

**Lahmheitsdiagnostik beim Pferd mittels
Inertialsensortechnik an den vier Gliedmaßen -
Mensch oder Künstliche Intelligenz? -
ein neuer Ansatz in einer Pilotstudie**

von
Diana Maria Meklin

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

**Lahmheitsdiagnostik beim Pferd mittels
Inertialsensortechnik an den vier Gliedmaßen –
Mensch oder Künstliche Intelligenz? -
ein neuer Ansatz in einer Pilotstudie**

von

Diana Maria Meklin

aus Altötting

München 2022

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

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes

sowie für Gerichtliche Tiermedizin

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

Arbeit angefertigt am Lehrstuhl für Digital Health, FAU Erlangen-Nürnberg

Mentor: Prof. Dr. Oliver Amft

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

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

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Hermann Ammer
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Tag der Promotion: 30. Juli 2022

**Für
Meine Eltern,
Mario,
Alexa & Noumi**

I. Inhaltsverzeichnis I

| | | |
|-------------|---|-----|
| I. | Inhaltsverzeichnis | V |
| II. | Abkürzungsverzeichnis | VII |
| III. | Einleitung | 1 |
| IV. | Literaturübersicht | 2 |
| IV.1 | Definition von Lahmheit..... | 2 |
| IV.2 | Qualifizierung von Lahmheit..... | 2 |
| IV.3 | Quantifizierung von Lahmheit..... | 3 |
| IV.4 | Lahmheitsursachen | 4 |
| IV.5 | Lahmheitsuntersuchung: Adspektion/Untersuchung durch Tiermediziner:innen einschließlich Beugeproben..... | 4 |
| IV.6 | Diagnostische Anästhesien | 8 |
| IV.7 | Anwendungsmöglichkeiten einer elektronischen Lahmheitsdiagnostik für den/die Veterinär:in | 11 |
| IV.7.1 | Kinetik und Bodenreaktionskräfte | 11 |
| IV.7.2 | Kinematik und Videoanalyse..... | 14 |
| IV.7.3 | Kinematik und körpergetragene Sensoren..... | 17 |
| IV.7.4 | EquuSense®-System by EquuSys Inc. (Universität Massachusetts)..... | 18 |
| IV.7.5 | Equimetrix®-System (Evry, Frankreich) | 19 |
| IV.7.6 | Lameness Locator® – Equinosis® (Universität Missouri) | 20 |
| IV.7.7 | EquiGait® - System..... | 23 |
| IV.7.8 | Q-Horse® - System | 24 |
| V. | Material und Methode: Untersuchungen zur Bestätigung der (Nicht-)Funktionstüchtigkeit des „Sensorbasierten KI-Systems“ mit entsprechender Fallzahl und standardisiertem Vorgehen | 27 |
| V.1 | Vorstellung des „Sensorbasierten KI-Systems“ der Universität Passau/ FAU Erlangen- Nürnberg (Größe, Software, Anwendung)..... | 27 |
| V.2 | Benötigtes Material und Untersuchungsbedingungen | 30 |
| V.3 | Untersuchungsschritte..... | 33 |
| V.4 | Auswertung der Daten..... | 34 |
| V.5 | Zuteilung eines Lahmheitsgrades..... | 36 |

Inhaltsverzeichnis II

| | |
|--|----|
| VI. Ergebnisse | 38 |
| VI.1 Genauere Auflistung der Probanden, Einteilung in Gruppen..... | 38 |
| VI.2 Ergebnisse der Pilotstudie – Einteilung nach vorgekommenen Lahmheitsgraden und Lokalisationen | 46 |
| VI.3 Vergleich der Untersuchenden | 49 |
| VI.3.1 Einigkeit bezüglich des Lahmheitsgrades aller Durchgänge..... | 49 |
| VI.3.2 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im rechts/links–Vergleich der Vordergliedmaßen | 51 |
| VI.3.3 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im rechts/links-Vergleich der Hintergliedmaßen | 52 |
| VI.3.4 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen | 52 |
| VI.3.5 Unterschiede in der Einigkeit bei höheren und niedrigeren Lahmheitsgraden..... | 53 |
| VI.4 Vergleich der Untersuchenden mit der „KI“ | 55 |
| VI.4.1 Auswertung der Sensordaten..... | 55 |
| VI.4.2 Bestimmung der Trefferquote des vorgestellten Systems..... | 56 |
| VII. Diskussion | 58 |
| VIII. Zusammenfassung | 72 |
| IX. Summary | 74 |
| X. Literaturverzeichnis | 76 |
| XI. Abbildungsverzeichnis | 78 |
| XII. Tabellenverzeichnis | 81 |
| XIII. Anhang | 82 |
| XIII.1 Studienprotokoll und Einverständniserklärung..... | 82 |
| XIII.2 Detaillierte tabellarische Übersicht über die Untersuchungsergebnisse | 86 |
| XIII.3 Danksagung..... | 92 |

II. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|---|
| AAEP | American Association of Equine Practitioners |
| hgr./mgr./ggr. | hoch-/mittel- und geringgradig |
| vGRF/vGFR | vertical ground reaction forces |
| pVGRF | peak vertical ground reaction force |
| H4P | Hohe 4-Punkt-Anästhesie |
| T4P | Tiefe 4-Punkt-Anästhesie |
| TPA1/2 | Tiefe Palmarnervenanästhesie 1 und 2 |
| Tab. | Tabelle |
| fps | feet per second |
| unbek. | unbekannt |
| Acc | Accelerometer |
| Gyr | Gyroskop |
| Mag | Magnetometer |
| GIT | Gastrointestinaltrakt |
| Temp | Temperatur |
| LH | Lahmheit |
| Anm. | Anmerkung |
| Hz | Hertz |
| ms | millisekunden |
| IMU | Inertial Measurement Unit |
| bzw. | beziehungsweise |
| ggf. | gegebenenfalls |
| G-Kanülen | Gauge-Kanülen, Messeinheit für Außendurchmesser von Kanülen |
| KSI | Kinematische Symmetrie-Indizes |
| sog. | sogenannt(e) |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|--|
| WiFi | Firmenkonsortium, hier: Synonym zu WLAN: wireless local area network |
| GPS | Global Positioning System |
| IRF | Intelligent Resilient Framework |
| HDMax/HDMin | Hip Displacement maximal/minimal |
| et al. | et altera |
| SLU | Swedish University of Agricultural Sciences |
| GmbH | Gesellschaft mit beschränkter Haftung |
| Oqus | Markenname |
| Rö | Röntgen |
| MRT | Magnetresonanztomographie |
| CT | Computertomographie |
| FEI | Fédération Equestre Internationale |
| Diagn. | Diagnose |
| m | Meter |
| ca. | circa |
| Sync | Synchronisation |
| KI | Künstliche Intelligenz |
| IQR | interquartile range (Quartilsabstand) |
| AKU | Ankaufsuntersuchung |
| AI | Artificial Intelligence |
| EKG | Elektrokardiogramm |
| ELAN | Eigenname einer Transkriptionssoftware |
| Abb. | Abbildung |

III. Einleitung

„Wie man nämlich von einem Haus keinen Nutzen hätte, wenn es zwar einen sehr schönen Oberbau hätte, ohne daß jedoch die Fundamente den Anforderungen entsprächen, so würde man auch von einem Militärpferd keinen Nutzen haben, selbst dann nicht, wenn es alles sonst in gutem Zustand hätte, aber schlecht auf den Füßen stände“ meinte schon Xenophon in der Antike und betonte damit die hohe Relevanz der Gliedmaßen für das Pferd (Stoiser, 2017). Sowohl die Funktionstüchtigkeit der Beine als auch Lahmheiten als Symptom bei Pferden stellten damals wie heute ein großes Interessen- und Tätigkeitsfeld in der kurativen Praxis und in der Forschung dar. Man versuchte schon vor Christus, den schmerzhaften Bereich zu lokalisieren und einen Grund für die geringere oder fehlende Belastung der Gliedmaßen zu finden. Im Rahmen der damaligen Möglichkeiten bestand die Diagnostik jedoch hauptsächlich aus Adspektion, Palpation oder gar diagnostischer Sektion. Heute stehen uns dank jahrelanger Forschung viele Alternativen zur Verfügung. Adspektion in Ruhe und Bewegung sowie Palpation und Provokationsproben sind nach wie vor Bestandteile einer ordnungsgemäß durchgeführten Lahmheitsuntersuchung (Brehm et al., 2016, Hanbücken et al., 2014). Hinzu gekommen sind bis heute die Optionen diagnostische Anästhesie, radiologische Diagnostik sowie andere Bildgebungs- und auch Ganganalyseverfahren. Dabei finden besonders Videoanalysen, Verfahren mit Kraft- oder Druckmessplatten und moderne Sensortechnik Verwendung, die in den folgenden Kapiteln genauer beleuchtet werden sollen.

