale COP-Weg schwer vorherzusagen ist, da dieser für jede Gliedmaße eines Pferdes sehr individuell und das Resultat zahlreicher Variablen, wie Exterieur, Händigkeit, Kinematik, Dynamik, Muskelkraft etc. ist. Es konnte keine Korrelation mit der Stellung der dorsalen Hufwand nachgewiesen werden (Nauwelaerts et al. 2017).

1.1.4. Druckmessmatte versus Kraftmessplatte

Oosterlinck et al. (2010) haben in einer Studie Druckmessmatten und Kraftmessplatten im Einsatz bei Pferden verglichen. Die Ergebnisse zeigen die Vor- und Nachteile beider Systeme. Kraftmessplatten gelten heutzutage als Goldstandard in der veterinärmedizinischen Ganganalyse, wenn es darum geht die absoluten Werte der Maximalkraft und des Impulses zu messen. Aufgrund der hohen Kosten und des großen baulichen Aufwandes, der dafür nötig ist, sind Kraftmessplatten nur im Forschungsbereich ein realistisches Mittel. Druckmessmatten hingegen sind wesentlich günstiger und transportierbar, somit stellen sie eine gute Alternative für den klinischen Alltag dar, wenn es beispielsweise darum geht die relativen Belastungen zweier Gliedmaßen miteinander zu vergleichen (Oosterlinck et al. 2010).

Bezüglich der gelieferten Ergebnisse beim direkten Vergleich beider Systeme hat sich gezeigt, dass die absoluten Werte der Maximalkraft und des Impulses mit Druckmessmatten niedriger ausfallen als mit Kraftmessplatten, das heißt, dass eine Druckmessmatte eine Kraftmessplatte für Forschungszwecke nicht immer wird ersetzen können (Oosterlinck et al. 2010). Andererseits erlaubt eine Druckmessmatte bei entsprechender Größe alle vier Gliedmaßen gleichzeitig, sowie die jeweilige Kontaktfläche zu erfassen (Gomes-Costa et al. 2015). Bei ausreichend hoher Sensorendichte kann außerdem die Druckverteilung repräsentativ für die Belastungsverhältnisse innerhalb eines Hufs gemessen werden (Oosterlinck et al. 2010; Meijer et al. 2014; Coda et al. 2014; Mokry et al. 2021; Oomen et al. 2012; van Heel et al. 2004). Fohlen ist es allerdings auch auf einer Kraftmessplatte möglich mit allen vier Gliedmaßen zu stehen, wie Nauwelaerts et al. (2013) zeigten.

Das in dieser Studie (Todorovski 2019) verwendete System Tekscan HR wurde im Rahmen früherer Studien an Kindern (Coda et al. 2014), Enten (Makagon et al. 2015), Hunden (Kim et al. 2011), Kühen (Wheeler et al. 2013) und Pferden (Faramarzi et al. 2018) verwendet und auf Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit der Daten geprüft (Coda et al. 2014).

2. Material und Methode

Für diese Arbeit wurden Daten verwendet, die im Rahmen einer Abschlussarbeit (Undergraduate Thesis for the degree of Bachelor of Equine Science, School of Agriculture and Food Science) von Madalyn Todorovski betitelt "Pilot pressure plate analysis of growing Australian Stock Horse foals at Stance" unter der Supervision von Dr. Rebeka Zsoldos PhD, erhoben worden waren, und die für die weitere wissenschaftliche Auswertung zur Verfügung gestellt wurden.

In der Folge wird die Datenerhebung von Todorovski (2019) der in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten Daten kurz mit dem Fokus auf Parameter, die für die neue Fragestellung besondere Relevanz haben, dargestellt.

Es waren zwölf Fohlen dreier verschiedener Rassen (Australian Stock Horses ASH, Vollblut- und Warmblutpferde) der Universität von Queensland für die Studie verwendet worden. Ihre Verwendung war zuvor von der Ethikkommission der Universität von Queensland (Animal Ethics Committee of the University of Queensland) genehmigt worden. Während der dreimonatigen Studie waren die Hufe der Fohlen nicht bearbeitet worden. Es waren insgesamt sieben Druckmattenmessungen erfolgt, bei denen die Fohlen ihren Mutterstuten gefolgt waren. Die erste Messung war zwischen neun und 76 Stunden nach der Geburt der Fohlen gemacht worden, danach waren die Messungen wöchentlich bis zum Alter von einem Monat wiederholt worden. Die sechste und siebte Messung hatte nach jeweils einem weiteren Monat stattgefunden. Tab. 1 zeigt das Alter der Fohlen in Tagen bei jeder Messung. Für die Druckmessungen selbst waren die Fohlen zuerst gewogen worden, und ihr jeweiliges Gewicht war in die Software-Datenbank für jede Messung eingegeben worden, um die Sensoren der Druckmessmatte genau zu kalibrieren. Für die Studie war das Tekscan Walkway System USA mit 2,1 m Länge und 0,8 m Breite verwendet worden. Die Maße der einzelnen Sensoren hatte jeweils 1,7 cm mal 1,7 cm betragen. Die Druckmessmatte war auf einer Gummimatte, die zuvor auf dem Betonboden ausgelegt worden war, platziert worden. Die Druckmessmatte war mit einer weiteren Gummimatte zum Schutz der Sensoren bedeckt worden. Die Sensoren waren mit USB-Kabeln mit einem Laptop mit der Walkway Tekscan 7.0 Software verbunden gewesen. Außerdem waren vier GoPro-Kameras installiert worden, um die Fohlen während der Messungen zu filmen. Eine GoPro-Kamera war mit dem Laptop synchronisiert und so positioniert worden, dass der untere Teil der Gliedmaßen der Fohlen während der Messungen

auf der Druckmessmatte gefilmt worden war. Mit der Walkway Tekscan Software war das Videobild mit den Messdaten der Fußungen synchronisiert worden. Eine weitere GoPro-Kamera war zirka vier Meter nach der Druckmessmatte positioniert worden, so dass die Stuten und die Fohlen bei den Messungen von vorne gefilmt worden waren. Die dritte GoPro-Kamera war hinter der Druckmessmatte angebracht worden, so dass Stuten und Fohlen bei den Messungen leicht schräg von hinten gefilmt worden waren. Die vierte GoPro-Kamera war so positioniert worden, dass Stuten und Fohlen von schräg vorne gefilmt worden waren. In Ausnahmefällen war statt aus einer der genannten Perspektiven von der Seite gefilmt worden. Für die Druckmattenmessungen waren die Mutterstuten von einem Vorführer über die Matte geführt worden und eine weitere Person war hinter dem Fohlen gegangen. Mutter und Fohlen waren so jeweils sechsmal über die Matte geführt worden. Dann waren die Stuten und ihre Fohlen drei weitere Male über die Druckmessmatte geführt worden und die Stuten waren jeweils in dem Moment angehalten worden, in dem ihre Fohlen mit allen vier Hufen auf der Druckmessmatte gestanden hatten und es war versucht worden drei Messungen zu je acht bis zehn Sekunden des annähernd ruhig stehenden Fohlens zu nehmen.

Tab. 1: Alter jedes Fohlens (F1-F12) bei jeder Messung (M1-M7) in Tagen (Todorovski 2019)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
F1	2	7	14	21	32	72	133
F2	1	8	15	22	33	66	127
F3	3	7	14	21	28	61	121
F4	2	6	13	20	32	53	114
F5	1	8	15	22	32	41	108
F6	2	7	14	21	30	68	96
F7	3	7	14	21	28	66	94
F8	2	6	13	20	32	65	93
F9	2	7	14	21	30	63	91
F10	2	7	14	21	30	54	82
F11	1	8	17	22	31	50	78
F12	1	9	14	23	28	47	75

2.1. Eigene Datenerhebungen, -verarbeitung und –auswertung

Für die vorliegende Arbeit standen somit pro Fohlen pro Messzeitpunkt (M1 – M7) drei durchgehende GoPro-Videoaufzeichnungen aus drei verschiedenen Perspektiven zur Verfügung. Der Begriff Messzeitpunkt steht in dieser Arbeit für die einzelnen Zeitpunkte der vorangegangenen Datenerhebungen mit der Druckmessmatte. Bei manchen Erhebungen war anstatt von schräg vorne von der Seite gefilmt worden. Einige wenige Perspektiven mancher Messzeitpunkte fehlten, weil sie entweder nicht gefilmt oder beschädigt worden waren. In Tab. 2 wird aufgelistet welche Videos pro Fohlen pro Messzeitpunkt zur Verfügung standen.

Tab. 2: Videos, die für jedes Fohlen pro Messzeitpunkt zur Verfügung standen; Legende: h = von hinten, v = von vorne, s = von der Seite, vs = von schräg vorne, f = Video fehlt

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
	V1 V2 V3	V1 V2 V3	V1 V2 V3	V1 V2 V3	V1 V2 V3	V1 V2 V3	V1 V2 V3
F1	h v s	h v vs	h v vs	h f vs	h v vs	h v vs	h v vs
F2	h v vs	h v vs	kein Video	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs
F3	h v s	h v s	h v s	h v s	h vs s	h v vs	h v vs
F4	h v s	h v s	h f vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs
F5	h v s	h v s	h v s	h v s	h vs s	h v vs	h v vs
F6	h v s	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs
F7	h v vs	kein Video	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs
F8	h v s	h v s	h v s	h v s	h v vs	h v vs	h v vs
F9	h v vs	h v vs	h v vs	Fohlen krank	Fohlen krank	h v vs	h v vs
F10	h v vs	h v vs	h f f	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs
F11	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h vs s	h v vs	h v vs
F12	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h v vs	h f vs

Außerdem standen kurze von der Seite gefilmte Files der Videoclips von der GoPro-Kamera, die mit der Druckmessmatte synchronisiert worden war zur Verfügung, von denen allerdings manche keine Aufzeichnungen enthielten (Tab. 3).

Tab. 3: Videoclips von der mit der Druckmessmatte synchronisierten Kamera, die pro Fohlen und Messzeitpunkt zur Verfügung standen; Legende: v = vorhanden, x = nicht vorhanden, k = Fohlen krank, und daher nicht vermessen worden

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
F1	v	x	x	v	v	v	v
F2	x	x	v	v	v	v	v
F3	x	v	v	v	v	v	v
F4	v	v	x	x	v	v	v
F5	v	v	v	v	v	v	x
F6	v	x	x	x	v	x	v
F7	x	v	v	v	v	v	v
F8	v	v	v	v	x	v	v
F9	x	v	v	k	k	v	v
F10	v	v	x	x	v	v	v
F11	v	v	v	v	v	v	v
F12	v	x	x	x	v	v	v

Die Gelenkwinkelungen von Carpus bzw. Tarsus und den Fesselgelenken aller vier Extremitäten der Fohlen wurden anhand der zur Verfügung stehenden Videos sowohl direkt visuell beurteilt als auch mit der Software imagej des National Institutes of Health, <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>, vermessen.

Für die visuelle Beurteilung wurden die Videos vollständig gesichtet und es wurde eine Bewertung für das sich für den jeweiligen Tag der Messung ergebende Gesamtbild im Schritt und in Ruhestellung, den Vorgaben der klinischen Propädeutik (Wissdorf et al. 2010) entsprechend abgegeben. Es wurde beurteilt, ob die Gliedmaßen der Fohlen regelmäßig, oder gering-, mittel-, oder hochgradig bodeneng oder bodenweit waren, was allerdings nicht in die Auswertung miteinbezogen wurde, und es wurde die Winkelung der Karpal- und der Tarsalgelenke, sowie die Winkelung aller Fesselgelenke beurteilt. Für die Karpal- und Tarsalgelenke wurden die Kategorien gerade, sowie gering-, mittel-, und hochgradiger Varus beziehungsweise Valgus festgelegt. Für die Fesselgelenke wurden die Kategorien gerade, und gering-, mittel-, und hochgradig zeheneng beziehungsweise zehenweit festgelegt. Die Reihenfolge der visuellen Beurteilung wurde durch zufällige Anordnung der insgesamt 80 auswertbaren Messungen bestimmt.

Als Richtwerte für die visuelle Beurteilung wurden folgende Parameter herangezogen: Die Beurteilung gerade entsprach dabei einem geschätzten Winkel von 180° , als geringgradig wurden geschätzte Abweichungen bis zu 5° von der Geraden gewertet, mittelgradig entsprach einer geschätzten Abweichung von 5° bis 10° und als hochgradig wurden geschätzte Abweichungen von 10° oder darüber gewertet. Vor- oder Rückbiegigkeit beziehungsweise Stuhl- oder Säbelbeinigkeit wurde nicht bewertet. Alle Ergebnisse wurden in eine Tabelle eingetragen. Zur Qualitätssicherung wurden die Videos von insgesamt 18 Messungen (entspricht 22,5 % der Messungen) auch von der Diplomarbeitbetreuerin ausgewertet, darunter all jene bei denen eine größere als geringgradige Abweichung gewertet wurde. Die restlichen Messzeitpunkte für die Qualitätssicherung wurden zufällig gewählt.

Für die Vermessung mittels imagej wurden aus allen zur Verfügung stehenden Videos einzelne Momente ausgewählt, bei denen der Huf der zu messenden Gliedmaße maximal belastet ist, was daran sichtbar ist, dass der Fesselkopf an seinem tiefsten Punkt ist, oder wenn bei einem Messzeitpunkt für eine Gliedmaße kein Einzelbild in maximaler Belastung verfügbar war, wurde eines gewählt bei dem die gegenüberliegende Gliedmaße zumindest in der Hangbeinphase ist. Außerdem wurde darauf geachtet, dass das Fohlen möglichst geradeaus Schritt ging. Es wurden keine Einzelbilder verwendet, bei denen das Video ein Fohlen zeigt, das trabt, scheut, eine Kurve einleitet oder ähnliches. In Ruhestellung wurden die Einzelbilder so ausgewählt, dass das Fohlen alle vier Gliedmaßen belastet. Sowohl im Schritt als auch in Ruhestellung wurden Einzelbilder gewählt, auf denen das Fohlen möglichst gerade von vorne oder von hinten zu sehen ist. Dabei wurden alle zur Verfügung stehenden Videos unabhängig von der Kameraposition verwendet. Das heißt auch Einzelbilder, bei denen sich ein Fohlen schräg zur Druckmessmatte gestellt hatte und sich dadurch zufällig in die gewünschte Perspektive einer Kamera die schräg positioniert worden war, begeben hatte, wurden verwendet, wenn sie den festgelegten Kriterien entsprachen (Abb. 1 und 2).



Abb. 1: Das Fohlen hat sich umgedreht und steht mit Blick in Richtung der Kamera, die leicht schräg von hinten filmt. Fohlen 5, Messung 4



Abb. 2: Das Fohlen folgt nicht geradlinig seiner Mutter, sondern bewegt sich schräg in Richtung der Kamera, die die Druckmessmatte von schräg vorne filmt. Fohlen 5, Messung 1

Für die Vermessung der Einzelbilder im Schritt sollten entweder beide Vorder- oder beide Hintergliedmaßen und Brust beziehungsweise Schweif und Kruppe vollständig zu sehen sein, hinter der Schulter beziehungsweise vor der Kruppe sollte der Rumpf nicht oder nur wenig sichtbar sein. Bilder mit einer minimalen Abweichung von der gewünschten Perspektive, die leicht schräg aufgenommen wurden, auf denen auch das Abdomen seitlich leicht sichtbar war und die Extremitäten von leicht schräg zu sehen waren, wurden ebenfalls verwendet. Die Einzelbilder wurden in die Kategorien eins, mit der gewünschten Perspektive, und zwei, mit leichten Abweichungen davon, eingeteilt. Bilder der Kategorie zwei wurden nur in die Auswertung miteinbezogen, wenn kein Bild der Kategorie eins zur Verfügung stand. Die Abb. 3 bis 5 dienen zur Veranschaulichung der Kriterien. Eine exakte Messung oder Berechnung der Abweichung von der gewünschten Perspektive anhand der Videos war nicht möglich.



Abb. 3a: gewünschte Perspektive für links hinten (Kategorie 1) Fohlen 3, Messung 5



Abb. 3b: gewünschte Perspektive für links vorne (Kategorie 1) Fohlen 3, Messung 6



Abb. 3c: gewünschte Perspektive für rechts vorne (Kategorie 1), Fohlen 12, Messung 7



Abb. 4a: Einzelbild der Kategorie 2 für rechts vorne, Fohlen 2, Messung 4



Abb. 4b: Einzelbild der Kategorie 2 für links vorne, Fohlen 1, Messung 5



Abb. 5: Bild wurde nicht vermessen, da zu große Abweichung von der gewünschten Perspektive, rechts hinten wird belastet, aber die Perspektive ist zu schräg und die Winkel zu sehr verfälscht, Fohlen 2, Messung 6

Bei den ausgewählten Fotos wurde die genaue Winkelung der Gelenke (Carpus, Tarsus und Fesselgelenke) mittels imagej vermessen. Bei den Vordergliedmaßen wurden Linien von der Mitte des oberen Ende des Unterarmes parallel zum Planum cutaneum des Radius bis zur Mitte des Karpalgelenkes, von der Mitte des Karpalgelenkes bis zur Mitte des Fesselkopfes und von der Mitte des Fesselkopfes bis zur Mitte des dorsalen Kronrandes, wenn von vorne vermessen wurde und vom Olecranon bis zum Os carpi accessorium, vom Os carpi accessorium bis zur Mitte des Fesselkopfes und vom Sporn bis zur Mitte der Ballengrube, wenn von hinten vermessen wurde, eingezeichnet. Bei den Hintergliedmaßen wurden Linien von der Mitte des oberen Endes des Unterschenkels bis zur Mitte des Tarsalgelenkes, von der Mitte des Tarsalgelenkes bis zur Mitte des Fesselkopfes, und von der Mitte des Fesselkopfes bis zur Mitte des dorsalen Tragrandes, wenn von vorne vermessen wurde, und von der Kniekehle bis zum Tuber calcanei, vom Tuber calcanei entlang der Achillessehne bis zum Sporn und vom Sporn bis zur Mitte der Ballengrube, wenn von hinten vermessen wurde, eingezeichnet. Es wurden die Winkel jeder Linie zur Horizontalen gemessen und daraus der Winkel der Gelenke berechnet. Pro Fohlen und Messzeitpunkt wurden für jedes Gelenk, je nach Anzahl verfügbarer Einzelbilder in adäquater Qualität, bis zu maximal fünf Einzelbilder vermessen. Wenn Einzelbilder in adäquater Qualität vorhanden waren, wurden bevorzugt die Vordergliedmaßen von vorne und die Hintergliedmaßen von hinten vermessen (Abb. 6 und 7). Anschließend wurde aus den gemessenen Gelenkwinkelungen der Mittelwert und die Standardabweichung für jedes Gelenk ermittelt, wenn mehr als ein Bild zur Vermessung eines Gelenks zur Verfügung stand. Wenn nur ein Bild zur Verfügung stand, wurde der gemessene Wert dieses Bildes übernommen.



Abb. 6: Bild der Kategorie 1 von Fohlen 4, Messung 5 mit zur Vermessung der Gelenkwinkel eingezeichneten und nummerierten Achsen von hinten



Abb. 7: Bild der Kategorie 1 von Fohlen 3, Messung 6 mit zur Vermessung der Gelenkwinkel eingezeichneten und nummerierten Achsen von vorne

In Ruhestellung wurden dieselben Kriterien und Methoden angewendet, wie für die Vermessung im Schritt. Für diese Messungen standen weniger Videosequenzen und weniger Einzelbilder zur Verfügung, daher wurden mehr Einzelbilder der Kategorie zwei vermessen (Abb. 8 und 9).



Abb. 8: Bild der Kategorie 2 von Fohlen 4, Messung 5 in Ruhestellung mit zur Vermessung der Gelenkwinkel eingezeichneten und nummerierten Achsen von hinten



Abb. 9: Bild der Kategorie 2 von Fohlen 12, Messung 7 in Ruhestellung mit zur Vermessung der Gelenkwinkel eingezeichneten und nummerierten Achsen von vorne

Alle verwendeten Einzelbilder wurden sowohl von der Diplomandin als auch von der Diplomarbeitsbetreuerin vermessen.

Die Reihenfolge der Winkelmessungen (Tab.4) erfolgte sowohl in Bezug auf die Fohlen als auch auf die Messungen zufällig. Zur Qualitätskontrolle wurden von 80 verwertbaren Messungen 18 der Messungen zweimal, drei Messungen dreimal und zwei weitere Messungen viermal von der Diplomandin wiederholt.

Tab. 4: Reihenfolge der von der Diplomandin durchgeführten Winkelmessungen der Fohlen anhand von Einzelbildern. Die zweiten, dritten und vierten Messungen desselben Messzeitpunkts, also des Zeitpunkts der Datenerhebung mit der Druckmessmatte, eines Fohlens sind jeweils verschieden farblich unterlegt.

Messung	Fohlen und Messzeitpunkt	Messung/Fohlen	Messung	Fohlen und Messzeitpunkt	Messung/Fohlen
1	Fohlen 1 M1	1. Messung	56	Fohlen 9 M2	1. Messung
2	Fohlen 1 M7	1. Messung	57	Fohlen 6 M4	1. Messung
3	Fohlen 1 M5	1. Messung	58	Fohlen 11 M7	1. Messung
4	Fohlen 1 M6	1. Messung	59	Fohlen 12 M1	1. Messung
5	Fohlen 1 M2	1. Messung	60	Fohlen 12 M2	1. Messung
6	Fohlen 1 M1	2. Messung	61	Fohlen 11 M1	1. Messung
7	Fohlen 1 M2	2. Messung	62	Fohlen 11 M2	1. Messung
8	Fohlen 1 M7	2. Messung	63	Fohlen 11 M3	1. Messung
9	Fohlen 1 M6	2. Messung	64	Fohlen 8 M3	1. Messung
10	Fohlen 1 M5	2. Messung	65	Fohlen 4 M5	1. Messung
11	Fohlen 1 M1	3. Messung	66	Fohlen 4 M6	1. Messung
12	Fohlen 1 M2	3. Messung	67	Fohlen 6 M2	1. Messung
13	Fohlen 2 M1	1. Messung	68	Fohlen 5 M4	1. Messung
14	Fohlen 1 M3	1. Messung	69	Fohlen 12 M3	1. Messung
15	Fohlen 2 M2	1. Messung	70	Fohlen 9 M6	1. Messung
16	Fohlen 1 M4	1. Messung	71	Fohlen 5 M7	1. Messung
17	Fohlen 5 M1	1. Messung	72	Fohlen 4 M3	1. Messung
18	Fohlen 2 M7	1. Messung	73	Fohlen 12 M4	1. Messung
19	Fohlen 5 M2	1. Messung	74	Fohlen 5 M6	1. Messung
20	Fohlen 2 M4	1. Messung	75	Fohlen 10 M7	1. Messung
21	Fohlen 6 M3	1. Messung	76	Fohlen 11 M5	1. Messung
22	Fohlen 5 M5	1. Messung	77	Fohlen 12 M6	1. Messung
23	Fohlen 3 M1	1. Messung	78	Fohlen 10 M5	1. Messung
24	Fohlen 2 M6	1. Messung	79	Fohlen 12 M5	1. Messung
25	Fohlen 6 M7	1. Messung	80	Fohlen 10 M3	1. Messung
26	Fohlen 3 M2	1. Messung	81	Fohlen 9 M7	1. Messung
27	Fohlen 4 M1	1. Messung	82	Fohlen 8 M4	1. Messung
28	Fohlen 2 M5	1. Messung	83	Fohlen 3 M6	1. Messung
29	Fohlen 4 M7	1. Messung	84	Fohlen 10 M6	1. Messung
30	Fohlen 3 M3	1. Messung	85	Fohlen 8 M2	1. Messung
31	Fohlen 6 M1	1. Messung	86	Fohlen 4 M4	1. Messung
32	Fohlen 5 M1	2. Messung	87	Fohlen 2 M1	2. Messung
33	Fohlen 3 M1	2. Messung	88	Fohlen 2 M4	2. Messung
34	Fohlen 2 M6	2. Messung	89	Fohlen 1 M7	3. Messung
35	Fohlen 6 M3	2. Messung	90	Fohlen 10 M4	1. Messung
36	Fohlen 4 M1	2. Messung	91	Fohlen 3 M5	1. Messung
37	Fohlen 2 M2	2. Messung	92	Fohlen 1 M1	4. Messung
38	Fohlen 1 M4	2. Messung	93	Fohlen 2 M7	2. Messung
39	Fohlen 4 M7	2. Messung	94	Fohlen 1 M3	2. Messung
40	Fohlen 3 M2	2. Messung	95	Fohlen 7 M4	1. Messung
41	Fohlen 6 M7	2. Messung	96	Fohlen 8 M6	1. Messung
42	Fohlen 5 M5	2. Messung	97	Fohlen 1 M6	3. Messung
43	Fohlen 7 M1	1. Messung	98	Fohlen 6 M5	1. Messung
44	Fohlen 3 M3	2. Messung	99	Fohlen 7 M6	1. Messung
45	Fohlen 8 M5	1. Messung	100	Fohlen 11 M4	1. Messung
46	Fohlen 4 M2	1. Messung	101	Fohlen 3 M7	1. Messung
47	Fohlen 5 M2	2. Messung	102	Fohlen 1 M5	3. Messung
48	Fohlen 7 M7	1. Messung	103	Fohlen 9 M3	1. Messung
49	Fohlen 9 M1	1. Messung	104	Fohlen 8 M7	1. Messung
50	Fohlen 7 M3	1. Messung	105	Fohlen 11 M6	1. Messung
51	Fohlen 10 M1	1. Messung	106	Fohlen 7 M5	1. Messung
52	Fohlen 10 M2	1. Messung	107	Fohlen 6 M6	1. Messung
53	Fohlen 3 M4	1. Messung	108	Fohlen 2 M5	2. Messung
54	Fohlen 5 M3	1. Messung	109	Fohlen 1 M2	4. Messung
55	Fohlen 8 M1	1. Messung			

2.2. Auswertung der Daten der Druckmessmatte

Für die Auswertung im Schritt wurden die Hufabdrücke der entsprechenden Extremität (links/rechts vorne, links/rechts hinten) manuell anhand der Fußfolge im Schritt und anhand der Videos zugeordnet. Es wurden nur vollständige Hufabdrücke und solche bei denen das Fohlen auf den Videoaufzeichnungen gerade entlang der Längsachse über die Druckmessmatte gegangen war, ausgewertet. Das heißt Hufabdrücke, bei denen das Fohlen dazwischen stehen geblieben war, getrabt war, gescheut hatte oder ähnliches, wurden ausgeschlossen. Auf der unteren Hälfte im linken Drittel aller Frames, gab es eine Reihe von fehlerhaften Sensoren, die keine Daten lieferten. Hufabdrücke, die sich damit überschritten oder fraglich überschritten, wurden ebenfalls ausgeschlossen (Abb. 10). Vorausgesetzt es waren genügend adäquate Daten vorhanden, wurden je Messung und Fohlen ein bis zwei Durchgänge ausgewertet.

Die auswertbaren Hufabdrücke wurden mit einer Achse durch die Mitte des Hufabdruckes von dorsal nach palmar/plantar, und einer weiteren Achse von lateral nach medial in jeweils zwei Hälften gegliedert, die Sensoren wurden dementsprechend aufgeteilt, im Falle einer ungeraden Zahl von Spalten oder Reihen wurde das Resultat des auf der Achse gelegenen Sensors aufgeteilt.

Aus den konsekutiven Druckmessdaten wurde für die Auswertung zuerst die Gesamtgröße jedes Hufabdruckes einer Stützbeinphase ermittelt. Das heißt jeder Sensor, der innerhalb einer Stützbeinphase von dem betreffenden Huf berührt wurde, wurde in die Berechnung miteinbezogen. Somit erfolgte in Fällen, bei denen in maximal den letzten drei Frames ein zusätzlicher Sensor dorsal des definierten Hufabdruckes aktiviert worden war, keine Berücksichtigung dieser Sensorenresultate, da aufgrund der Videobeurteilung festgestellt wurde, dass es sich in diesen Fällen um ein kurzes Antippen der Dorsalwand nach der Abwicklung handelte, und nicht um eine tatsächliche Belastung am Huf. Der definierte Hufabdruck wurde als Basis für die Berechnung der Druckverteilung mittels Asymmetrie-Indizes aller Frames desselben Hufabdruckes verwendet. Die Asymmetrie Indizes (ASI) wurden wie auch bei (Oosterlinck et al. 2013; Hair et al. 2014; Gorissen et al. 2018; Meijer et al. 2014; Mokry et al. 2021) mit folgender Formel für jeden Datensatz ermittelt:

$$\text{ASI (dorsal – palmar/plantar)} = (P (\text{dors}) - P (\text{pa/pl})) / 0,5 * (P (\text{dors}) + P (\text{pa/pl})) * 100$$

$$\text{ASI (medial – lateral)} = (P (\text{medial}) - P (\text{lateral})) / 0,5 * (P (\text{medial}) + (P (\text{lateral}))) * 100$$

Für den dorsal - palmar/plantar ASI zeigt somit ein positiver Wert einen höheren Druck auf der dorsalen Hufhälfte, ein negativer Wert zeigt einen höheren Druck auf der palmaren/plantaren Hufhälfte. Für den medial – lateral ASI zeigt ein positiver Wert einen höheren Druck auf der medialen Hufhälfte und ein negativer Wert zeigt einen höheren Druck auf der lateralen Hufhälfte. Der Wert null zeigt dementsprechend eine ausgeglichene Druckverteilung zwischen den Zonen. Die möglichen Werte gehen bei dieser Berechnungsweise von -200 % bis 200 % (Oosterlinck et al. 2013; Meijer et al. 2014; Gorissen et al. 2018; Mokry et al. 2021). Eine beispielhafte grafische Darstellung der ASIs vom ersten bis zum letzten Kontakt des Hufes mit der Druckmessmatte ist in Abb. 11 ersichtlich.

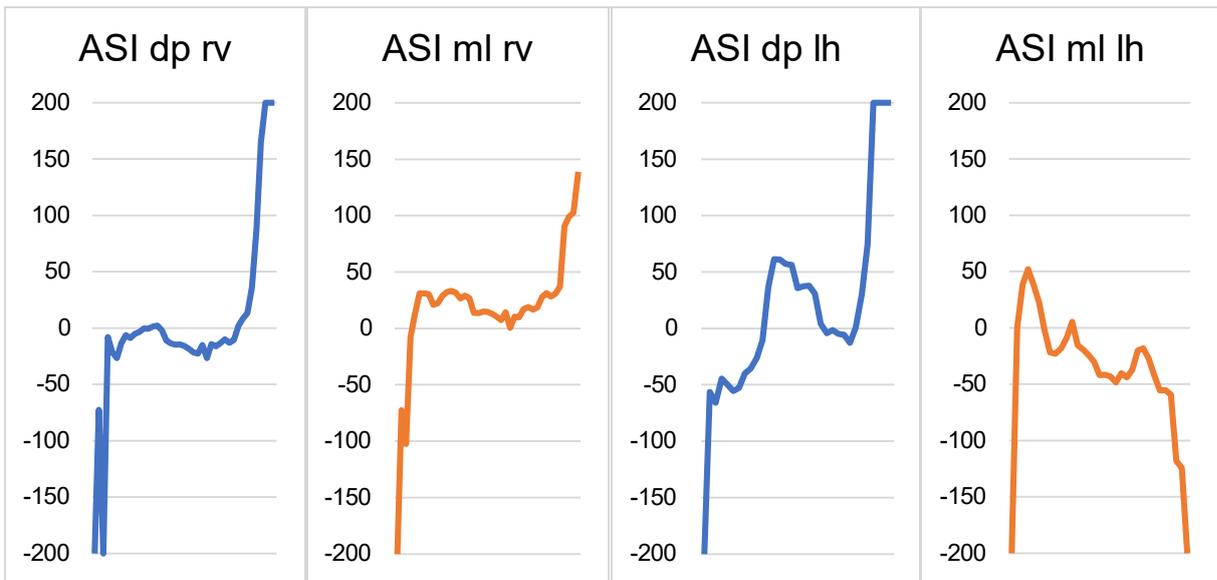


Abb. 11: beispielhafte Darstellung der ASIs in dorsopalmarer/plantarer (dp) und mediolateraler (ml) Richtung einer Vorder- und einer Hinterextremität zweier Fohlen (Fohlen 5 rechts vorne (rv), Fohlen 10 links hinten (lh), beide von Messung 7) vom ersten bis zum letzten Kontakt des jeweiligen Hufes mit der Druckmessmatte

Für die statistische Auswertung wurden die Datenreihen der Stützbeinphasen jedes Hufes auf 100 interpoliert und es wurde der Mittelwert des ASIs aus den mittleren 50 % der Stützbeinphase errechnet.

2.3. Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics Version 27. Getestet wurde die Korrelation zwischen subjektiver und objektiver Beurteilung der Gelenkwinkel mittels Pearson-Korrelation, sowie die Korrelation zwischen Druckverteilung und Gelenkwinkelungen aller Fohlen aller Messungen, und die Korrelation zwischen den Messungen und den Videobeurteilungen der Betreuenden und der Diplomandin ebenfalls mittels Pearson-Korrelation. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 0,05$ als signifikant und $\alpha = 0,01$ als hochsignifikant festgelegt. Bei den gemessenen Winkeln und den ASIs wurden für die statistische Auswertung jeweils Mittelwerte verwendet.

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden von der Diplomandin 577 Fesselgelenkwinkel und 569 Karpal- bzw. Tarsalgelenkwinkel von Einzelbildern vom Schritt vermessen und ausgewertet, 495 der Karpal- bzw. Tarsalgelenkwinkel wurden auf Einzelbildern der Kategorie eins und 74 auf Einzelbildern der Kategorie zwei vermessen. Bei den Fesselgelenkwinkel wurden 509 Einzelbilder der Kategorie eins und 68 der Einzelbilder der Kategorie zwei vermessen. Eine genaue Auflistung der ausgewerteten Einzelbilder pro Fohlen, Gliedmaße, Gelenk und Messung findet sich in Tab. 5. Die Einzelbilder der Kategorie zwei sind jeweils farblich markiert. Bilder Kategorie zwei, deren Perspektive eine Achsenbrechung nach medial, also Carpus oder Tarsus varus beziehungsweise zeheneng, verstärkt und nach lateral, also Carpus oder Tarsus valgus beziehungsweise zehenweit, vermindert, sind blau markiert, jene deren Perspektive umgekehrt eine Achsenbrechung nach lateral verstärkt und nach medial vermindert, sind gelb markiert.

Tab. 5: Darstellung der vermessenen Gelenkwinkel im Schritt anhand von Einzelbildern der Kategorie 1 und 2. Die Bilder der Kategorie 2 sind farblich markiert: blau zeigt eine verstärkt dargestellte Achsenbrechung nach medial, gelb zeigt eine verstärkt dargestellte Achsenbrechung nach lateral.

Legende: F1 - F12 = Fohlen 1 – 12, M 1 – M 7 = Messzeitpunkt 1 – 7, Ges. C/T = Gesamtheit vermessene Karpal- und Tarsalgekenkwinkel, Ges.Fes. = Gesamtheit vermessene Fesselgelenkwinkel, c = Karpalgelenk, f = Fesselgelenk

		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	Ges C/T	Ges Fes
M1	li vo	1	2	2	1c1	1	1c1	1	2	1	4	2	1	19	19
	re	2	3	1	1	1	1	2	1	2c3	1	1c1	1	17	18
	li hi	3	1	2	1	3	1	2	2	2	3	1	1	22	22
	re hi	3	1	2	2	1	1	1	1	1	3	2	1	19	19
M2	li vo	3	1	-	2	1	1c2	-	1	2	3	1	1	16	17
	re	2	1	-	1	1	2	-	1	1c1	1	1	1	12	12
	li hi	3	2	1	3	1	4	-	1	2	3	2	2	24	24
	re hi	5	1	2	3	2	4	-	2	1	3	3	2	28	28
M3	li vo	1	-	1	1	2	1	1	1	3	1	2	2	16	16
	re	1	-	1	2	1c1	2	1c2	1c2	1	3	2	2c3	17	20
	li hi	1	-	1	2	1	2	2	2	1	1	3	3	19	19
	re hi	2	-	2	3	2	2	1	1	1	3	3	3	23	23
M4	li vo	2	1	1	1	3	3	1	1	-	2	-	2	17	17
	re	1c2	1c2	1	2	1	2	1	1	-	1	2	1	14	16
	li hi	2	2	1	1	4	2	1	2	-	2	1	2	20	20
	re hi	2	1	2	2	3	2	2	2	-	3	4	1	24	24
M5	li vo	1	1	1	1	-	1	-	2	-	3	1	1c2	13	14
	re	3	1	2	1	-	2	2	1	-	2	1	1	16	16
	li hi	3	2	1	3	2	3	1	3	-	3	1	2	24	24
	re hi	3	1	1	1	1	1	1	3	-	3	1	3	19	19
M6	li vo	2	1	3	1	2	3	-	3	2	-	2	2	21	21
	re	2	1	2	3	1	1	2	3	1c1	1	2c1	1	20	19
	li hi	4	2	2	-	2	3	1	2	2	2	2	1	23	23
	re hi	4	1	2	1	2	4	1	4	1	1	4	2	27	27
M7	li vo	3	3	2	1	3	1	2c3	3	3	2	2	1	26	27
	re	4	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	21	21
	li hi	2	3	4	1	3	2	1	4	1	2	2	1	26	26
	re hi	3	2	2	1	3	2	2	4	2	2	3	-	26	26
Gesamt														56	57

In Ruhestellung wurden insgesamt 216 Karpal- und Tarsalgelenkwinkel und 222 Fesselgelenkwinkel von Einzelbildern vermessen und ausgewertet, 142 der Karpal- und

Tarsalgelenkwinkel und 148 der Fesselgelenkwinkel wurden auf Einzelbildern der Kategorie eins und jeweils 74 Winkel wurden auf Einzelbildern der Kategorie zwei vermessen. Eine genaue Auflistung der ausgewerteten Einzelbilder pro Fohlen, Gliedmaße und Messung findet sich in Tab. 6. Die Einzelbilder der Kategorie zwei sind nach dem gleichen System wie in Tab. 5 farblich markiert.

Tab. 6: Darstellung der vermessenen Gelenkwinkel in Ruhestellung anhand von Einzelbildern der Kategorie 1 und 2. Die Bilder der Kategorie 2 sind farblich markiert: blau zeigt eine verstärkt dargestellte Achsenbrechung nach medial, gelb zeigt eine verstärkt dargestellte Achsenbrechung nach lateral.

Legende: F1 - F12 = Fohlen 1 – 12, M 1 – M 7 = Messzeitpunkt 1 – 7, Ges. C/T = Gesamtheit vermessene Karpal- und Tarsalgekenkwinkel, Ges.Fes. = Gesamtheit vermessene Fesselgelenkwinkel, f = Fesselgelenk

		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F1	F1	F1	Ges C/T	Ges Fes
M1	li vo	1f	-	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1	6	7
	re vo	-	-	1	1	-	1	1f	-	-	-	-	1	4	5
	li hi	1	-	-	1	1	2	1	-	1	-	-	1	8	8
	re hi	1	-	-	1	1	2	1	-	1	1	-	1	9	9
M2	li vo	-	-	-	1	1	1	-	1	-	-	-	1	5	5
	re vo	-	-	-	1	1	1	-	1	-	-	-	1	5	5
	li hi	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	1	1	8	8
	re hi	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	1	1	8	8
M3	li vo	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	2	2
	re vo	-	-	1	1	1	-	-	-	-	1	-	1	5	5
	li hi	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	9	9
	re hi	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	9	9
M4	li vo	1	1	1	-	1	1	1	-	-	-	-	1	7	7
	re vo	1	-	1	-	1	1	1	1	-	1	-	1	8	8
	li hi	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1	-	1	9	9
	re hi	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1	-	1	9	9
M5	li vo	1	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	1	6	6
	re vo	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1f	1	5	6
	li hi	2	1	1	1	1	1	1	1	-	1;1	1	1	13	13
	re hi	2	1	-	1	1	1	1	1	-	1;1	1	1	12	12
M6	li vo	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	4	4
	re vo	1f	-	-	-	1	-	1	2	-	-	1	1	6	7
	li hi	1	1	1	-	1	-	1	1	1	1	1	2	11	11
	re hi	1	1	1	-	1	-	1	1	1	1	1	2	11	11
M7	li vo	-	1f	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	6	7
	re vo	1f	-	1	-	-	-	1	1	1	-	1	1	6	7
	li hi	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	13	13
	re hi	1	1	1	1	-	1	1	1	2	1	1	1	12	12
Gesamt													22	21	

3.1. Ergebnisse der Gelenkmessungen mit imagej und der Videobeurteilung

Beim Vergleich aller Gelenkwinkel miteinander zeigen sich ähnliche Entwicklungsverläufe. Beurteilt man die Winkelungen aller Gelenke gemeinsam beginnen die Werte der ersten Messzeitpunkt bei ca 175°, steigern sich ab dem zweiten Messzeitpunkt, werden bei Messzeitpunkt vier wieder kleiner und steigern sich ab Messzeitpunkt fünf bis zum Messzeitpunkt sieben, wo sie ihren höchsten Wert, nahe 180°, erreichen. Generell liegen die Durchschnittswerte der Videobeurteilung im um in etwa 2,5° bis 3,5° über jenen der durchschnittlichen Messergebnisse. Die etwas höheren Werte der Videobeurteilung im Vergleich zu den gemessenen Werten ziehen sich durch alle Kategorien (Abb. 12a und b).

Die Karpalgelenke zeigen laut Videobeurteilung bei Messung eins einen durchschnittlichen Winkel von 177,5° und 176,5° laut Messungen mit imagej. Es gibt bei der Videobeurteilung eine leichte Verminderung der Grade bei Messzeitpunkt zwei, die sich nicht bei dem gemessenen Winkeln zeigt. Bei beiden Methoden gibt es einen Rückgang bei Messzeitpunkt vier. Während es bei den gemessenen Winkeln bei Messzeitpunkt fünf auf durchschnittlich 178,3° ansteigt und danach bis Messzeitpunkt sieben wieder auf durchschnittlich 177,6° abfällt, bleibt der Wert bei der Videobeurteilung bei Messzeitpunkt fünf konstant, steigt bei Messzeitpunkt sechs auf durchschnittlich 179,6° und bleibt bei Messzeitpunkt sieben konstant auf demselben Wert.