IMU-basierte Analyseverfahren, bei denen die Sensoren an diversen Stellen, vor allem proximal am Pferd, befestigt werden, finden weltweit Verwendung. Die folgende Studie zielt darauf ab, in einer Feldstudie herauszufinden, ob eine Sensorbefestigung an den vier unteren Gliedmaßen (Röhrbeinen) zu ähnlich zufriedenstellenden Ergebnissen führt. Zudem kommt, soweit der Autorin bekannt, im Unterschied zu bisherigen Systemen erstmals künstliche Intelligenz zur Einschätzung von Lahmheitsgraden zum Einsatz. Das neue System musste zu Beginn der Studie mit Hilfe der mittleren Einschätzung der tierärztlichen Gutachter:innen trainiert werden, um der Software Referenz-Lahmheitsgrade zu vermitteln. Im Anschluss wurde dann Künstliche Intelligenz genutzt, um randomisiert ausgewählte Pferde mit dem restlichen Probandenpool und deren Lahmheitsgraden zu vergleichen. Die vom System errechneten Lahmheitsgrade wurden so mit Hilfe dieser Technik weiter präzisiert und zukünftige neu untersuchte Pferde können in den bekannten Pool eingeordnet und einem bestimmten Lahmheitsgrad zugeordnet werden. Zudem wurden in der vorliegenden Pilotstudie die einzelnen tierärztlichen Gutachter:innen untereinander und mit dem KI-System verglichen.

IV. Literaturübersicht

IV.1 Definition von Lahmheit

Ursprünglich kommt das Wort „lam“ aus dem Althochdeutschen und bedeutet *schwach* oder *gebrechlich* (Duden 2020, „lahm“). „Lahmheit“ per definitionem „ist ein Zeichen für eine struktur- oder funktionsbedingte Störung, die eine oder mehrere Gliedmaßen betrifft und im Stand oder in Bewegung sichtbar wird.“ Laut Adams et al. wird sie „manchmal auch als Hinken bezeichnet“ (2008). Ross meint, dass Lahmheit einfach ein Symptom ist – eine Manifestation der Zeichen für Entzündung, einschließlich Schmerz oder eines mechanischen Defekts – das sich in einer Ganganomalie niederschlägt, die sich durch Lahmheit auszeichnet (Ross, 2011). Und Buchner wiederum definiert Lahmheit als Veränderung des normalen Gangs aufgrund einer funktionellen oder strukturellen Störung des Bewegungsapparates (Buchner, 2013).

IV.2 Qualifizierung von Lahmheit

Zunächst muss immer eine Qualifizierung der Lahmheit durch den Untersuchenden erfolgen. Dies beinhaltet auch eine Einschätzung, ob es sich um eine durch Schmerzen bedingte Lahmheit oder um eine Ganganomalie handelt, die ohne offensichtliche Lahmheit auftritt, wie z.B. der Hahnentritt oder die Fixierung der Patella (Ross&Dyson, 2003). Bei der Identifizierung und Lokalisierung von Lahmheiten sind sich auch erfahrene Praktizierende des Öfteren nicht einig (Keegan, 2011). Weiterhin gilt es zu beurteilen und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen, ob es sich bei der vorliegenden Bewegungsstörung um eine Stütz- oder Hangbeinlahmheit, um eine gemischte oder begleitende Lahmheit handelt (Adams et al., 2008). Ursächlich für eine Stützbeinlahmheit können beispielsweise „Schäden an Knochen, Gelenken, Seitenbändern oder motorischen Nerven“ oder auch Schäden „am Huf selbst“ sein (Adams et al., 2008). Ursächlich für eine Hangbeinlahmheit, die sich während des Vorführens der Gliedmaße zeigt, können pathologische Veränderungen an Gelenkkapseln, Muskeln, Sehnen, Sehnenscheiden oder Schleimbeutel sein. Gemischte Lahmheiten sind während der Stütz- und der Hangbeinphase zu erkennen und als Ursachen kommen somit alle bereits erwähnten Strukturen in Betracht (Adams et al., 2008). Als begleitende Lahmheit (compensatory lameness) wird eine solche bezeichnet, wenn sich „durch schmerzhafte Zustände an einer Gliedmaße eine ungleiche Gewichtsverteilung auf eine oder mehrere andere Gliedmaßen [ergibt], wodurch es dann zur Lahmheit an einer vorher gesunden Gliedmaße kommen kann“ (Adams et al., 2008).