Die Fesselgelenkwinkel vorne starten mit durchschnittlich 174,4° bei den Messungen und bei durchschnittlich 176,3° bei den Videobeurteilungen. Bei beiden Methoden steigen die Werte, bis Messung drei fallen dann bei Messung vier und fünf leicht ab und steigen wieder ab Messung sechs. Bei Messung sieben haben die Fesselgelenkwinkel laut Messungen durchschnittlich 176,9° und durchschnittlich 180° laut Videobeurteilungen.

Die Tarsalgelenke zeigen ein sehr konstantes Bild mit sehr geringen Schwankungen zwischen Messung eins und sieben. Zu Beginn zeigen sie durchschnittlich 173,6° laut Messungen und durchschnittlich 175,4° laut Videobeurteilung bei der ersten Messung. Bei der siebten Messung haben die Tarsalgelenke durchschnittlich 174° laut Messungen und durchschnittlich 176,3° laut Videobeurteilungen.

Die Fesselgelenke hinten haben bei der ersten Messung durchschnittlich $174,5^\circ$ laut Messungen und durchschnittlich $178,1^\circ$ laut Videobeurteilungen. Die Verlaufskurve ähnelt bei beiden Methoden derer der vorderen Fesselgelenkwinkel mit einem Anstieg bis Messung drei, darauf folgt ein Abfall bei Messung vier und fünf und ein erneuter Anstieg bei Messung sechs und sieben. Bei der siebten Messung zeigt sich bei den Fesselgelenken hinten ein durchschnittlicher Winkel von $177,7^\circ$ laut den Messungen und $180,1^\circ$ laut Videobeurteilungen.

Die durchschnittliche Standardabweichung aller gemessenen Winkel ist $3,1^\circ$ bei der ersten Messung und fällt kontinuierlich bis Messung sechs auf 2° bei Messung sieben gibt es einen leichten Anstieg auf $2,3^\circ$ (Abb.12c).

Bei den Messungen der Karpalgelenkwinkel ist die durchschnittliche Standardabweichung mit maximal $1,4^\circ$ am niedrigsten. Bei den Tarsalgelenken bewegt sie sich zwischen $2,3^\circ$ und $3,9^\circ$, bei den Fesselgelenkwinkeln hinten zwischen $2,6^\circ$ und $3,6^\circ$ und bei den Fesselgelenkwinkel vorne zwischen $1,8^\circ$ und $4,2^\circ$.

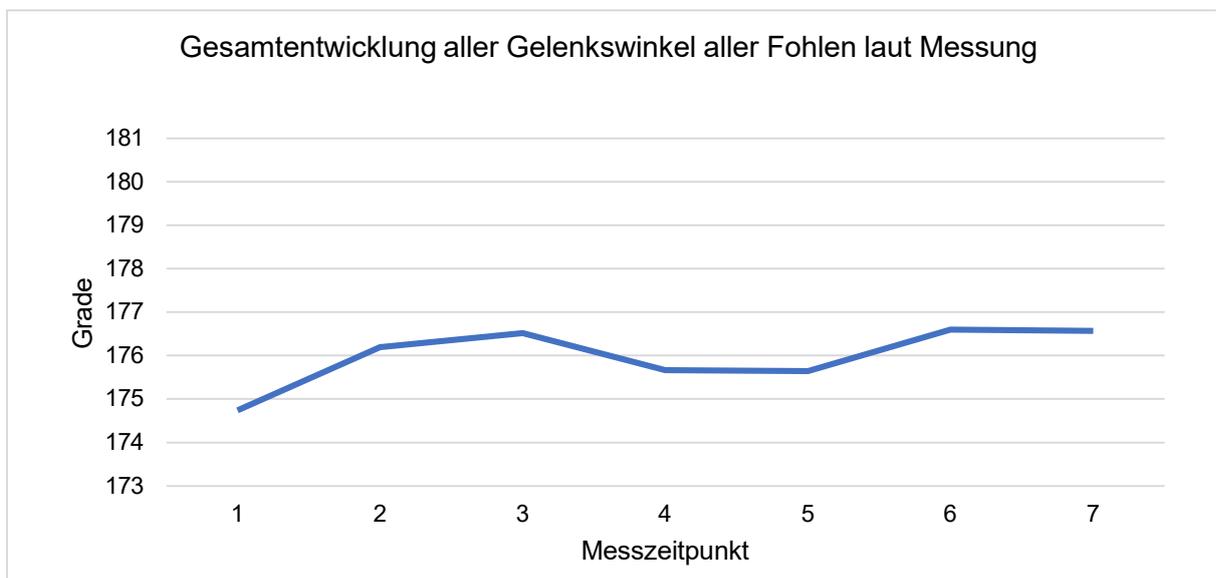


Abb. 12a: grafische Übersichtsdarstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Messergebnisse aller Gelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7

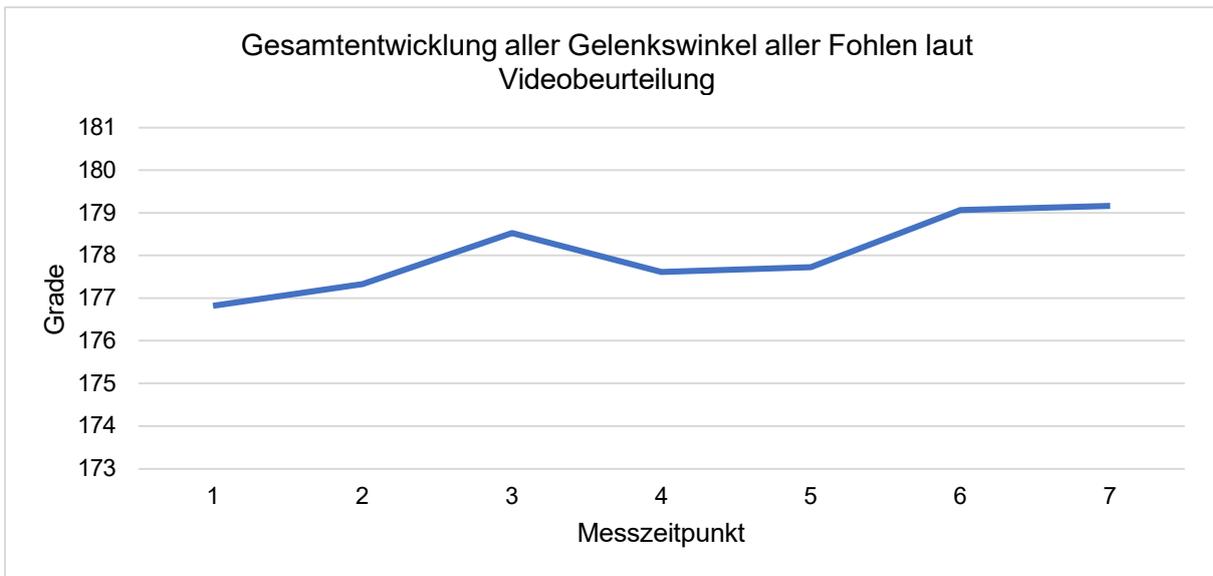


Abb. 12b: grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Ergebnisse der Videobeurteilung aller Gelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7, Abweichungen bis maximal 5° von 180° gelten als geringgradig

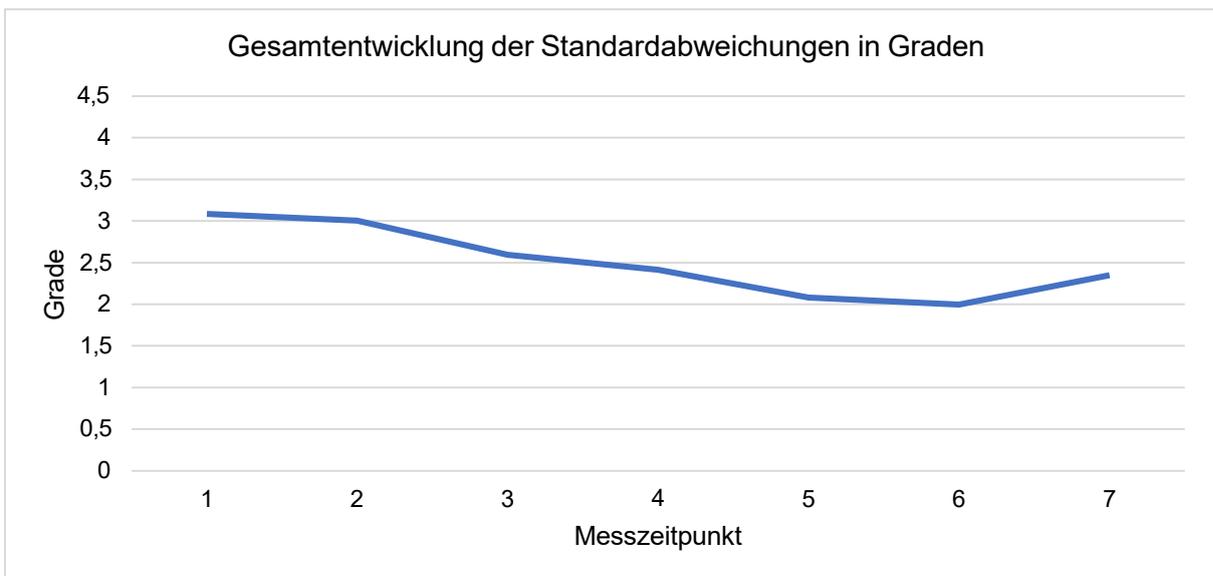


Abb. 12c: grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse aller Gelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7

3.2. Ergebnisse der Druckmessmattenanalyse

Ein Hufabdruck eines Bewegungszyklus im Schritt umfasste zwischen 22 und 63 Frames. Insgesamt wurden 437 Hufabdrücke ausgewertet. Die genaue Auflistung pro Fohlen, Gliedmaße und Messung ist in Tab. 7 ersichtlich. Tab. 8 zeigt die Mittelwerte aller erhobenen ASIs pro Fohlen und Messzeitpunkt.

Tab. 7: Anzahl ausgewerteter Hufabdrücke pro Fohlen je Messung mit Druckmessmatte; Legende: F1 - F12 = Fohlen 1 – 12, M1 - M7 = Messzeitpunkt 1 – 7, lv = links vorne, rv = rechts vorne, lh = links hinten, rh = rechts hinten

	M1				M2				M3				M4				M5				M6				M7				Ges
	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	lv	rv	lh	rh	
F1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	0	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	3	3	3	3	43
F2	2	1	1	1	2	0	1	1	1	2	2	0	1	2	1	1	0	2	1	2	1	1	0	2	2	2	2	1	35
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	1	2	1	2	4	2	4	2	31
F4	4	2	3	1	2	2	1	1	1	2	0	1	4	2	2	3	1	2	1	2	1	1	2	1	0	1	1	1	45
F5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	35
F6	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	0	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	0	41
F7	0	1	1	1	0	2	2	3	1	2	2	2	2	2	1	1	1	0	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	39
F8	2	0	0	0	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	0	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	36
F9	2	1	0	2	1	1	0	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	1	2	1	2	27
F10	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	0	2	1	2	1	2	1	2	39
F11	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	0	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	0	2	1	1	1	2	0	31
F12	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	35
Ges	15	9	9	11	13	16	14	18	15	17	17	14	18	20	15	20	9	13	18	12	12	20	14	21	21	18	22	16	437

Tab. 8: Mittelwerte der ASIs der mittleren 50% der Stützbeinphase jedes ausgewerteten Hufabdrucks zu den sieben Messzeitpunkten. Legende: M1 – M7 = Messung 1 – 7; vl = vorne links, vr = vorne rechts, hl = hinten links, hr = hinten rechts; dp = dorsopalmar/dorsoplantar, ml = mediolateral; F1 – F12 = Fohlen 1 - 12

		M1				M2				M3				M4				M5				M6				M7			
		vl	vr	hl	hr																								
F 1	dp	78	-65	183	26	86	-151	-63	-115	-2	-95	-57		-63	-102	-37	45	-56	-66	-39	-52	-95	-183	2	-113	-130	-55	-52	124
	ml	37	58	-67	-15	85	-32	-26	-66	-44	21	164		-7	52	-23	27	-61	33	-41	16	10	45	-4	13	-108	18	-36	124
	dp				-61		-51			8					-123	-51	-47			-109			-106		-40	-108	-33	-39	16
	ml				-25		26			-37					-33	19	12			17			-5		-20	3	34	-41	-14
F 2	dp	-112	31	-17	83	51	-95	-14		13	133	62		-28	-67	-70	-71		-80	-83	35	-36	-61		23	-23	-27	-177	-5
	ml	4	-67	195	-13	47	-21	102		-51	-70	34		-60	-104	6	183		31	102	74	-20	-81		15	129	-61	-67	88
	dp	-26				20					-44	35			-74				-26		3				19	-74	-70	-100	
	ml	-17				37					30	41			-23				-11	-11					11	39	20	-5	
F 3	dp									-58	29	-25	-66	-58	-59	48	-100					-90	-161	-41	-35	-72	-33	-65	-97
	ml									-54	125	-115	-102	22	-17	21	-40					-30	-47	67	39	-103	-104	69	65
	dp										-66			-32	-23	-15	128						-58		-17	-87	-62	-52	-59
	ml										16			-81	2	-77	116						-37		7	93	-30	63	46
F 4	dp	-9	-20	-81	-190	-40	-90	-17	-3	105	-177	-88		-131	-70	40	50	-80	-178	-5	40	63	-193	-33	-8		-57	31	-34
	ml	32	5	-81	87	-88	-103	-106	195	45	-52	-23		-74	-44	53	19	-40	-20	-32	30	14	31	-49	-62		71	13	-52
	dp	-58	-60	-73		37	-33				-81			-112	49	-169	-6		-90		-66				26				
	ml	-24	4	29		16	104				42			-49	45	-96	96		22		-11				-100				
F 5	dp					-112	-151	5	-39	-69	-45	-14	-144	-136	-82	-44	16	-109	-89	27	20	-138	-3	173	99	-171	-93	-91	-127
	ml					21	76	103	-138	6	50	-17	14	-109	3	-26	-2	-74	16	-79	-32	-99	-8	-112	7	-19	15	-71	38
	dp													-63	-44	-67	-38	-10			58			-74		-25	-120		21
	ml													-2	-7	-20	-10	-1			-23			-7	74	-107		-28	
F 6	dp	36	-131	-15	-173	-68	-99	-67	-41	-94	127	-25	7		32	38	-102	-67	-112	38	-105	-183	-109	-27	-116	-160	-200	-42	
	ml	36	20	-3	-171	65	74	-126	57	-22	11	-139	92		25	-64	-25	41	-61	-121	-105	-38	-113	-13	-6	7	-29	-144	
	dp	-9	47	23	-71		-32	30		-15		-9			-37		-61	-31	4				-115			-134		-21	
	ml	33	1	-82	-53		15	-148		-8		-2			33		54		17	-23			-11			-49		-79	
F 7	dp		-48	-174	-67		-79	-170	-186	-92	-151	-171	-196	-169	-82	-153	-13	-105		-31	-58	-39	-92	-64	-114	-19	-68	-63	-82
	ml		-105	-131	178		-34	12	-26	32	-35	-91	-5	-13	-88	68	-7	10		-39	45	-113	-75	-23	-42	-12	-77	57	-43
	dp						-69	-65	-80		-106	-8	126		-113						-45			-41		-109	-117		-123
	ml						-117	-29	16		-53	-8	-25		31						-80		-53		41	-54		-8	
F 8	dp	-118				-77	8	-142	-58	-135	-152	77	84	15	-86	-134	21		-97	-27	-87	-85	-77	-33	36	-158	42	-62	-56
	ml	6				-93	22	-2	-26	22	-65	77	-42	-43	29	-50	37		0	-145	-52	-39	-33	-38	3	-148	-14	-74	43
	dp	-62					-55		24		-104				-102		-50		-24	-1		-8	-25		-30				-10
	ml	45					13		10						-37		-11		-13	-46		7	-21		-14				-10
F 9	dp	73	198			71	85	31		-140	-71	-22	-100	-72								-34	-132	-61	-78	-17	-49	-171	-17
	ml	-154	-75			-90	-63	50		22	-45	-79	-67	11								-47	74	-80	-52	-15	0	-141	66
	dp	77					-6			0		-114												-1	2	-14		-29	-88
	ml	-9				125				27		-56											-4	-42	0		-18		20
F 10	dp	48	16	-12	142	-11	-83	-124	-41	-29	21	-29	2	-24	-14	-121	-8	-59	-64	-14	34	-143	-114	-50	-60	-30	-41	-101	-32
	ml	-156	-53	86	-89	-46	59	-116	171	-108	-61	-10	47	-37	26	-38	45	-4	41	-59	65	-40	134	1	-3	-47	172	69	7
	dp	-48				-185	54		100	60		-11									-25		-141		-46		-12		10
	ml	8				154	-109		-43	65		-94									-23		-49		58		18		15
F 11	dp						88	-118	-19	-176	-80			82	-141	-121	-110	14	-144	-134	-64	18	-49		-99	69	-52	-150	-6
	ml						117	-92	79	-12	34			105	29	2	-117	-14	47	85	-108	-17	47		-179	20	-7	16	5
	dp						-16	-115	-24	-147				92	-119			-23	-177		77				28				-67
	ml						74	-108	-13	6				112	19		-17	-41	-45				-1				19		
F 12	dp					-103	-39	91	-112	-111	-164	-106	16	-95	-127	167	92	-54	-64	39	-14		-120	-93	-77	-110	-72	-84	-22
	ml						-98	-12	-21	32	2	-2	-135	-99	-27	-41	-182	15	-3	2	-79	6	6	-96	-35	125	52	0	12
	dp						-62		-15		-12	141		-88	-57	86				-8			-135		-51	-63			
	ml						28		48		35	169		-31	5	-160				-100			-29		11	-2			

Die mittlere Druckverteilung in dorsopalmarer Richtung verlagerte sich von der ersten bis zur fünften Messung kontinuierlich von eher dorsal nach eher palmar. Die sechste und siebte Messung zeigte eine leichte Verlagerung zurück nach dorsal. Die Hinterextremitäten zeigten eine weitgehend gleichbleibende Druckverteilung von der ersten bis zur siebten Messung in dorsoplantarer Richtung (Abb. 13a). Die mittlere Druckverteilung in mediolateraler Richtung war sowohl bei den Vorder- als auch bei den Hinterextremitäten weitgehend konstant von der ersten bis zur siebten Messung (Abb.13b).

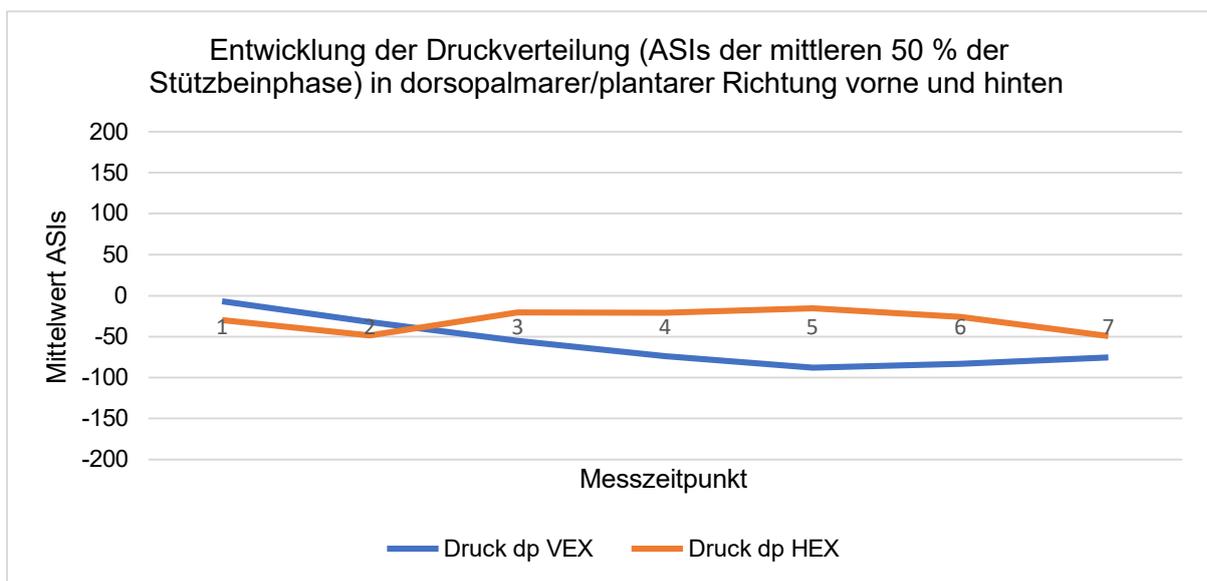


Abb. 13a: grafische Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte der ASIs der mittleren 50 % der Stützbeinphase in dorsopalmarer/plantarer (dp) Richtung der Vorder- (VEX) und Hinterextremitäten (HEX) von der ersten bis zur siebten Messung im Vergleich

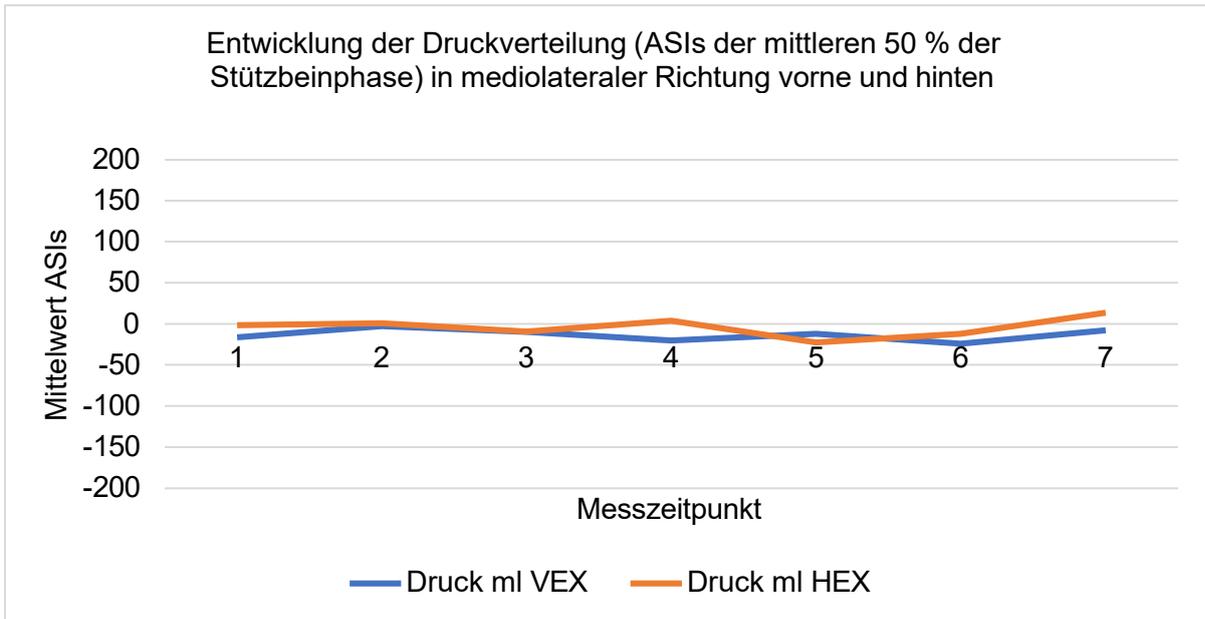


Abb. 13b: grafische Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte der ASIs der mittleren 50 % der Stützbeinphase in mediolateraler (ml) Richtung der Vorder- (VEX) und Hinterextremitäten (HEX) von der ersten bis zur siebten Messung im Vergleich

Die Mittelwerte der Standardabweichungen aller ASIs (Abb. 13c) verringerten sich zwischen der ersten und siebten Messung.