IV.3 Quantifizierung von Lahmheit

Zur Quantifizierung von Lahmheiten bei Pferden haben sich mehrere Systeme etabliert, wobei die Einteilung in fünf Grade nach der AAEP (American Association of Equine Practitioners) als einzige offizielle Skala gilt (Dyson, 2011). Hier erfolgt eine Einteilung in einen der fünf Grade durch den Untersuchenden nach Vorführen des Pferdes in Schritt und Trab. Grad 0 entspricht einem nicht lahmen Pferd und Grad 5 einer höchstgradigen Lahmheit, bei der das Tier die Gliedmaße gar nicht mehr oder nur minimal belastet (Tab IV.3). Tierärztlich Praktizierende in den USA unterteilen die Skala oftmals noch in 0,5er Schritte, sodass letztendlich elf Unterscheidungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen (Brehm et al., 2016). Ähnlich wird bei Untersuchungen in Großbritannien vorgegangen, wobei eine 11-Punkte-Skala von 0 (keine Lahmheit) bis 10 (maximale Nicht-Belastung) zum Einsatz kommt (Keegan, 2007). Dr. Mike Ross nutzt zur Einteilung der Lahmheitsgrade ebenfalls 5 Stufen, wobei diese etwas anders charakterisiert werden als in der Skala der AAEP (Dyson, 2011).

Schema zur Einteilung in Lahmheitsgrade nach AAEP:

| | |
|---------------|---|
| Grad 0 | Lahmheit unter keinen Umständen wahrnehmbar |
| Grad 1 | Lahmheit nicht kontinuierlich und schwer erkennbar, unabhängig von den Untersuchungsumständen (Bodenbeschaffenheit, Belastung etc.) |
| Grad 2 | Lahmheit auf festem Untergrund im Schritt und Trab schwer erkennbar, unter bestimmten Umständen kontinuierlich zu sehen (bei Belastung, Wendung etc.) |
| Grad 3 | Lahmheit kontinuierlich unter allen Umständen im Trab erkennbar |
| Grad 4 | Lahmheit offensichtlich schon im Schritt |
| Grad 5 | minimale Belastung in Bewegung oder Ruhe bzw. Unfähigkeit, zu belasten |

Tab. IV.3: Tabelle zur Einteilung in fünf Lahmheitsgrade nach AAEP.

Stashak schlägt in seinem Buch „Adam's Lahmheit bei Pferden“ eine Klassifikation in vier Grade vor, wobei etwas ungenauer differenziert wird; jedoch findet ebenso die Beurteilung von Schritt und Trab sowie eine mögliche verstärkte Kopfbewegung und der Klang des Hufschlags

Verwendung (Adams et al., 2008). Hier zeichnet sich bereits Grad 4 durch eine Nichtbelastung der betroffenen Gliedmaße aus (Dyson, 2011).

IV.4 Lahmheitsursachen

Als Lahmheitsursachen kommen bei Pferden wie auch bei Heim- und anderen Nutztieren Herz-Kreislaufprobleme, neurologische Ausfälle, Entzündungs- und Stoffwechselprozesse, hereditäre oder erworbene Fehlstellungen sowie Abnutzungserscheinungen und Traumata in Frage (Ross&Dyson, 2010, Baumgartner, 2014, Fugazzola, 2017). Dabei spielen oft mangelnde oder fehlerhafte Hufpflege, Veränderungen und Mängel in der Ernährung sowie die Haltung des Pferdes eine große Rolle. Weiterhin sind auch die Intensität des täglichen Trainings oder gegebenenfalls bereits verabreichte Medikation und deren Erfolg bei der Ursachenforschung zu berücksichtigen (Ross&Dyson, 2010).

Bei 80% - 90% der Lahmheiten von Pferden ist von einer Ursache distal an den Gliedmaßen auszugehen (Hanbücken et al., 2014). Ross und Dyson (2010) meinen sogar, dass 95% der Lahmheiten an der Vordergliedmaße distal des Karpus lokalisiert sind. Probleme durch Schulter- und Knie- oder Hüftbeschwerden sind in der Equidenmedizin dagegen selten (Hanbücken et al., 2014).