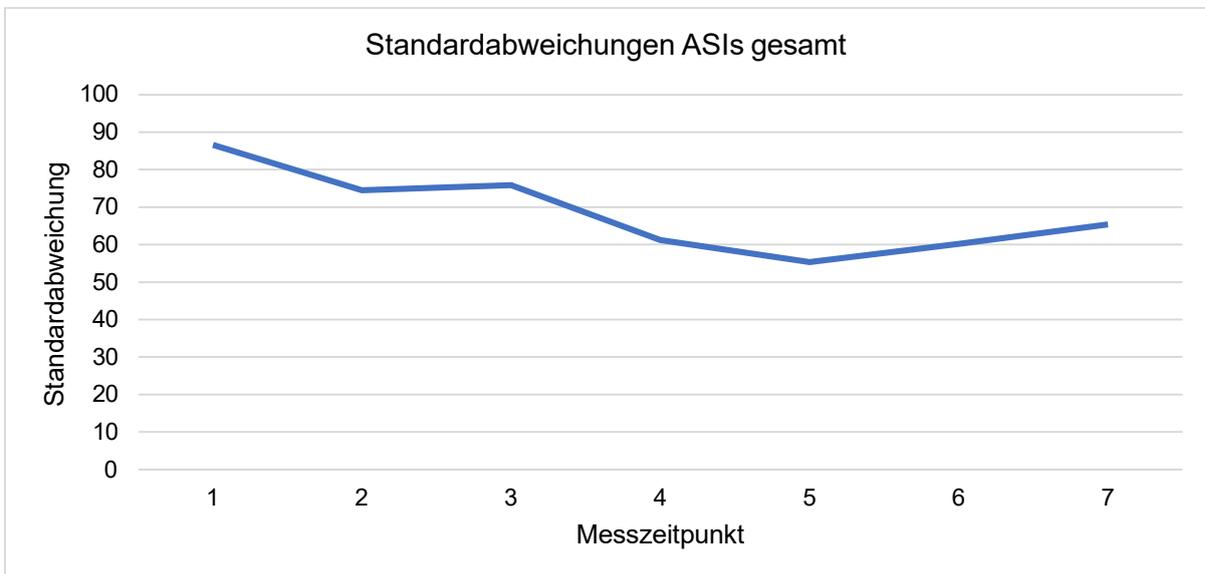


Abb. 13c: grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Standardabweichungen aller ASIs der mittleren 50 % der Stützbeinphase aller Extremitäten aller Fohlen pro Messzeitpunkt von der ersten bis zur siebten Messung

3.3. Korrelationen der statistischen Auswertung

Die Pearson-Korrelation zur Prüfung der linearen Abhängigkeit zweier Variablen (Tab. 9a und b) zeigte, dass sich die durchschnittliche Druckverteilung, während der mittleren 50 % der Standbeinphase innerhalb der Hufabdrücke im Laufe der drei Monate, in denen die Messungen, die erste ein bis drei Tage nach der Geburt, danach wöchentlich bis Messung fünf, danach monatlich, bis Messung sieben, gemacht worden waren, bei den Vorderextremitäten von dorsal weiter nach palmar verlagert hatte. Außerdem gab es eine signifikante positive Korrelation zwischen den Messzeitpunkten und den gemessenen Winkeln der Betreuerin und eine hochsignifikante Korrelation der Messzeitpunkte mit den gemessenen Winkeln der Diplomandin sowie der visuell beurteilten Zehenstellungen sowohl der Betreuerin als auch der Diplomandin, was bei den Zehenstellungen der Fohlen dieser Studie eine Tendenz von zehenweiter nach gerader beziehungsweise zehenengerer Stellung erkennen lässt. Bei den Karpalgelenken gab es sowohl bei gemessenen als auch bei der visuellen Videobeurteilung der Betreuerin und der Diplomandin eine hochsignifikante positive Korrelation mit den Messzeitpunkten. Bei der Druckverteilung in mediolateraler Richtung wurde keine signifikante Veränderung festgestellt, ebenso wenig konnte ein signifikanter Zusammenhang der mediolateralen Druckverteilung mit den gemessenen oder mittels Videobeurteilung bewerteten Winkelungen der Karpal- oder Tarsalgelenke festgestellt werden. Bei den Fesselgelenken gab es bei der Gesamtwertung eine signifikante negative Korrelation der mediolateralen Druckverteilung mit den Messungen der Betreuerin. Bei der getrennten Bewertung der Vorder- und Hintergliedmaßen gab es auch bei den Fesselgelenken keine Korrelation mit der mediolateralen Druckverteilung.

Beim statistischen Vergleich mittels Pearson-Korrelation der visuellen Videobeurteilungen der Betreuerin und der Diplomandin zeigte sich sowohl bei den Karpal- und Tarsalgelenken, sowie bei den Zehenstellungen vorne und hinten eine hochsignifikante positive Korrelation. Auch beim statistischen Vergleich mittels Pearson-Korrelation der Messungen der Karpal- und Tarsalgelenke sowie der Zehenstellungen vorne und hinten mit imagej der Betreuerin mit denen der Diplomandin zeigte sich eine hochsignifikant positive Korrelation.

Eine hochsignifikant positive Korrelation gab es außerdem zwischen den von der Diplomandin gemessenen Winkeln aller Gelenke und den entsprechenden Videobeurteilungen sowohl der Betreuerin als auch der Diplomandin.

Tab. 9a: Statistische Korrelationen der Mittelwerte der erhobenen Daten über die Vorderextremitäten. Die relevanten Korrelationen sind gelb markiert. Legende: dp = dorsopalmar, ml = mediolateral; Kar = Karpalgelenk; Betr = Betreuerin, Dipl = Diplomandin; vis. Beurt. = visuelle Beurteilung, Messg. = Messung; dp = dorsopalmar, ml = mediolateral; Pearson-Korr. = Pearson-Korrelation, Sig. = Signifikanz; N = Anzahl der Grundgesamtheit

Korrelationen Vorderextremitäten												
		Druck dp	Druck ml	Messg. Kar. Betr.	Messg. Zehe Betr.	Messg. Kar. Dipl.	Messg. Zehe Dipl.	vis. Beurt. Kar. Betr.	vis. Beurt. Zehe Betr.	vis. Beurt. Kar. Dipl.	vis. Beurt. Zehe Dipl.	
Mess zeit punkt	Pearso	-,367**	-0,106	,205**	0,151	,240**	0,13	,720**	,581**	,467**	,407**	
	Sig.	<,001	0,212	0,009	0,056	0,002	0,105	<,001	<,001	<,001	<,001	
	N	141	141	161	161	157	157	36	36	160	160	
Druck dp	Pearson-Korr.		0,09	-0,105	0,018	-0,145	-0,069	-0,222	-0,095	-,208*	-,255**	
	Sig.		0,288	0,221	0,836	0,092	0,425	0,275	0,643	0,014	0,003	
	N		141	138	138	136	136	26	26	138	138	
Druck ml	Pearson-Korr.			-0,05	-0,163	-0,035	-0,094	-0,32	-0,136	-0,125	-0,005	
	Sig.			0,558	0,057	0,687	0,274	0,111	0,506	0,143	0,955	
	N			138	138	136	136	26	26	138	138	
Messg. Kar. Betr.	Pearson-Korr.				-0,001	,480**	-0,049	,576**	0,244	,359**	,181*	
	Sig.				0,993	<,001	0,541	<,001	0,151	<,001	0,022	
	N				161	156	156	36	36	159	159	
Messg. Zehe Betr.	Pearson-Korr.					-,182*	,578**	-0,002	0,225	0,12	,263**	
	Sig.					0,023	<,001	0,993	0,187	0,133	<,001	
	N					156	156	36	36	159	159	
Messg. Kar. Dipl.	Pearson-Korr.						-,320**	,567**	,380*	,389**	0,056	
	Sig.						<,001	<,001	0,024	<,001	0,486	
	N						157	35	35	157	157	
Messg. Zehe Dipl.	Pearson-Korr.							0,007	0,046	0,037	,293**	
	Sig.							0,968	0,792	0,65	<,001	
	N							35	35	157	157	
vis. Beurt. Kar. Betr.	Pearson-Korr.								,457**	,676**	0,175	
	Sig.								0,005	<,001	0,308	
	N								36	36	36	
vis. Beurt. Zehe Betr.	Pearson-Korr.									,520**	,332*	
	Sig.									0,001	0,048	
	N									36	36	
vis. Beurt. Kar. Dipl.	Pearson-Korr.										,258**	
	Sig.										<,001	
	N										160	
** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.												
* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.												

Tab. 9b: Statistische Korrelationen der Mittelwerte der erhobenen Daten über die Hinterextremitäten, Die relevanten Korrelationen sind gelb markiert. Legende: dp = dorsoplantar, ml = mediolateral; Tar = Tarsalgelenk; Betr = Betreuerin, Dipl = Diplomandin Betr = Betreuerin, Dipl = Diplomandin; vis. Beurt. = visuelle Beurteilung, Messg. = Messung; dp = dosorplantar, ml = mediolateral; Pearson-Korr. = Pearson-Korrelation, Sig. = Signifikanz; N = Anzahl der Grundgesamtheit

Korrelationen Hinterextremitäten												
		Druck dp	Druck ml	Messg. Tar. Betr.	Messg. Zehe Betr.	Messg. Tar. Dipl.	Messg. Zehe Dipl.	vis. Beurt. Tar. Betr.	vis. Beurt. Zehe Betr.	vis. Beurt. Tar. Dipl.	vis. Beurt. Zehe Dipl.	
Mess zeit punkt	Pearso	-0,052	-0,028	0,016	0,069	-0,069	,191*	,372*	,345*	0,047	,259**	
	Sig.	0,538	0,738	0,844	0,381	0,389	0,016	0,025	0,04	0,557	<,001	
	N	141	141	162	162	158	159	36	36	160	160	
Druck dp	Pearson-Korr.		-0,037	-0,124	0,005	-,180*	0,073	-0,145	-0,3	-0,147	-0,049	
	Sig.		0,667	0,144	0,951	0,036	0,395	0,5	0,155	0,085	0,571	
	N		141	140	140	136	137	24	24	138	138	
Druck ml	Pearson-Korr.			0,019	-0,1	0,088	0,027	-0,17	0,065	-0,07	-0,08	
	Sig.			0,824	0,238	0,309	0,752	0,427	0,763	0,417	0,353	
	N			140	140	136	137	24	24	138	138	
Messg. Tar. Betr.	Pearson-Korr.				,492**	,590**	,278**	0,171	0,306	0,089	0,044	
	Sig.				<,001	<,001	<,001	0,32	0,07	0,265	0,584	
	N				162	158	159	36	36	160	160	
Messg. Zehe Betr.	Pearson-Korr.					,339**	,559**	-0,16	0,201	-0,088	,439**	
	Sig.					<,001	<,001	0,352	0,24	0,27	<,001	
	N					158	159	36	36	160	160	
Messg. Tar. Dipl.	Pearson-Korr.						,377**	-0,016	0,132	,196*	0,008	
	Sig.						<,001	0,924	0,441	0,014	0,923	
	N						158	36	36	158	158	
Messg. Zehe Dipl.	Pearson-Korr.							-0,317	0,181	-0,113	,377**	
	Sig.							0,06	0,292	0,155	<,001	
	N							36	36	159	159	
vis. Beurt. Tar. Betr.	Pearson-Korr.								,460**	,439**	0,053	
	Sig.								0,005	0,007	0,758	
	N								36	36	36	
vis. Beurt. Zehe Betr.	Pearson-Korr.									,357*	,581**	
	Sig.									0,033	<,001	
	N									36	36	
vis. Beurt. Tar. Dipl.	Pearson-Korr.										-0,122	
	Sig.										0,124	
	N										160	
* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.												
** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.												

4. Diskussion

4.1. Vermessung und visuelle Beurteilung der Gelenkwinkelungen

Bild- und Videoanalyse kann ein verlässliches Tool zur Analyse von Lahmheiten, Gangbildern und Körperkonformationen sein (Fuller et al. 2006). Vorteile liegen in der wiederholten Ansicht (Hammarberg et al. 2016; Arkell et al. 2006) und der Konservierbarkeit der Videos einerseits und andererseits in der Möglichkeit das Pferd aus mehreren Perspektiven gleichzeitig zu betrachten (Hammarberg et al. 2016). Außerdem bietet eine Videoanalyse weitere technische Möglichkeiten wie das Ansehen eines Abschnittes in Zeitlupe oder das Vergrößern eines gewünschten Ausschnittes. Allerdings ist im Gegensatz zur direkten Beurteilung am Tier die Position des Beurteilenden vorgegeben und kann nicht von ihm verändert und den Gegebenheiten angepasst und optimiert werden (Hammarberg et al. 2016). Bei einer direkten Beurteilung hätte man sich so positionieren können, dass man eine weitgehend unverfälschte Perspektive gehabt hätte.

Anhand jener Videos, die von leicht schräg von hinten aufgenommen worden waren, waren die Fohlen in der Regel am besten beurteilbar, da in den meisten Fällen die Fohlen hinter der Mutterstute liefen und somit nicht von ihr verdeckt wurden, allerdings war die vorgegebene fixe Perspektive stärker verzerrt als bei einer annähernd parallel zur Objektebene verlaufenden Bildebene, was zu projektionsbedingten Fehlern führen konnte (Vogt et al. 2003), da sich die Achsenabweichungen der Gelenkwinkelungen optisch verstärkt oder vermindert darstellten.

Die Videos, die gerade von vorne aufgenommen worden waren, hingegen zeigten zwar eine gute Perspektive, allerdings wurden die Fohlen meistens über fast die ganze Strecke von der Mutterstute verdeckt und waren somit nicht beurteilbar. Lediglich während der letzten Schritte, wenn die Mutterstute bereits abgebogen war, waren die Fohlen kurz vollständig sichtbar, allerdings waren sie in diesem Moment oft bereits in der Kurve nach rechts und somit gab es auch auf diesen Videos, kaum Momente in denen das Fohlen gerade auf die Kamera zu ging und eine weitgehend unverfälschte Beurteilung in der gewünschten Perspektive zugelassen hätte. Jede der Kameras war manchmal von einem der Helfer verdeckt worden, wodurch die Aufnahme für den betreffenden Teil des Durchgangs nicht verwendet werden konnte.

Die genannten Schwierigkeiten in der Videobeurteilung verschärften sich bei der Vermessung der Gelenkwinkelungen anhand von Einzelbildern (Anderson und McIlwraith 2004) mit dem Programm imagej, da hierbei die perspektivische Verzerrung außer Acht gelassen werden musste, die auch bei sorgfältiger Auswahl zwangsläufig gegeben war (Vogt et al. 2003). Die Bildauswahl und die Entscheidung welche Extremitäten jeden Bildes vermessen und bewertet werden dürfen, war nicht immer eindeutig zu treffen, und fiel manchmal bei der Diplomandin und der Betreuerin unterschiedlich aus. Daher flossen in einigen Fällen mehr Extremitäten pro Einzelbild in die Bewertung der Betreuerin als in die der Diplomandin.

Wie in Abb. 14 a und 14 b dargestellt hat sich in der Videoanalyse und bei der Vermessung der Gelenkwinkelungen, besonders bei den ersten Messungen eine sehr große Variabilität gezeigt. Wünschenswert für eine aussagekräftigere Analyse wäre eine genaue Zuordnung der einzelnen Hufabdrücke zu den entsprechenden Stellen am Video gewesen, was allerdings in diesem Fall nicht umsetzbar war, da die ursprüngliche Erhebung der Daten für andere Zwecke erfolgt war und dieser Aspekt somit nicht berücksichtigt worden war.

Die visuelle Beurteilung der Videos hat gegenüber der Gelenksvermessung von Einzelbildern den Vorteil Bewegungsabläufe über den gesamten Messzeitraum zu beurteilen und keine Momentaufnahmen, die nicht immer repräsentativ sein müssen und außerdem immer in einem gewissen Maß perspektivisch verzerrt sind (Anderson und McIlwraith 2004; Vogt et al. 2003), was sich zwangsläufig auf die Messergebnisse auswirkt (Hunt et al. 1999; Vogt et al. 2003). Dennoch zeigten die gemessenen und der via Videobeurteilung bewerteten Gelenkwinkel ähnliche Verlaufskurven. Angesichts der perspektivischen Verzerrung ist es denkbar, dass bei der Vermessung mit imagej die allgemeine Tendenz verstärkt dargestellt wird, was im Fall der vorliegenden Arbeit bedeutet, dass die Winkel generell um wenige Grade kleiner sind als bei der Videobeurteilung, da die Fohlen der Studie im Durchschnitt eher zu Carpus und Tarsus valgus und zu zehenweiter Stellung neigen. Ebenso denkbar ist eine durch eine unbewusste Erwartungshaltung geprägte Tendenz bei der Videobeurteilung (Arkell et al. 2006) die Winkel gerader einzuschätzen als sie sind. Die Unterschiede bei dieser Studie bewegen sich jedoch innerhalb enger Grenzen von wenigen Graden, die auch daher rühren können, dass bei den Messungen im Gegensatz zur visuellen Videobeurteilung ausschließlich die Standbeinphase beurteilt wurde, bei der sich die Gelenkwinkelungen aufgrund des Drucks verkleinern können (Unt et al. 2010).

Auffällig sind die kleiner werdenden Winkel bei fast allen beurteilten Gelenkwinkelungen bei den Messzeitpunkten vier und fünf, wo also die Tendenz zu Carpus und Tarsus valgus, sowie zehenweiter Stellung steigt. Eine ähnliche Beobachtung mit einem vorübergehend vermehrten Auftreten von zehenweiter Stellung bei Fohlen im Alter von zwei Monaten wurde in einer Studie von 1996 gemacht (Finkler-Schade et al. 1996). Insgesamt waren die Mittelwerte aller vermessenen Gelenkwinkelungen bei der letzten Messung erwartungsgemäß höher als bei der Ersten.



Abb. 14a: Fohlen 10 bei Messung 1 in ähnlicher Perspektive wie in Abb. 14b, mit mgr. Tarsus varus (186° laut Messung) und mgr. zehenweiter Stellung (176° laut Messung)



Abb. 14b: ebenfalls Fohlen 10 bei Messung 1 in ähnlicher Perspektive wie in Abb. 14a, hier mit ggr. Tarsus valgus (179° laut Messung) und mgr. zehenweiter Stellung (176° laut Messung) Die Bildqualität ist durch die stärkere Vergrößerung nicht so gut wie bei Abb. 14a.

4.2. Ergebnisse der Druckmessmatte und Korrelationen mit den Gelenkwinkeln

Die durchschnittliche dorsopalmar Druckverteilung der mittleren 50 % der Stützbeinphase der Vorderextremitäten verlagerte sich im Verlauf der Messungen erwartungsgemäß von eher dorsal nach eher palmar und näherte sich im Laufe der Studie jener adulter Pferde (Oosterlinck et al. 2013; Gorissen et al. 2018). Die dorsoplantare Druckverteilung der Hinterextremitäten zeigte hingegen ab der ersten Messung wenig Veränderung, was auch den Ergebnissen von Gorissen et al. (2018) entspricht.

Bezüglich der Druckverteilung in mediolateraler Richtung konnte wider Erwarten kein Trend im Laufe der dreimonatigen Studie festgestellt werden. Bei Gorissen et al. (2018) entwickelte sich die Druckverteilung ab der sechsten Woche bis zum Ende der Studie nach sechs Monaten, von eher medial nach eher lateral, wie bei adulten Pferden (van Heel et al. 2004; Oosterlinck et al. 2013; Mokry et al. 2021; Oosterlinck et al. 2015; Wilson et al. 2016).

Die eingangs gestellte Hypothese, dass die Variabilität der Hufdruckverteilung im Verlauf der Studiendauer abnimmt wurde analog zu den Ergebnissen von Gorissen (2018) bestätigt.

Bei Fohlen mit größeren Abweichungen der Gelenkwinkelungen von einer geraden Achse wäre möglicherweise eine eindeutigere Korrelation zur mediolateralen Druckverteilung resultiert. Es gab eine signifikante negative Korrelation in der Gesamtwertung mit den gemessenen Winkelungen der Zehengelenke der Betreuerin, die sich in der getrennten Bewertung der Vorder- und Hintergliedmaßen nicht bestätigte, was möglicherweise der geringeren Stichprobe geschuldet war. Die Hypothese, dass stärkere Abweichungen von der Geraden sich stärker auf die Druckverteilung auswirkten, konnte bei dieser Arbeit nicht überprüft werden. Die Fohlen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit bewertet wurden, wiesen laut visueller Videobeurteilung bis auf zwei punktuelle Ausnahmen mit mittelgradigen Abweichungen bei einzelnen Messungen maximal geringgradige Abweichungen auf.

Entspricht die Ausrichtung des Hufes nicht der Richtung der Druckmessmatte wird das Ergebnis verzerrt, da die Richtungsbezeichnungen dorsopalmar und mediolateral des Hufabdruckes bei einem schrägen aufsetzen des Hufes um einige Grade verdreht dargestellt werden. Bei Gorissen et al. (2018) wurden die Fohlen von einem Helfer geführt, während bei dieser Studie die Fohlen frei hinter der Mutterstute gingen. Es ist denkbar, dass die geführten

Fohlen dadurch einer geraderen, parallel zur Druckmessmatte laufenden Linie folgten als die freilaufenden Fohlen dieser Studie, und somit repräsentativere Daten lieferten. Da bei der Auswahl der ausgewerteten Hufabdrücke der Fohlen dieser Studie jedoch auf Geradlinigkeit geachtet wurde, sollte dieser Aspekt maximal eine sehr geringe Auswirkung auf die gewonnenen Ergebnisse haben.

Bei einer weiteren Studie anhand desselben Datensatzes wie bei ihrer Studie aus 2018 konnten Gorissen et al. (2017) subklinische Lahmheiten bei Osteochondrosis dissecans (OCD)-positiven Fohlen anhand einer Reduktion der Druckmaxima (PVF) nachweisen (Gorissen et al. 2017). Die ASIs blieben von OCD jedoch unbeeinflusst (Gorissen et al. 2018).

Im Fall einer Gliedmaßenfehlstellung beim Fohlen ist es essenziell für den Erfolg so früh wie möglich eine Diagnose zu stellen und mit einer Therapie zu beginnen (Bramlage und Auer 2006; Auer und Rechenberg 2006). Dazu bedarf es diagnostischer Mittel, die verlässliche Informationen liefern. Der Einsatz von Druckmessmatten zur Überprüfung oder besseren Einschätzung von Gliedmaßenstellungen bei sehr jungen Fohlen ist aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse für die klinische Praxis kein geeignetes Instrument. Der technische, personelle und zeitliche Aufwand ist beträchtlich und die gewonnenen Daten über die Druckverteilung in mediolateraler Richtung lassen keine Rückschlüsse auf geringgradige Abweichungen zu einer regelmäßig geraden Gelenkwinkelung zu. Anhand dieser Studie kann nicht beurteilt werden, ob sich größere Abweichungen auf die mediolaterale Druckverteilung niederschlugen. Doch auch wenn das der Fall wäre, wäre der Aufwand für den klinischen Einsatz kaum zu rechtfertigen, da bei mittel- und hochgradigen Abweichungen, die bei einer Untersuchung visuell gut beurteilbar sind, wenig relevanter Erkenntnisgewinn zu erwarten wäre.

5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Entwicklung der Druckverteilung der Fussungsflächen einzelner Hufe von zwölf Fohlen in sieben Messungen über drei Monate, die erste ein bis drei Tage nach der Geburt, danach wöchentlich bis zur fünften Messung und dann mit jeweils einem Monat Abstand bis zur sechsten und siebten Messung, anhand eines zur Verfügung gestellten Datensatzes analysiert. Die Fohlen waren bei jeder Messung über Druckmessmatten geführt und dabei gefilmt worden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die ASIs der einzelnen Hufabdrücke ausgewertet und die Winkel der Karpal-, Tarsal- und Fesselgelenke sowohl visuell anhand der Videos beurteilt als auch an Einzelbildern, die aus den Videos ausgewählt wurden, vermessen. Es wurde statistisch mittels Pearson-Korrelation überprüft, ob eine Korrelation zwischen den Gelenkwinkelungen und den Hufdruckverteilungen bestand und wie sie sich jeweils entwickelten. Die Druckverteilung der Vorderextremitäten verlagerte sich innerhalb des Studienzeitraums von eher dorsal nach eher palmar, in mediolateraler Richtung gab es keinen erkennbaren Trend. Bei den Hinterextremitäten gab es weder in dorsoplantarer noch in mediolateraler Richtung einen erkennbaren Trend. Die Standardabweichungen der Druckverteilungen und der Gelenkwinkelungen nahmen innerhalb des Studienzeitraumes ab und die Gelenkwinkel des Karpal- und der Fesselgelenke näherten sich im Durchschnitt im Laufe der Studie von eher valgus bzw. zehenweiter Stellung den 180° . Die Tarsalgelenkwinkel zeigten im Durchschnitt von der ersten bis zur letzten Messung ggr. Tarsus valgus. Es gab keine eindeutige signifikante Korrelation der Gelenkwinkelungen mit den Hufdruckverteilungen, somit ist das untersuchte System bei sehr jungen Fohlen für die Einschätzung von Gelenkwinkelungen nicht für den klinischen Gebrauch geeignet. Es bedarf eines hohen technischen und personellen Aufwands und die gewonnenen Daten lassen keine Rückschlüsse auf die Gelenkwinkelungen zu.

6. Summary

In this study, the development of the pressure distribution of the footing areas of individual hooves of twelve foals within three months was analyzed based on a data set made available. The first measurement had taken place one to three days after birth, then weekly up to the fifth measurement and then at intervals of one month up to the sixth and seventh measurement, during each measurement, the foals were guided over pressure mats and filmed. The ASIs of the individual hoofprints were evaluated and the angles of the carpal, tarsal and fetlock joints were assessed both visually using the videos and measuring joint angles using still images selected from the videos. It was statistically checked by means of Pearson correlation whether there was a correlation between the joint angles and the hoof pressure distributions and how they developed over the study period. The pressure distribution of the forelimbs shifted from more dorsal to more palmar within the study period; there was no recognizable trend in the mediolateral direction. There was no discernible trend in either the dorsoplantar or mediolateral direction in the hindlimbs. The standard deviations of the pressure distributions and the joint angulations decreased within the study period. The average joint angles of the carpal and fetlock joints nearly approached 180° over the course of the study from being more carpus or fetlock valgus. The tarsal joint angles showed a slight tarsus valgus from the first to the last measurement. There was no clear significant correlation of joint angulations with hoof pressure distributions, so the system studied for assessing joint angulations in very young foals is not suitable for clinical use. It requires a high level of technical and personal effort and the data obtained do not allow any conclusions to be drawn about the joint angles.

7. Abkürzungsverzeichnis

COM	Masseschwerpunkt
BOS	Unterstützungsflächen
GRF	Bodenreaktionskräfte
COP	Druckzentrum
COF	berechneter Kräfteschwerpunkt
ASI	Asymmetrie Index
PVF	Druckmaxima

8. Literaturverzeichnis

- Anderson TM, McIlwraith CW. 2004. Longitudinal development of equine conformation from weanling to age 3 years in the Thoroughbred. *Equine veterinary journal* 36 (7): 563–570. DOI: 10.2746/0425164044864507.
- Arkell M, Archer RM, Guitian FJ, May SA. 2006. Evidence of bias affecting the interpretation of the results of local anaesthetic nerve blocks when assessing lameness in horses. *The Veterinary record* 159 (11): 346–349. DOI: 10.1136/vr.159.11.346.
- Auer JA, Rechenberg B. 2006. Treatment of Angular Limb Deformities in Foals. *Clinical Techniques in Equine Practice* 5 (4): 270–281. DOI: 10.1053/j.ctep.2006.09.001.
- Bramlage LR. 1999. The science and art of angular limb deformity correction. *Equine veterinary journal* 31 (3): 182–183. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03168.x.
- Bramlage LR, Auer JA. 2006. Diagnosis, Assessment, and Treatment Strategies for Angular Limb Deformities in the Foal. *Clinical Techniques in Equine Practice* 5 (4): 259–269. DOI: 10.1053/j.ctep.2006.09.002.
- Clayton HM, Nauwelaerts S. 2012. Is a single force plate adequate for stabilographic analysis in horses? *Equine veterinary journal* 44 (5): 550–553. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2011.00458.x.
- Clayton HM, Buchholz R, Nauwelaerts S. 2013. Relationship between morphological and stabilographic variables in standing horses. *Veterinary journal* 198 Suppl.1: e65-e69. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.035.
- Coda A, Carline T, Santos D. 2014. Repeatability and reproducibility of the Tekscan HR-Walkway system in healthy children. *Foot* 24 (2): 49–55. DOI: 10.1016/j.foot.2014.02.004.
- De Hair DME, Gorissen B, Wolschrijn C. 2014. Pressure plate analysis of the locomotion pattern of Warmblood foals in the first 6 weeks after birth. *Utrecht University repository*: 1-18
- Faramarzi B, Nguyen A, Dong, F. 2018. Changes in hoof kinetics and kinematics at walk in response to hoof trimming: pressure plate assessment. *Journal of veterinary science* 19 (4): 557–562. DOI: 10.4142/jvs.2018.19.4.557.
- Finkler-Schade Ch, Enbergs H, Ahlswedel. 1996. Untersuchungen zum Wachstumsverlauf und zum Vorkommen von Stellungs- und Gliedmaßenveränderungen bei Saugfohlen während der Weideperiode 1996. *Pferdeheilkunde* 1996 (3): 275-278.
- Fuller CJ, Bladon BM, Driver AJ, Barr ARS. 2006. The intra- and inter-assessor reliability of measurement of functional outcome by lameness scoring in horses. *Veterinary journal* 171 (2): 281–286. DOI: 10.1016/j.tvjl.2004.10.012.
- Gomes-Costa M, Roupa I, Pequito M, Prazeres J, Gaivão M, Abrantes J, Clayton, HM. 2015. The Use of Pressure Plates for Static Center of Pressure Analysis in Horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 35 (4): 315–320. DOI: 10.1016/j.jevs.2015.02.002.

- Gorissen BMC, Serra Bragança FM, Wolschrijn CF, Back W, van Weeren PR. 2018. The development of hoof balance and landing preference in the post-natal period. *Equine veterinary journal* 50 (6): 809–817. DOI: 10.1111/evj.12961.
- Gorissen BMC, Wolschrijn CF, Serra Bragança FM, Geerts AAJ, Leenders WOJL, Back W, van Weeren PR. 2017. The development of locomotor kinetics in the foal and the effect of osteochondrosis. *Equine veterinary journal* 49 (4): 467–474. DOI: 10.1111/evj.12649.
- Hammarberg M, Egenvall A, Pfau T, Rhodin M. 2016. Rater agreement of visual lameness assessment in horses during lungeing. *Equine veterinary journal* 48 (1): 78–82. DOI: 10.1111/evj.12385.
- Hunt WF, Thomas VG, Stiefel W. 1999. Analysis of video-recorded images to determine linear and angular dimensions in the growing horse. *Equine veterinary journal* 31 (5): 402–410. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03840.x.
- Kim J, Kazmierczak KA, Breur GJ. 2011. Comparison of temporospatial and kinetic variables of walking in small and large dogs on a pressure-sensing walkway. *American journal of veterinary research*, vol. 72, no. 9: 1171-1177
- Kroekenstoel AM, van Heel MCV, van Weeren PR, Back W. 2006. Developmental aspects of distal limb conformation in the horse: the potential consequences of uneven feet in foals. *Equine veterinary journal* 38 (7): 652–656. DOI: 10.2746/042516406x159089.
- Lange C, Kattelans A, Rohn K, Lüpke M, Brückner HP, Stadler P. 2012. Die kinetische Untersuchung der Fußung, der Belastung des Hufes und des Abrollvorganges an den Vordergliedmaßen von Pferden im Schritt und im Trab auf dem Laufband mit dem HoofTM-System (Tekscan). *Pferdeheilkunde* 28 (5): 538–547.
- Lucidi P, Bacco G, Sticco M, Mazzoleni G, Benvenuti M, Bernabò N, Trentini R. 2013. Assessment of motor laterality in foals and young horses (*Equus caballus*) through an analysis of derailment at trot. *Physiology & behavior* 109: 8–13. DOI: 10.1016/j.physbeh.2012.11.006.
- Makagon MM, Woolley R, Karcher DM. 2015. Assessing the waddle: An evaluation of a 3-point gait score system for ducks. *Poultry science* 94 (8): 1729–1734. DOI: 10.3382/ps/pev151.
- Meijer E, Oosterlinck M, van Nes A, Back W, van der Staay FJ. 2014. Pressure mat analysis of naturally occurring lameness in young pigs after weaning. *BMC veterinary research* 10: 193. DOI: 10.1186/s12917-014-0193-8.
- Mokry A, van de Water E, Politiek HAT, van Doorn DA, Pille F, Oosterlinck M. 2021. Dynamic evaluation of toe-heel and medio-lateral load distribution and hoof landing patterns in sound, unshod Standardbred horses with toed-in, toed-out and normal hoof conformation. *Veterinary journal* 268: 105593. DOI: 10.1016/j.tvjl.2020.105593.
- Nauwelaerts S, Hobbs SJ, Back W. 2017. A horse's locomotor signature: COP path determined by the individual limb. *PloS one* 12 (2): e0167477. DOI: 10.1371/journal.pone.0167477.

- Nauwelaerts S, Malone SR, Clayton HM. 2013. Development of postural balance in foals. *Veterinary journal* 198 Suppl 1: e70-4. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.036.
- Oomen AM, Oosterlinck M, Pille F, Sonneveld DC, Gasthuys F, Back W. 2012. Use of a pressure plate to analyse the toe-heel load redistribution underneath a normal shoe and a shoe with a wide toe in sound warmblood horses at the walk and trot. *Research in veterinary science* 93 (2): 1026–1031. DOI: 10.1016/j.rvsc.2012.01.010.
- Oosterlinck M, Hardeman LC, van der Meij BR, Veraa S, van der Kolk JH, Wijnberg, ID et al. 2013. Pressure plate analysis of toe-heel and medio-lateral hoof balance at the walk and trot in sound sport horses. *Veterinary journal* 198 Suppl 1: e9-13. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.026.
- Oosterlinck M, Pille F, Back W, Dewulf J, Gasthuys F. 2011a. A pressure plate study on fore and hindlimb loading and the association with hoof contact area in sound ponies at the walk and trot. *Veterinary journal* 190 (1): 71–76. DOI: 10.1016/j.tvjl.2010.08.016.
- Oosterlinck M, Bosmans T, Gasthuys F, Polis I, van Ryssen B, Dewulf J, Pille F. 2011b. Accuracy of pressure plate kinetic asymmetry indices and their correlation with visual gait assessment scores in lame and nonlame dogs. *American journal of veterinary research* 72 (6): 820–825. DOI: 10.2460/ajvr.72.6.820.
- Oosterlinck M, Pille F, Huppes T, Gasthuys F, Back W. 2010. Comparison of pressure plate and force plate gait kinetics in sound Warmbloods at walk and trot. *Veterinary journal* 186 (3): 347–351. DOI: 10.1016/j.tvjl.2009.08.024.
- Oosterlinck M, van der Aa R, van de Water E, Pille F. 2015. Preliminary Evaluation of Toe–Heel and Mediolateral Hoof Balance at the Walk in Sound Horses With Toed-In Hoof Conformation. *Journal of Equine Veterinary Science* 35 (7): 606–610. DOI: 10.1016/j.jevs.2015.06.001.
- Pitti L, Oosterlinck M, Díaz-Bertrana ML, Carrillo JM, Rubio M, Sopena J et al. 2018. Assessment of static posturography and pedobarography for the detection of unilateral forelimb lameness in ponies. *BMC veterinary research* 14 (1): 151. DOI: 10.1186/s12917-018-1462-8.
- Robert C, Valette JP, Denoix JM 2013. Longitudinal development of equine forelimb conformation from birth to weaning in three different horse breeds. *Veterinary journal* 198 Suppl 1: e75-80. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.037.
- Santschi EM, Leibsle SR, Morehead JP, Prichard MA, Clayton MK, Keuler NS. 2006. Carpal and fetlock conformation of the juvenile Thoroughbred from birth to yearling auction age. *Equine veterinary journal* 38 (7): 604–609. DOI: 10.2746/042516406x159025.
- Skopljak A, Muftic M, Sukalo A, Masic I, Zunic L. 2014. Pedobarography in diagnosis and clinical application. *Acta informatica medica: AIM : journal of the Society for Medical Informatics of Bosnia & Herzegovina : casopis Drustva za medicinsku informatiku BiH* 22 (6): 374–378. DOI: 10.5455/aim.2014.22.374-378.
- Smith L. 2010. Treatment of angular limb deformities in foals. *In Practice* 32 (4): 156–162. DOI: 10.1136/inp.c1435.

Todorovski M. 2019. Pilot pressure mat analysis of growing Australian Stock Horse foals at Stance [Undergraduate Thesis]. Queensland. University of Queensland

Unt VE, Evans J, Reed SR, Pfau T, Weller R. 2010. Variation in frontal plane joint angles in horses. *Equine veterinary journal. Supplement* (38): 444–450. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2010.00192.x.

van Heel MCV, Barneveld A, van Weeren PR, Back W. 2004. Dynamic pressure measurements for the detailed study of hoof balance: the effect of trimming. *Equine veterinary journal* 36 (8): 778–782. DOI: 10.2746/0425164044847993.

van Heel MCV, Kroekenstoel AM, van Dierendonck MC, van Weeren PR, Back W. 2006. Uneven feet in a foal may develop as a consequence of lateral grazing behaviour induced by conformational traits. *Equine veterinary journal* 38 (7): 646–651. DOI: 10.2746/042516406x159070.

Vogt L, Himmelreich H, Ruhleder M, Mahrous A, Banzer W. 2003. Videobasierte 2D-Gangbildanalyse. *Manuelle Medizin* 41 (3): 208–214. DOI: 10.1007/s00337-003-0209-0.

Wheeler C, White B, Anderson D, Amrine D, Larson R. 2013. Assessment of biometric tools for quantitative gait analysis in Holstein calves. *Am. J. Vet. Res.*, vol. 74, no. 11: 1443-1449.

Wilson A, Agass R, Vaux S, Sherlock E, Day P, Pfau T, Weller R. 2016. Foot placement of the equine forelimb: Relationship between foot conformation, foot placement and movement asymmetry. *Equine veterinary journal* 48 (1): 90–96. DOI: 10.1111/evj.12378.

Wilson GH, McDonald K, O'Connell MJ. 2009. Skeletal forelimb measurements and hoof spread in relation to asymmetry in the bilateral forelimb of horses. *Equine veterinary journal* 41 (3): 238–241. DOI: 10.2746/042516409x395561.

Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E. 2010. *Praxisorientierte Anatomie und Präpädeutik des Pferdes*. 3. Aufl. Hannover: M. & H. Schaper GmbH. 891p

Witte S, Thorpe PE, Hunt R, Spirito MA, Rodgerson DH. 2004. A lag-screw technique for bridging of the medial aspect of the distal tibial physis in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 225 (10): 1581-1583. DOI: 10.2460/javma.2004.225.1581

9. Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: Einzelbild eines Fohlens, das sich auf der der Druckmessmatte umgedreht hat und mit Blick Richtung der Kamera steht, die von schräg hinten gefilmt hatte
- Abb. 2: Einzelbild eines Fohlens, das seiner Mutter nicht geradlinig folgt, sondern sich schräg in Richtung der Kamera bewegt, die von schräg vorne filmt.
- Abb. 3 bis 5: Einzelbilder von Fohlen, die über die Druckmessmatte gehen aus verschiedenen Perspektiven
- Abb. 6: Einzelbild eines Fohlens im Schritt mit eingezeichneten und nummerierten Messlinien von hinten
- Abb. 7: Einzelbild eines Fohlens im Schritt mit eingezeichneten und nummerierten Messlinien von vorne
- Abb. 8: Einzelbild eines Fohlens in Ruhestellung mit eingezeichneten und nummerierten Messlinien von hinten
- Abb. 9: Einzelbild eines Fohlens in Ruhestellung mit eingezeichneten und nummerierten Messlinien von vorne
- Abb. 10: Darstellung eines vollständigen Frames der Druckmessmatte mit zwei auswertbaren Hufabdrücken eines Fohlens und dem weißen Streifen in der linken unteren Hälfte, der die Reihe defekter Sensoren repräsentiert, die keine Daten lieferten
- Abb. 11: beispielhafte grafische Darstellung der Asymmetrie Indizes einer Vorder- und einer Hintergliedmaße eines Fohlens zu einem Messzeitpunkt vom ersten bis zum letzten Kontakt des Hufes mit der Druckmessmatte
- Abb. 12a bis c: grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts aller gemessenen und via Videoanalyse beurteilten Gelenkwinkelungen aller Fohlen von der ersten bis zur siebten Messung, sowie des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse aller Gelenkwinkel aller Fohlen von der ersten bis zur siebten Messung
- Abb. 13a und b: grafische Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte der ASIs der mittleren 50 % der Stützbeinphase in dorsopalmarer/-plantarer sowie in mediolateraler Richtung der Vorder- und Hinterextremitäten von der ersten bis zur siebten Messung im Vergleich
- Abb. 13c: grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Standardabweichungen aller ASIs der mittleren 50 % der Stützbeinphase aller Extremitäten aller Fohlen pro Messzeitpunkt von der ersten bis zur siebten Messung
- Abb. 14a und b: Einzelbilder eines Fohlens aus einem ähnlichen Winkel und deutlich unterschiedlichen Gelenkwinkelungen

10. Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Alter jedes Fohlens bei in Tagen von der ersten bis zur siebten Messung
- Tab. 2: Videos die für jedes Fohlen pro Messung zur Verfügung standen
- Tab. 3: Videoclips von der mit der Druckmessmatte synchronisierten Kamera, die pro Fohlen und Messzeitpunkt zur Verfügung standen
- Tab. 4: Reihenfolge der von der Diplomandin durchgeführten Winkelmessungen anhand von Einzelbildern
- Tab. 5: Darstellung der mit imagej vermessenen Gelenkwinkel im Schritt anhand von Einzelbildern der Kategorie eins und zwei
- Tab. 6: Darstellung der mit imagej vermessenen Gelenkwinkel in Ruhestellung anhand von Einzelbildern der Kategorie eins und zwei
- Tab. 7: Darstellung ausgewerteter Hufabdrücke jeder Extremität je Fohlen und Messzeitpunkt
- Tab. 8: Mittelwerte der ASIs der mittleren 50 % der Standbeinphase jedes ausgewerteten Hufabdruckes je Fohlen und Messzeitpunkt
- Tab. 9a und b: Statistische Auswertung der Daten, Pearson-Korrelation zwischen Hufdruckverteilungen und gemessenen sowie via Videoanalyse beurteilten Gelenkwinkelungen der Vorder- und Hinterextremitäten

11. Anhang

11.1. Auflistung der Messergebnisse und Standardabweichungen

Es folgt die tabellarische Auflistung der Mittelwerte der Messergebnisse und der Standardabweichungen der Betreuerin und der Diplomandin; Die Winkel wurden jeweils von lateral vermessen, das heißt ein Winkel unter 180° bedeutet Carpus/Tarsus valgus- bzw. zehenweite Stellung und ein Winkel über 180° bedeutet Carpus/Tarsus varus- bzw. zehenenge Stellung.

Legende: F1 – F12 = Fohlen 1 – 12, M1 – M7 = Messzeitpunkt 1 – 7

Betreuerin									
M1		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	174,5	179,2	174,7	179,6	166,3	173,2	174,9	178,9
	Stabw	3,50	1,39	3,12	7,74	4,38	3,02	5,42	3,79
F2	Winkel	173,4	179,1	174,4	173,6	172,4	179,5	173,5	174,5
	Stabw	0,53	4,25	0,60	3,70	0,42	2,86	1,94	4,08
F3	Winkel	173	174,5	171,5	179,3	175,0	183,0	164,4	177,3
	Stabw	1,81	2,51	1,02	9,43	0,85	4,99	4,97	5,47
F4	Winkel	176,6	179,2	176,0	174,1	179,2	180,7	169,4	173,2
	Stabw	1,45	3,79	3,33	7,80	4,70	4,16	4,22	4,79
F5	Winkel	179,1	179,9	178,4	169,2	173,9	177,7	173,1	173,3
	Stabw	0,51	2,79	0,77	3,12	1,92	5,60	5,13	2,63
F6	Winkel	169,3	175,1	171,4	159,0	173,4	176,0	168,0	159,5
	Stabw	5,74	7,79	6,67	8,44	9,58	5,73	6,16	8,47
F7	Winkel	174,9	177,1	178,5	171,1	177,1	175,8	170,7	180,6
	Stabw	2,57	2,79	2,38	4,44	6,54	3,03	5,55	2,76
F8	Winkel	176,1	174,4	179,2	178,3	170,6	177,4	170,8	169,8
	Stabw	2,7	1,4	0	5,7	5,2	2,5	0,5	7,6
F9	Winkel	175,9	173,3	176,4	169,7	178,7	177,6	167,3	166,1
	Stabw	2,12	11,56	1,92	5,86	6,56	6,15	6,60	10,22
F10	Winkel	175,1	177,3	178,1	171,2	186,0	177,5	173,7	165,4
	Stabw	1,57	4,20	2,15	1,08	3,81	6,68	6,10	6,54
F11	Winkel	176,5	176,0	178,6	166,0	175,2	176,3	174,4	175,3
	Stabw	1,04	1,72	0,85	7,67	3,34	3,89	5,47	4,02
F12	Winkel	175,9	167,5	174,6	181,2	166,9	167,5	173,9	172,2
	Stabw	1,30	3,10	1,38	4,69	2,09	3,48	2,86	4,25
Diplomandin									
M1		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	178	181	177,5	175,5	168	174,5	173,8	181,8
	Stabw	0	1	0,5	4,5	2,83	1,5	4,26	1,48
F2	Winkel	176,5	182	177,3	176	173	178	171	176
	Stabw	0,5	1	1,25	5,66	0	0	0	0
F3	Winkel	177	173	172,5	182	177	183,5	176,3	176,5
	Stabw	0,82	4,5	1,5	10	1	0,5	2	6,5
F4	Winkel	180	177,5	176	170,5	178,5	178	170	161
	Stabw	3	5	2	2,5	0,5	3	0,94	3,27
F5	Winkel	179	170	180	170	178,5	185	171,5	170
	Stabw	0	0	0	0	2,06	2,16	0,5	1
F6	Winkel	173,5	169,5	180,5	160,5	175	171	166,3	151,3
	Stabw	1,5	12,5	0,5	4,5	2,16	3,56	3,3	4,78
F7	Winkel	178	186	180	174	177,7	179	175,5	176,5
	Stabw	0	0	0	5,1	3,3	1,63	1,5	6,5
F8	Winkel	176	179	178	177	175	174,5	177	180
	Stabw	1	0	0	0	0	0,5	0	0
F9	Winkel	175,5	167,5	179	167,7	174,7	173,7	177	172,5
	Stabw	2,5	10,5	1	2,49	0	4	4	6,5
F10	Winkel	175,2	178,2	180	176	181,3	171,7	177,8	169,8
	Stabw	1,17	4,35	0	0	2,62	1,7	5,54	6,34
F11	Winkel	177	178,5	179	173	171	179	173	182
	Stabw	1	2,5	0	0	0	0	1	0
F12	Winkel	177	161,5	178	180	169,5	165,5	173,5	177,5
	Stabw	0	8,5	0	1	2,5	1,5	3,5	1,5

Betreuerin									
M2		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	176,2	174,3	175,0	171,0	168,0	174,1	175,6	179,8
	Stabw	2,37	1,95	0	2,28	3,81	3,52	4,59	7,37
F2	Winkel	177,6	176,7	174,4	173,6	172,4	179,5	173,5	174,5
	Stabw	0,36	7,51	0,60	3,70	0,42	2,86	1,94	4,08
F3	Winkel	174,7	180,5	173,5	171,9	183,2	191,8	162,6	168,0
	Stabw	4,01	6,59	0,21	1,29	13,46	2,61	3,43	3,06
F4	Winkel	176,3	176,8	174,1	173,0	177,3	179,6	171,5	175,4
	Stabw	2,48	3,48	0,75	10,06	11,30	4,60	7,11	3,29
F5	Winkel	177,2	178,9	181,5	170,2	175,8	181,3	172,0	175,1
	Stabw	2,94	3,00	2,13	3,19	4,27	3,60	4,64	3,02
F6	Winkel	176,1	175,2	178,3	174,2	174,2	178,2	176,2	173,3
	Stabw	2,71	4,14	3,48	5,81	3,75	4,76	5,18	5,23
F7	Winkel	177,5	176,7	179,5	174,5	177,8	174,6	172,9	173,9
	Stabw	1,40	2,56	1,84	4,89	7,25	6,66	3,29	4,32
F8	Winkel	174,9	174,6	178,1	176,1	172,5	172,6	167,7	177,3
	Stabw	1,7	1,4	0,6	1,1	2,8	2,5	4,5	5,4
F9	Winkel	177,3	178,7	177,7	170,8	175,5	178,0	170,1	170,2
	Stabw	1,76	0,42	2,00	5,89	2,17	0,93	3,68	3,49
F10	Winkel	176,9	180,5	182,6	171,1	178,2	173,7	176,7	172,3
	Stabw	3,42	3,12	2,55	4,79	6,07	4,99	7,18	5,46
F11	Winkel	179,7	176,3	175,1	173,9	176,3	180,9	177,1	177,6
	Stabw	0	3,82	3,58	3,38	7,24	5,02	3,86	3,24
F12	Winkel	175,5	172,7	176,4	178,0	171,6	176,1	177,7	178,6
	Stabw	3,03	5,05	1,15	5,76	3,70	2,88	4,98	5,03
Diplomandin									
M2		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	179	179,7	179	172,5	171	178,3	177,2	181,4
	Stabw	0,82	1,7	0	0,5	0,83	3,27	2,06	3,4
F2	Winkel	179	174	178	179	176	179	170	173,5
	Stabw	0	0	0	0	0	0	1	1,5
F3	Winkel	169,5	195	176	176,3	184,5	190	167	176
	Stabw	0,5	6	3,27	3,3	5,5	7	5,72	9,93
F4	Winkel	173,5	178	177	174,5	173,7	176,7	174,7	175,7
	Stabw	0,5	7,26	0	7,5	2,87	3,68	1,7	2,62
F5	Winkel	177,5	184	185	162,5	177,7	179	173	184
	Stabw	2,5	3	1	1,5	8,34	5,1	0	2
F6	Winkel	175	171	181	172	175,8	173,4	180,2	177,6
	Stabw	0	3,56	0,47	2,49	3,31	4,32	1,72	2,24
F7	Winkel	na							
	Stabw								
F8	Winkel	179	179	181	176	175	175	172,7	180
	Stabw	0	0	0,5	2	5	1	1,7	2,16
F9	Winkel	175,5	178	177	174	180	177,5	173	171
	Stabw	0,5	1	0	0	1	0,5	0	0
F10	Winkel	178,3	177,7	181	187	175,5	172	177,5	174,5
	Stabw	1,7	2,62	0	0	2,06	2,24	2,87	3,64
F11	Winkel	177	175	175	179	176,3	175,7	173,8	178,3
	Stabw	0	0	0	0	2,62	0,94	2,59	1,3
F12	Winkel	177,5	176	176	180,5	168,3	174,3	178,3	181
	Stabw	1,5	6	1	3,5	1,25	3,09	3,3	4,08

Betreuerin									
M3		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		c	f	c	f	t	f	t	f
F1	Winkel	179,2	179,6	181,0	167,4	178,7	177,3	183,0	178,1
	Stabw	1,78	3,83	3,05	6,60	2,44	6,56	9,99	8,89
F2	Winkel	na							
	Stabw								
F3	Winkel	na		177,4	179,7	176,5	185,5	176,5	183,2
	Stabw			0,06	4,16	1,93	2,14	1,71	2,87
F4	Winkel	174,1	179,6	177,1	177,8	175,4	176,8	169,7	175,4
	Stabw	0	0	0,87	1,41	3,16	2,60	3,10	5,34
F5	Winkel	176,6	178,2	176,3	170,4	170,8	176,6	171,6	172,0
	Stabw	1,08	3,64	1,00	4,63	1,54	1,93	5,40	3,83
F6	Winkel	177,5	174,5	180,6	171,3	177,6	182,0	172,6	173,2
	Stabw	1,48	2,37	0,88	3,77	5,18	4,63	3,03	7,01
F7	Winkel	173,7	173,9	175,8	174,5	178,8	176,6	169,9	172,9
	Stabw	2,88	4,33	1,75	4,22	6,90	4,11	4,15	4,36
F8	Winkel	179,9	177,2	179,7	176,9	174,5	176,0	173,3	180,5
	Stabw	0	0	2,4	3,1	3,7	0,8	2,2	1,3
F9	Winkel	176,8	179,6	180,0	173,5	177,9	175,4	174,3	175,1
	Stabw	2,43	2,83	2,60	1,84	8,12	5,15	2,47	5,32
F10	Winkel	177,4	177,2	176,5	174,0	183,6	175,6	173,5	170,6
	Stabw	0,39	1,75	2,47	1,68	2,60	0,83	3,54	2,86
F11	Winkel	177,1	173,9	176,4	169,8	174,3	179,1	176,7	176,7
	Stabw	2,43	5,23	0,59	1,15	3,48	7,43	2,38	6,22
F12	Winkel	177,7	178,0	177,8	173,8	171,6	173,5	173,4	177,3
	Stabw	2,06	1,48	1,10	4,13	5,72	5,22	4,17	4,63
Diplomandin									
M3		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	180	178	180	173	174	180,5	178	181
	Stabw	0	0	0	0	1	0,5	0	0
F2	Winkel	na							
	Stabw								
F3	Winkel	175	186	175,5	184	178,5	181	176	180
	Stabw	0	0	3,5	0	9,5	2	5,66	12,08
F4	Winkel	175	179	178,7	178	170,3	175,5	175,7	178
	Stabw	0	0	0,47	5,1	4,99	5,35	2,95	3,5
F5	Winkel	178	176,3	179	177	171	176,5	171,7	173,7
	Stabw	0	8,06	0	2	1	0,5	3,6	5,25
F6	Winkel	178	173	181	168,5	170,7	172	178,3	173,7
	Stabw	0	0	1	0,5	2,05	4,11	8,73	7,79
F7	Winkel	177	179	180	178,5	177	177,7	180	178
	Stabw	0	0	0	0,5	4,9	2,49	0	1
F8	Winkel	180	177	179	178,5	177,7	172,7	173	179,5
	Stabw	0	0	0	2,5	1,25	0,47	2	3,5
F9	Winkel	178	178,5	180	174	176,5	176	173,5	178
	Stabw	1,63	2,29	0	0	4,5	1	5,5	2
F10	Winkel	177	180	180,3	174,5	181,5	179,5	167	170
	Stabw	0	0	0,83	1,12	1,5	1,5	5,12	2,28
F11	Winkel	178	175	180	166	173,3	179	177	181,3
	Stabw	0	0	0	0	2,62	1,41	2,45	1,7
F12	Winkel	177	178	179,3	174,8	169,5	177,8	173,3	177,3
	Stabw	0,5	1	0,47	3,03	5,55	3,77	2,59	1,3

Betreuerin									
M4		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	175,4	180,1	176,7	159,3	171,2	177,4	174,7	170,0
	Stabw	1,65	2,38	0,34	3,02	3,00	4,74	2,33	6,74
F2	Winkel	177,0	178,0	177,6	172,5	170,5	176,5	176,2	172,2
	Stabw	0,71	1,06	0,40	4,11	7,86	2,74	1,91	1,76
F3	Winkel	177,2	173,6	178,9	175,3	176,9	179,3	170,6	177,2
	Stabw	1,45	3,42	0,95	4,14	4,96	4,05	2,83	5,43
F4	Winkel	174	175,6	176,4	176,6	176,9	176,0	176,0	172,0
	Stabw	0	1,35	2,29	0,69	0,43	1,78	0,23	0,67
F5	Winkel	175,8	177,5	175,9	174,3	172,5	176,8	176,0	179,4
	Stabw	2,68	2,87	2,61	3,08	1,55	2,29	5,11	10,71
F6	Winkel	175,2	174,1	176,5	172,1	169,2	176,5	170,9	171,8
	Stabw	1,04	2,83	2,11	3,61	6,03	4,59	1,49	4,29
F7	Winkel	173,7	173,9	175,8	174,5	173,9	174,1	170,6	176,9
	Stabw	2,88	4,33	1,75	4,22	8,51	5,50	4,41	5,11
F8	Winkel	177,6	175,5	180,0	176,4	177,9	174,7	164,7	171,8
	Stabw	0,2	3,4	2,0	3,7	9,9	7,4	2,2	6,8
F9	Winkel	na							
	Stabw								
F10	Winkel	178,0	184,7	175,2	170,0	178,6	175,0	172,8	172,6
	Stabw	2,16	1,07	2,18	1,70	1,72	1,60	2,91	2,40
F11	Winkel	176,4	175,0	177,2	168,3	173,6	183,2	177,3	172,2
	Stabw	1,93	2,71	0,88	0,21	4,07	1,65	1,27	5,34
F12	Winkel	178,0	177,0	176,4	174,6	166,8	173,2	171,4	170,8
	Stabw	1,69	2,72	1,23	2,76	4,55	0,15	2,27	2,46
Diplomandin									
M4		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	178	185,5	173	174,7	172	179	176,7	176
	Stabw	1,63	7,13	6	11,15	2,36	2,16	2,87	1,41
F2	Winkel	179	178,5	181	176	169,7	174	173,5	178,5
	Stabw	0	2,5	0	3	4,71	3,74	3,5	0,5
F3	Winkel	177	173,5	180,5	181	175	173	173,3	179,7
	Stabw	0	3,5	0,5	1	1	2	0,47	1,7
F4	Winkel	181	173	180,5	174,5	177	179	174	176,5
	Stabw	0	0	0,5	0,5	0	0	1	1,5
F5	Winkel	178,8	179	177,5	174,5	173,8	178,5	175,8	176,8
	Stabw	1,92	3,61	0,5	1,5	1,79	3,57	2,71	4,31
F6	Winkel	177,7	172	178	171,7	175,7	173,7	174	174,7
	Stabw	0,47	1,41	0	3,77	4,19	4,03	1,41	1,25
F7	Winkel	179,5	173	179	179,5	175,5	178,5	173	176,3
	Stabw	1,5	2	0	2,5	2,5	0,5	0,82	1,7
F8	Winkel	180	178	180	179	177,3	172,3	172,7	177,3
	Stabw	0	0	0	0,5	2,87	1,7	4,11	3,09
F9	Winkel	na							
	Stabw								
F10	Winkel	179,5	183	180,5	176	180	180	173,8	174,3
	Stabw	1,5	1	1,5	3	0	2,87	3,96	3,96
F11	Winkel	179	177,5	na		171	176	175	179,3
	Stabw	0	2,5			0	0	1,58	3,34
F12	Winkel	178,7	174,3	180	179,5	166,7	175	171	176,5
	Stabw	0,47	0,47	0,00	0,50	2,05	2,16	2,00	1,50

Betreuerin									
M5		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	179,6	175,2	178,4	170,5	170,8	177,5	176,1	171,9
	Stabw	0,29	0,29	1,92	2,62	2,04	3,51	2,87	1,59
F2	Winkel	178,0035	177,8	175,8	173,4	172,7	177,2	172,2	172,3
	Stabw	0,21	0,51	2,52	2,36	0,85	1,71	0,81	2,06
F3	Winkel	177,4	178,9	178,2	181,7	178,3	180,6	175,4	178,9
	Stabw	2,25	4,75	2,10	3,27	5,77	4,90	4,00	5,98
F4	Winkel	177,0	179,6	178,7	164,8	174,8	174,5	174,6	174,0
	Stabw	0	0	0	0	2,29	1,84	1,35	3,28
F5	Winkel	176,9	182,0	180,5	163,7	173,3	178,6	172,9	171,8
	Stabw	1,90	7,47	2,07	4,42	4,31	7,37	3,36	4,67
F6	Winkel	178,5	177,7	176,7	171,1	175,5	179,3	174,8	174,0
	Stabw	0,62	1,64	1,28	3,05	1,93	4,49	1,59	2,40
F7	Winkel	177,0	180,8	177,7	177,3	177,447	176,2	170,8657	173,4
	Stabw	1,72	3,32	3,68	3,69	7,46	3,09	8,230472	7,06
F8	Winkel	176,7	176,4	177,9	173,4	170,7	174,3	171,8	171,9
	Stabw	1,7	4,0	0,8	2,5	4,0	3,7	3,3	2,5
F9	Winkel	na							
	Stabw								
F10	Winkel	178,2	176,8	178,8	176,9	178,6	173,8	173,4	169,8
	Stabw	1,02	0,47	0,83	1,72	1,85	4,92	1,92	3,97
F11	Winkel	173,1	176,8	179,2	171,3	175,8	180,8	171,4	173,4
	Stabw	0,19	1,87	1,35	2,63	2,46	4,10	4,00	3,77
F12	Winkel	178,5	175,0	177,1	171,3	170,4	170,7	173,4	171,1
	Stabw	3,07	3,84	2,12	5,86	3,05	6,22	2,36	2,48
Diplomandin									
M5		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	176,5	181,5	178,8	175	180	170,2	175,2	176,6
	Stabw	4,5	4,5	1,09	2,24	1,47	3,41	0,4	1,2
F2	Winkel	180	175	178	174	174	177	171	174
	Stabw	0	0	2	2	1,63	2,83	1	1,5
F3	Winkel	178,5	174,5	179,5	178	172	170	172	183
	Stabw	1,5	2,5	0,5	2	1	3,5	0	0
F4	Winkel	178	178	180	174	170,5	174	174,5	178,8
	Stabw	0	0	0	0	0,5	0	1,5	1,48
F5	Winkel	179	174	180	171	171	176,3	171	170,5
	Stabw	0	0	0	0	2,94	4,92	6	0,5
F6	Winkel	179	171	179,5	169,5	175,5	176,3	174,5	178
	Stabw	0	0	1,5	3,5	1,12	2,17	0,5	0
F7	Winkel	179	178	181	177,5	177	178	176	180
	Stabw	0	0	1	1,5	0,5	1	1	1
F8	Winkel	178	176	180	175	178,8	170,3	173,8	175
	Stabw	2	2	0	0	0,83	2,95	1,79	1,87
F9	Winkel	na							
	Stabw								
F10	Winkel	178,5	177,5	180	178,3	177,2	176	172,8	173,2
	Stabw	0,87	2,6	0	1,25	3,87	4,82	1,94	0,75
F11	Winkel	176	178	181	174,5	174	178,5	169,5	178,5
	Stabw	0	0	0	3,5	0	0,5	2,5	2,5
F12	Winkel	178,5	177,3	180	172	169,7	170	171,3	176,3
	Stabw	1,5	0,94	0	2	0,94	1,63	1,09	0,83

Betreuerin									
M6		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	177,9	179,2	177,9	173,9	170,8	177,1	178,6	177,7
	Stabw	2,28	2,74	0,86	0,77	2,70	2,88	2,99	3,78
F2	Winkel	175,4	177,8	179,6	171,1	168,5	173,4	171,8	172,6
	Stabw	3,26	1,36	0	0	2,82	1,54	3,28	2,50
F3	Winkel	175,9	177,4	176,0	176,6	173,9	175,5	173,4	174,3
	Stabw	1,00	1,76	1,01	2,34	3,41	2,12	3,44	4,32
F4	Winkel	177,8	177,0	177,4	176,8	174,3	183,5	171,5	171,4
	Stabw	1,15	2,08	1,21	1,73	0,35	3,83	3,63	2,24
F5	Winkel	179,2	176,0	178,8	177,3	175,9	179,3	170,5	175,1
	Stabw	0,56	0,61	0,43	0,11	2,40	1,50	1,35	2,58
F6	Winkel	176,3	176,6	177,4	174,6	175,0	173,3	174,3	171,8
	Stabw	1,71	2,71	2,42	2,95	1,06	2,51	1,95	4,87
F7	Winkel	177,1	176,7	178,0	179,2	179,9	176,9	173,9	176,8
	Stabw	1,50	3,51	2,03	2,38	5,05	0,87	0,77	1,14
F8	Winkel	175,4	175,3	176,5	172,0	179,6	180,2	174,8	174,3
	Stabw	2,6	2,4	2,0	5,1	9,6	8,4	2,6	7,3
F9	Winkel	176,6	175,6	177,6	177,5	177,4	177,0	170,1	173,2
	Stabw	2,45	3,08	3,55	1,84	7,16	0,81	7,02	7,54
F10	Winkel	175,2	180,6	176,6	176,8	179,3	176,0	172,8	171,2
	Stabw	1,30	3,42	2,46	3,73	3,50	2,22	2,13	4,50
F11	Winkel	175,3	179,5	180,0	174,6	177,0	185,3	176,7	180,0
	Stabw	0,80	3,50	2,03	3,47	1,58	3,03	1,90	7,47
F12	Winkel	175,5	174,3	180,0	173,3	174,2	179,9	172,5	173,1
	Stabw	1,18	4,58	2,72	2,76	1,54	4,56	3,42	3,63
Diplomandin									
M6		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	180,5	180	179,5	176	169,6	177,6	178,5	182,8
	Stabw	1,41	1,63	1,5	1,25	1,5	2,42	1,94	2,71
F2	Winkel	180	173	181	171	171,3	179,7	176	179,5
	Stabw	0	0	0	0	2,36	3,68	0	0
F3	Winkel	178,3	176,3	178	177,5	174	173,7	173,7	182,3
	Stabw	0,94	0,94	3	2,5	2,16	1,7	2,49	1,25
F4	Winkel	180	179	181	177,7	na		173	180
	Stabw	0	0	0,82	1,25			0	0
F5	Winkel	178	178,5	180,5	176	170,5	181	170	177,3
	Stabw	0	0	0,5	1	1,5	2,16	0,82	1,7
F6	Winkel	177,5	175	181	177	174	173	176,5	178,5
	Stabw	0,5	2,16	0	0	1,41	2,45	1,8	1,12
F7	Winkel	na		181,3	179,7	175	178,5	177	176,5
	Stabw			0,47	1,25	1	1,5	1	0,5
F8	Winkel	178,7	177	181,2	176,6	175	174,7	174,2	179
	Stabw	0,47	2,16	0,4	1,74	0,82	1,89	2,14	1,1
F9	Winkel	177,5	175	181	173	175,3	176,3	174	176
	Stabw	1,5	1	0	1	1,89	0,47	0	0
F10	Winkel	na		180	178	177,3	177,7	175,5	175
	Stabw			0	0	2,87	0,47	0,5	0
F11	Winkel	177,5	178,5	180	178,5	176	185,7	175,8	179,6
	Stabw	0,5	0,5	0,82	1,5	2,45	0,94	2,56	4,32
F12	Winkel	176,5	174,3	180	178,5	175,7	178	173	177,5
	Stabw	0,87	4,49	1	1,5	2,49	3,27	2,74	1,66

Betreuerin									
M7		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	177,2	178,7	177,5	175,9	172,2	174,7	173,4	179,7
	Stabw	1,28	0,28	1,84	2,61	4,44	4,23	1,85	5,31
F2	Winkel	176,9	175,8	174,3	172,6	167,4	174,4	172,1	176,8
	Stabw	2,40	1,61	1,52	0,74	3,63	1,83	2,75	2,24
F3	Winkel	178,3	176,6	177,3	176,7	175,5	178,1	172,5	171,9
	Stabw	0,56	2,21	1,40	2,00	2,57	3,46	2,52	2,93
F4	Winkel	177,9	174,1	176,7	173,5	173,1	178,4	172,0	175,9
	Stabw	1,93	4,44	1,00	0,54	0,30	2,10	4,99	2,39
F5	Winkel	172,9	176,3	175,4	174,7	171,7	179,9	173,0	179,1
	Stabw	2,11	1,43	0	0	4,04	2,50	1,69	3,92
F6	Winkel	177,8	182,8	178,4	170,5	174,6	182,1	173,2	174,0
	Stabw	0,24	7,11	0,97	4,01	5,39	5,54	3,43	4,61
F7	Winkel	176,0	179,5	177,8	173,5	181,0	183,7	161,8	172,8
	Stabw	1,18	3,34	0,55	2,57	7,56	5,89	6,28	3,67
F8	Winkel	177,2	176,0	178,3	174,0	176,7	177,5	168,1	177,1
	Stabw	1,4	2,8	1,9	3,6	4,5	3,1	3,4	3,5
F9	Winkel	175,7	175,1	177,3	179,8	179,7	180,5	174,8	175,9
	Stabw	1,92	2,06	1,77	2,35	8,67	4,68	2,41	2,65
F10	Winkel	176,7	174,6	177,5	175,2	177,0	175,5	168,9	169,3
	Stabw	2,70	5,26	1,48	2,06	1,77	4,07	4,57	1,98
F11	Winkel	175,6	179,5	177,4	178,9	179,5	183,5	179,1	181,2
	Stabw	2,42	2,02	0,82	2,19	3,49	2,20	4,24	3,74
F12	Winkel	176,7	178,0	177,7	174,8	172,8	174,9	174,0	172,8
	Stabw	0,97	8,62	1,46	3,84	2,58	3,70	1,53	6,73
Diplomandin									
M7		links vorne		rechts vorne		links hinten		rechts hinten	
		Karpus	Fessel	Karpus	Fessel	Tarsus	Fessel	Tarsus	Fessel
F1	Winkel	178,7	177,7	176	177	173	178	173,5	180,3
	Stabw	0,94	1,25	0	4	2,94	2,94	1,12	1,48
F2	Winkel	178,3	176,8	176	180	173	174,8	174,5	179,5
	Stabw	1,7	1,92	0	0	9,41	3,77	1,66	1,12
F3	Winkel	178,3	174,3	181	176,7	173,7	177,7	175	177,8
	Stabw	0,83	3,57	1,22	1,92	0,75	0,8	2,17	2,06
F4	Winkel	177	179	182	178	171,5	179,5	174,5	178,5
	Stabw	0	0	0	0	4,5	3,5	1,5	1,5
F5	Winkel	176,3	177	179	175	173,8	178,8	174,3	182,3
	Stabw	0,47	1,73	0	0	1,25	2,49	0,9	2,87
F6	Winkel	178	178	178	175	176,3	176,3	174,3	172,7
	Stabw	0	0	0	0	1,25	6,34	3,68	4,78
F7	Winkel	177	181	177,7	176	174,5	176,5	168,5	176,5
	Stabw	0,82	2,35	2,05	0,82	2	4	1,25	1,41
F8	Winkel	178,3	175,5	179,5	178,7	176,4	178	173	179,4
	Stabw	0,5	1,12	0,5	3,09	2,8	2,83	2	0,8
F9	Winkel	179	174,8	179,5	179,5	174,7	175,7	176,8	180,8
	Stabw	0	2,49	1,5	1,5	3,86	2,49	1,94	1,09
F10	Winkel	177,3	179,7	182	176	176,3	175	175	175
	Stabw	1,63	1,41	0	0	1,25	2,16	1,63	1,41
F11	Winkel	178	176,5	178,7	184,3	179,3	187,7	177,8	183,8
	Stabw	0	0,5	1,25	1,25	1,25	3,77	4,15	4,97
F12	Winkel	177,5	181	177,7	174,7	176	179	na	176
	Stabw	4,5	5	1,25	4,5	0	1		0

11.2. Auflistung der Ergebnisse der Videobeurteilung

Ergebnisse der Videobewertung der Betreuerin und der Diplomandin; die Winkel wurden jeweils von lateral aus bewertet, das heißt ein Winkel unter 180° bedeutet eine Carpus/Tarsus valgus bzw. zehenweite Stellung und ein Winkel über 180° bedeutet Carpus/Tarsus varus bzw. zehenenge Stellung.

Legende: M1 – M7 = Messzeitpunkt 1 – 7, VEX = Vorderextremitäten, HEX = Hinterextremitäten, CV = Carpus valgus/varus, TV = Tarsus valgus/varus

11.2.1. Ergebnisse der Videobewertung der Betreuerin

Fohlen 1		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX	li re							
CV		175		180				
Fessel		175		175				
HEX								
TV		175		180				
Fessel		175		180				
Fohlen 2		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX								
CV					180			
Fessel					180			
HEX								
TV					175			
Fessel					175			
Fohlen 3		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX					li re			
CV		170	175			175		
Fessel		175	175			180 185		
HEX								
TV		175	180			180		
Fessel		175	180			180 185		
Fohlen 4		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX								
CV						180		
Fessel						175		
HEX								
TV						180		
Fessel						175		

Fohlen 5	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV					180		
Fessel					180		
HEX							
TV					180		
Fessel					180		
Fohlen 6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV		175					
Fessel		175					
HEX							
TV		180					
Fessel		175					
Fohlen 7	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX					li re		
CV					180	180	
Fessel					180	185	175
HEX							
TV					180	180	
Fessel					180	185	180
Fohlen 8	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV	175						
Fessel	175						
HEX							
TV	175						
Fessel	175						

Fohlen 9	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX		180					
CV		175					
Fessel							
HEX							
TV		180					
Fessel		180					
Fohlen 10	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV			180				180
Fessel			180				180
HEX							
TV			180				180
Fessel			180				175
Fohlen 11	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV	175						180
Fessel	175						180
HEX							
TV	175						175
Fessel	175						180
Fohlen 12	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX							
CV				175			
Fessel				175			
HEX							
TV				180			
Fessel				175			

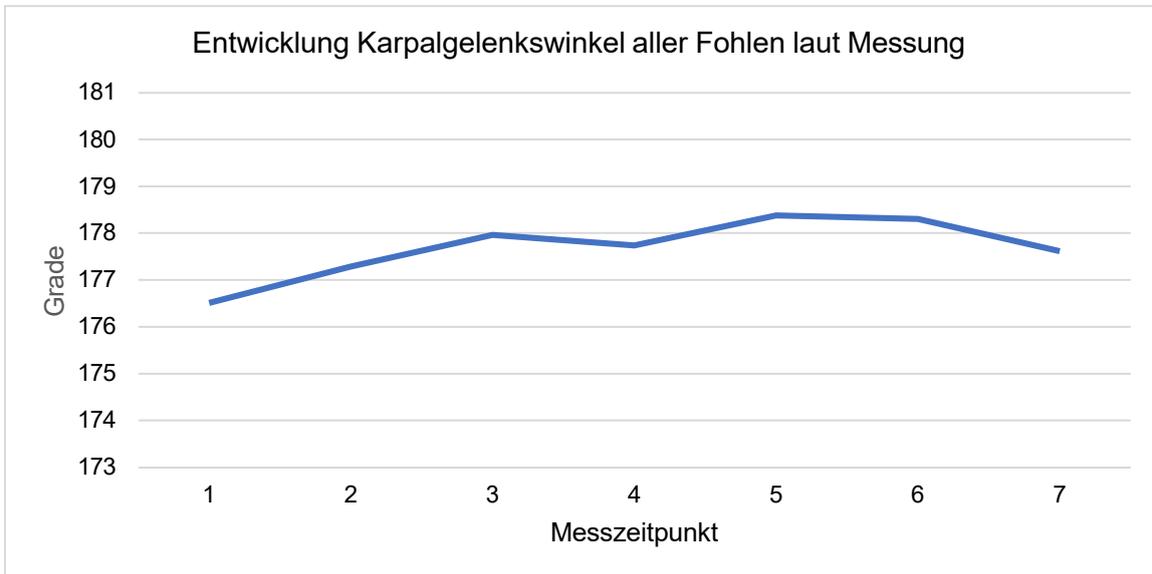
11.2.2. Ergebnisse der Videobewertung der Diplomandin

Fohlen 1	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7
	x												
VEX													
CV	175		180		180		180		180		180		180
Fessel	175		175		180		180		175		180		180
HEX													
TV	175		175		175		175		175		175		175
Fessel	175	180	185		180		180		180		185		185
Fohlen 2	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7
					na		x						
VEX													
CV	180		175				180		180		180		180
Fessel	175		175				175		180		180		180
HEX													
TV	175		175				175		175		175		175
Fessel	180		175				175		175		180		180
Fohlen 3	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7
			x						x				
VEX													
CV	170		175		175		175		180		175		180
Fessel	180		180		180		180		180		180		180
HEX													
TV	175		175		175		175		175		175		175
Fessel	185		185		185		185		185		180		180
Fohlen 4	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7
									x				
VEX													
CV	175		175		175		175		175		180		180
Fessel	180		175		180		175		175		180		180
HEX													
TV	175		175		175		175		175		175		175
Fessel	180		175		180		175		180		180		180

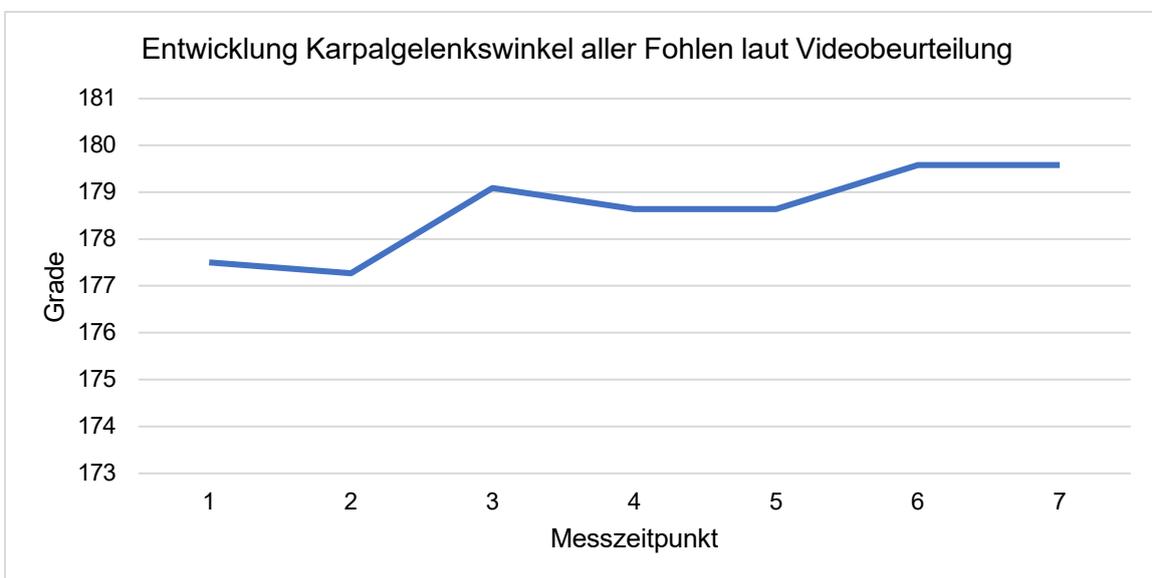
Fohlen 5		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
VEX	li	re	li	re				
CV		180	180	180	180	180	180	180
Fessel		175	185	180	175	175	180	175
HEX								
TV		175	175	175	175	175	175	175
Fessel		180	185	180	180	180	180	180
Fohlen 6		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
			x					
VEX	li	re						
CV		175	175	180	175	180	180	180
Fessel		175	175	175	175	175	180	180
HEX								
TV		175	180	175	180	180	175	180
Fessel	180	175	175	180	175	175	180	180
Fohlen 7		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
			na			x		
VEX								
CV		180		180	180	180	180	175
Fessel		175		180	180	180	180	180
HEX								
TV		175		180	180	180	180	180
Fessel		180		180	180	180	180	185
Fohlen 8		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
		x						
VEX								
CV		175	180	180	180	180	180	180
Fessel		180	175	180	180	180	180	180
HEX								
TV		175	175	175	175	175	175	175
Fessel		175	175	180	180	180	180	180

Fohlen 9		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
					na	na		
VEX	li re							
CV		175	180	180			180	180
Fessel		175	175	175			175	180
HEX								
TV		175	180	180			180	180
Fessel		175	180	175			180	180
Fohlen 10		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
								x
VEX								
CV		175	180	180	180	180	180	180
Fessel		175	180	180	180	180	180	180
HEX								
TV		180	180	180	180	175	175	175
Fessel		175	175	180	175	175	175	175
Fohlen 11		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
	x							
VEX								
CV		175	175	180	175	175	180	180
Fessel		175	180	180	175	175	185	185
HEX								
TV		175	175	175	175	180	180	175
Fessel		180	180	180	180	180	185	185
Fohlen 12		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
					x			
VEX								
CV		175	175	180	180	175	180	180
Fessel		175	175	180	175	175	180	180
HEX								
TV		175	175	175	175	175	175	175
Fessel		175	175	180	175	175	180	180

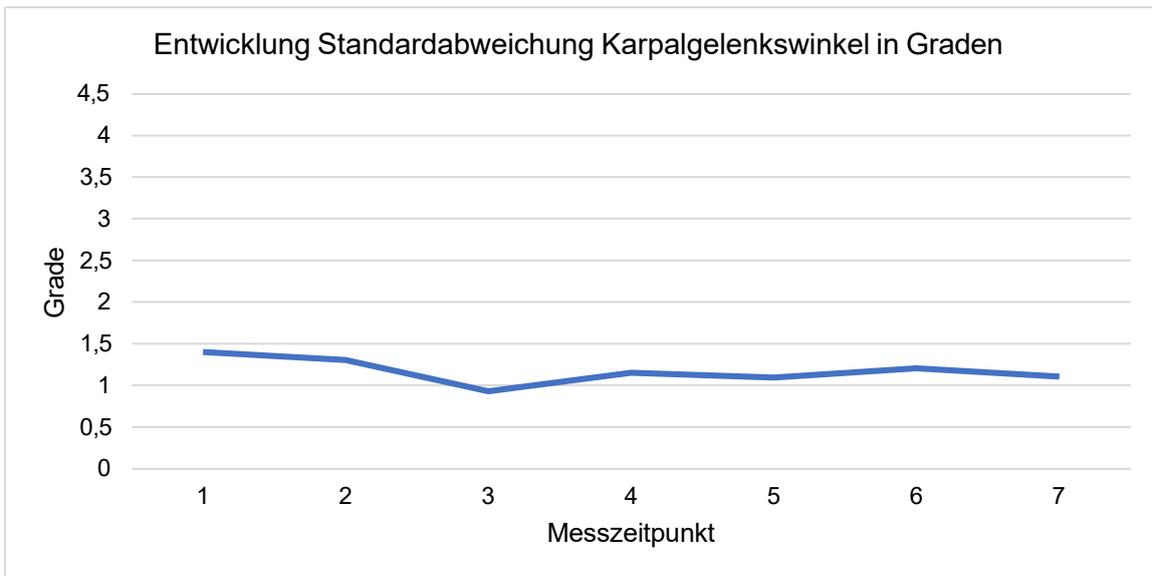
11.3. Grafische Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte der Gelenkwinkelungen und Standardabweichungen für jedes Gelenk



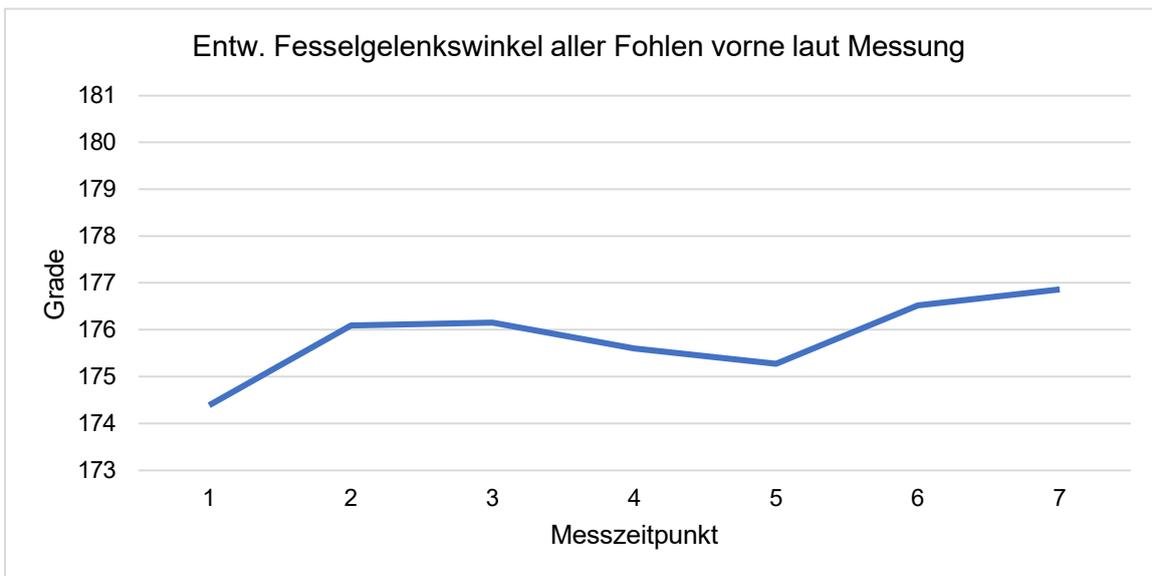
grafische Darstellung des Mittelwerts der Messergebnisse der Karpalgelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



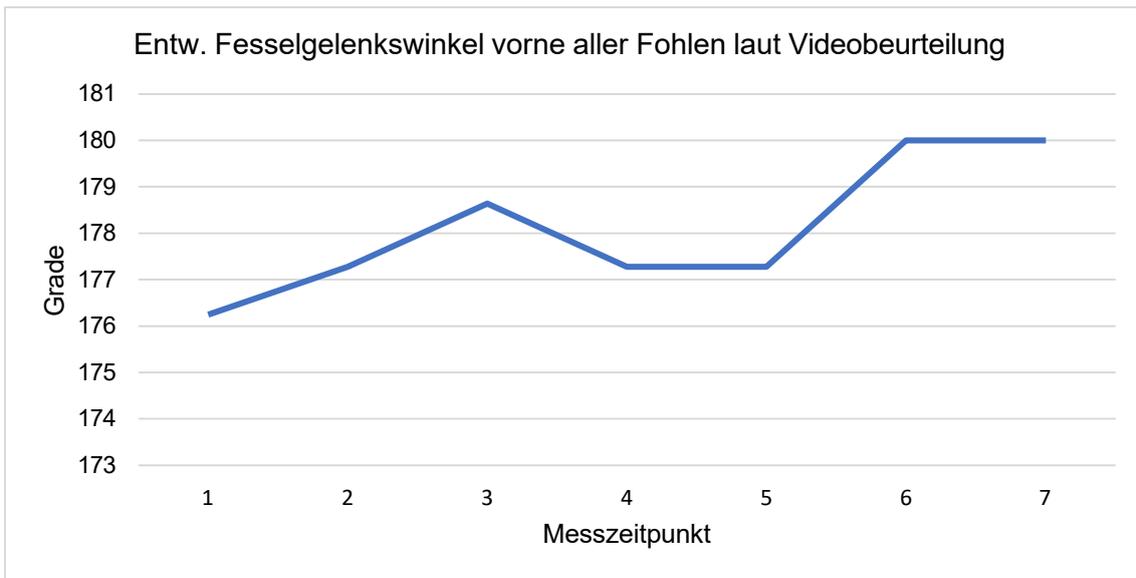
grafische Darstellung des Mittelwerts der Ergebnisse der Videobeurteilung der Karpalgelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



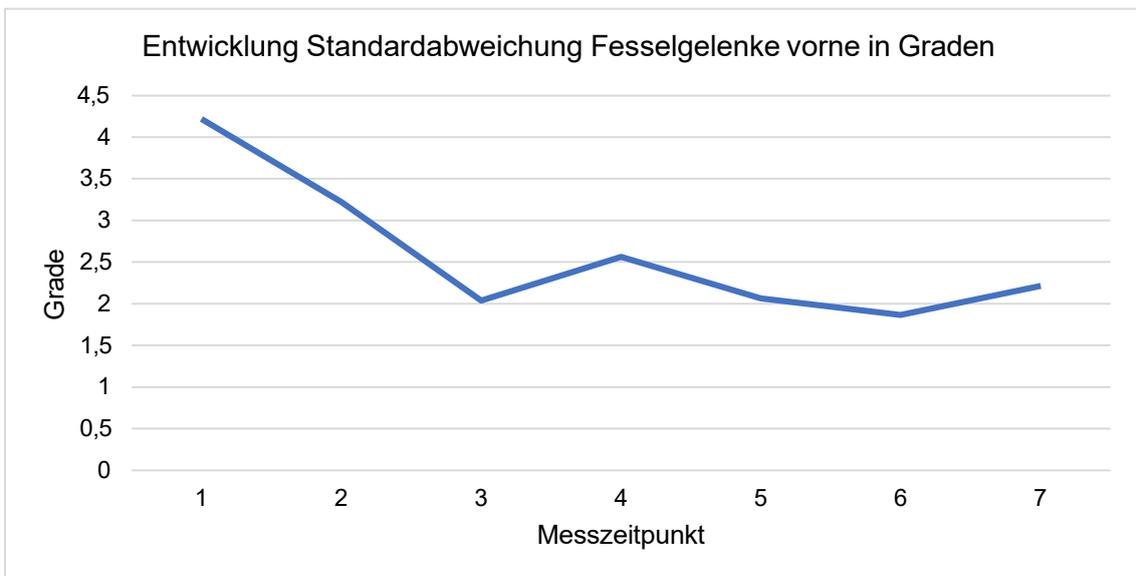
grafische Darstellung des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse aller Karpalgelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



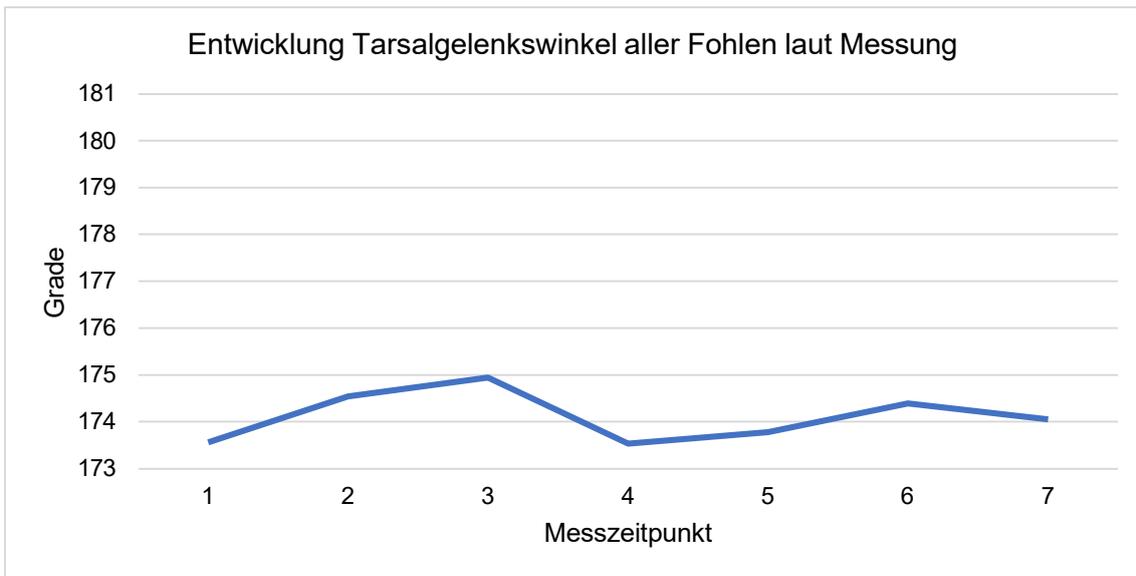
grafische Darstellung des Mittelwerts der Messergebnisse der Fesselgelenkwinkel vorne aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



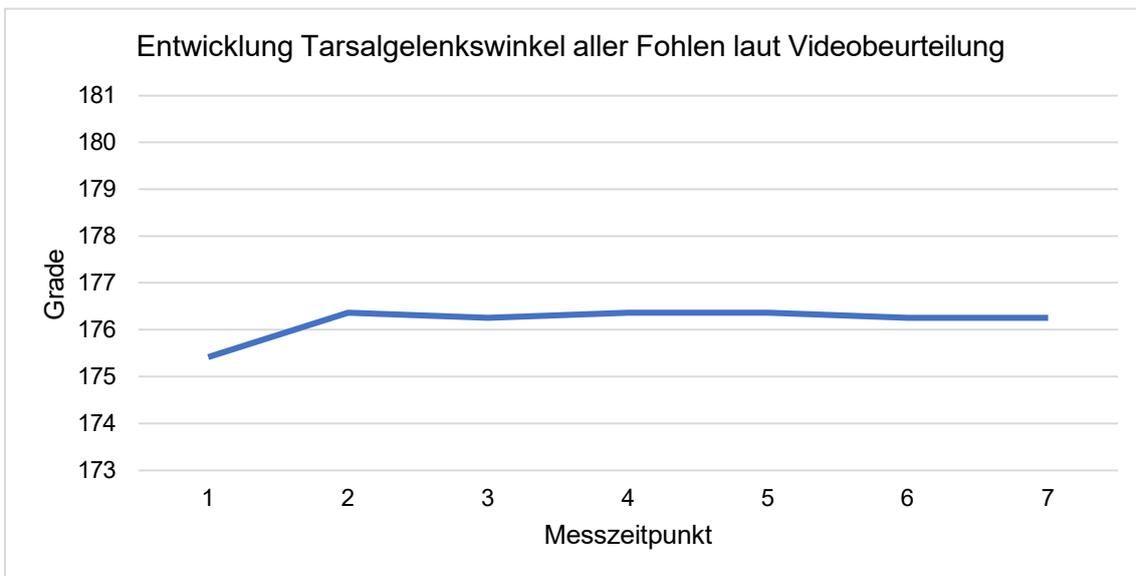
grafische Darstellung des Mittelwerts der Ergebnisse der Videobeurteilung der Fesselgelenkwinkel vorne aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



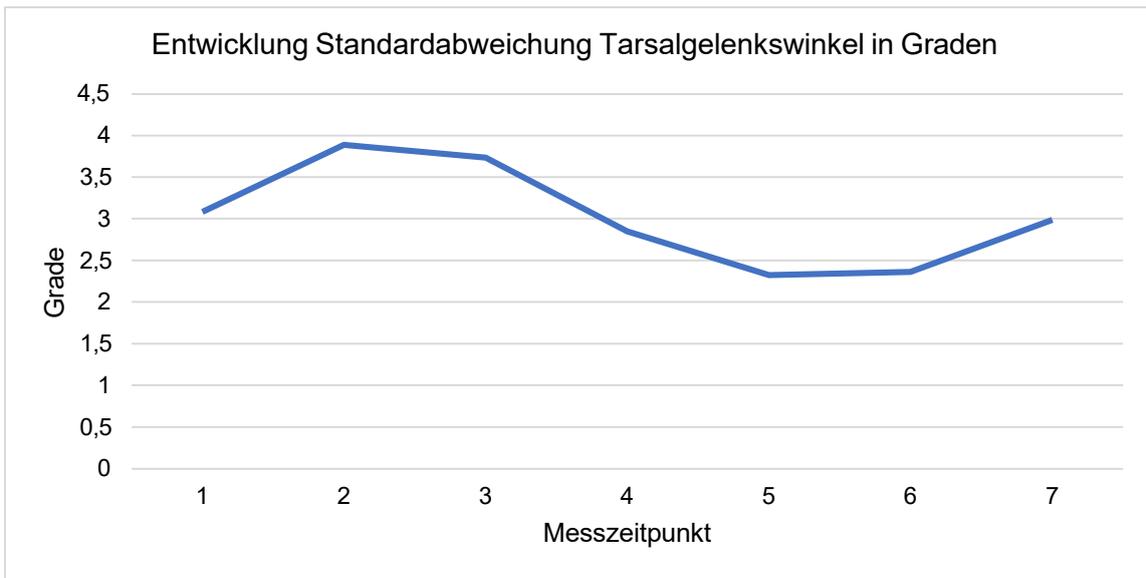
grafische Darstellung des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse der Fesselgelenkwinkel vorne aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



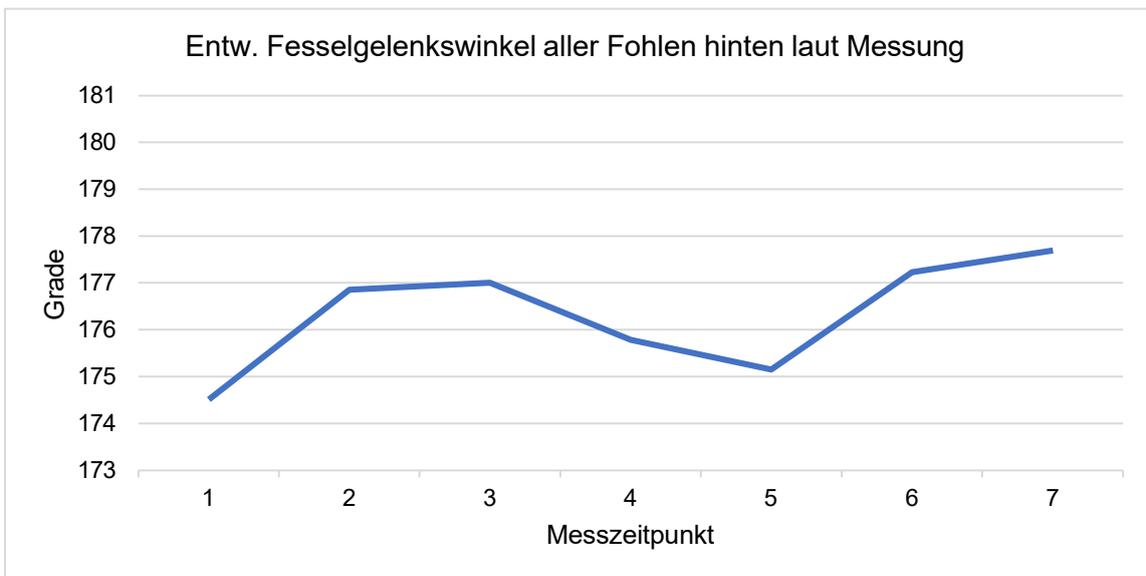
grafische Darstellung des Mittelwerts der Messergebnisse der Tarsalgelenkswinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



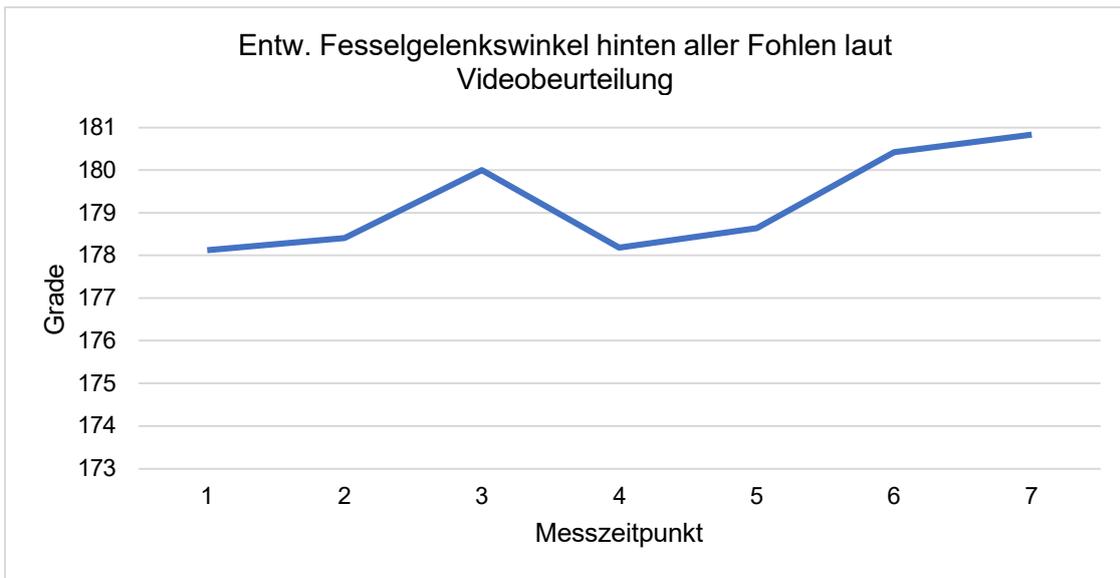
grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Ergebnisse der Videobeurteilung der Tarsalgelenkswinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



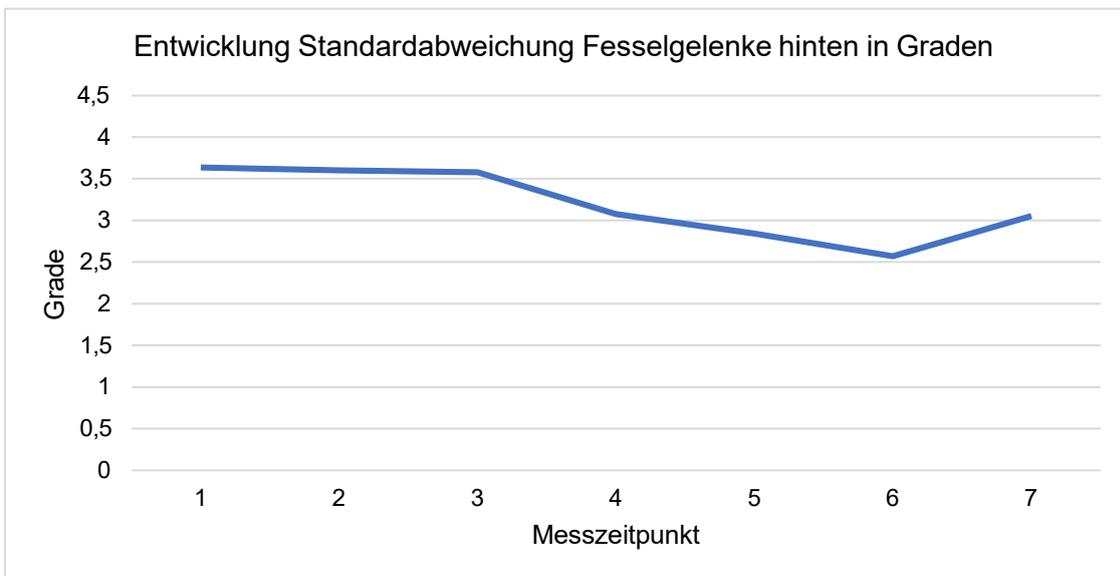
grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse der Tarsalgelenkwinkel aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



grafische Darstellung der Entwicklung des Mittelwerts der Messergebnisse der Fesselgelenkwinkel hinten aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



grafische Darstellung des Mittelwerts der Ergebnisse der Videobeurteilung der Fesselgelenkwinkel hinten aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7



grafische Darstellung des Mittelwerts der Standardabweichung der Messergebnisse der Fesselgelenkwinkel hinten aller Fohlen in Graden von Messzeitpunkt 1 bis 7