IV.5 Lahmheitsuntersuchung: Adspektion/Untersuchung durch Tiermediziner:innen einschließlich Beugeproben

Bevor der vorgestellte Patient von einem Tierarzt oder einer Tierärztin betrachtet oder untersucht wird, erfolgt in allen Fällen eine ausführliche Anamnese. Diese sollte laut Ross & Dyson nicht überbewertet werden (2010). Dabei werden die Besitzer:innen des Pferdes zunächst wenig spezifisch zu Herkunft, Alter, Rasse, Größe, Gewicht, Gewicht, zur Fütterung und Haltung und zur Nutzung des Tieres befragt, bevor auf die Lahmheit eingegangen wird (Brehm et al., 2016, Ross&Dyson, 2003). Dabei spielen dann vor allem der Beginn, gegebenenfalls die Ursache der Lahmheit, sowie die Dauer und Stärke der Symptome eine große Rolle. Weiterhin ist im Gesprächsverlauf herauszufinden, ob eine Abschwächung oder Verstärkung der Lahmheit zu beobachten war und ob zum Beispiel unter dem Sattel eine stärkere Bewegungseinschränkung vorliegt als in freier Bewegung. Zusätzlich sollte das Sattelzeug abgeklärt werden, ob es als Ursache aus- oder einzuschließen ist. Abschließend gilt es, Informationen über mögliche Erbkrankheiten oder andere Vorerkrankungen sowie über bereits getätigte Behandlungen durch die Hufbearbeitung und Vorbehandlungen durch

tierärztliche Kolleg:innen einzuholen, da diese für den Behandlungserfolg durchaus bedeutend sein können (Brehm et al., 2016).

Nach einer ausführlichen Anamnese wendet sich der Untersuchende dem Pferd zu und beginnt mit der Adspektion, zunächst im Stand. Die Adspektion erfolgt aus der Entfernung und nach einer ersten Einschätzung des Gesamtbildes aus der Nähe. Dabei wird besonderer Wert auf die Körperhaltung sowie auf die Einschätzung des Pflege- und Ernährungszustandes gelegt, bevor dann die Gliedmaßenstellung und Bemuskelung beurteilt werden. Die Gliedmaßen werden untereinander verglichen, es wird nach Atrophien und Umfangsvermehrungen gesucht und Belastung bzw. Nichtbelastung eingeschätzt (Brehm et al., 2016). Bei der Adspektion der Hufe ist besonders auf Hornringe- und defekte, auf Trachtenform und Beschaffenheit der Sohle sowie auf die Steilheit der Hufwände und Symmetrie zu achten. Die einzelnen Gliedmaßen werden auf Stellung und Achsenabweichungen beurteilt. Es erfolgt eine genaue Bezeichnung der Gliedmaßenstellung wie Varus- oder Valgusstellung, zehenweit/zeheneng oder fassbeinig und kuhhessig (Brehm et al., 2016).

Bei der Betrachtung des Rückens und des Beckens wird besonderes Augenmerk auf die Größe des Widerristes, den Verlauf der Rückenlinie und die Symmetrie der Knochenpunkte gelegt. Weiterhin wird auf eine mögliche Kyphose, Lordose oder Skoliose geachtet und auch die Schweifhaltung beurteilt. Nicht übersehen werden sollten haarlose Narben, Druck- und Scheuerstellen oder Leukotrichie (Brehm et al., 2016).

Der nächste Schritt beinhaltet die Palpation der Gliedmaßen bzw. der betroffenen Stelle. Meist werden zunächst Temperaturunterschiede am Huf erfühlt und die Füllung des Hufgelenks beurteilt (Brehm et al., 2016, Ross & Dyson, 2010). Weiter proximal wird ebenfalls auf vermehrte Wärme geachtet, es werden Schwellungen betastet sowie die Schmerzreaktionen und Beweglichkeit der einzelnen Gelenke eingeschätzt. Fesselkopf und Fesselbeuge werden palpirt und an den Zehenseitenarterien wird die Pulsation beurteilt, bevor auch die Sehnenpakete dorsal bzw. plantar und palmar durchtastet werden. Danach arbeitet man sich proximal vor und prüft Sehnen, Knochen sowie Gelenke auf mögliche anatomische Abweichungen. Bei der Beurteilung des Rückens, des Kopfes und Halses wird insbesondere auf Symmetrie, Schmerzhaftigkeit und Beweglichkeit geachtet (Brehm et al., 2016, Ross & Dyson, 2010).

Die Beurteilung in Bewegung erfolgt zunächst auf gerader Linie auf weichem und hartem Boden, wobei der Untersuchende sich abwechselnd vor, neben oder hinter dem Pferd positioniert. Somit kann die Bewegung aus verschiedenen Blickwinkeln beurteilt werden. Die dafür benötigte Vorführstrecke sollte ausreichend lang sein und trittsicheren Untergrund

aufweisen (Ross & Dyson, 2010). Als Erstes erfolgt die Vorstellung des Pferdes im Schritt. Es gilt herauszufinden, ob beispielsweise eine Zehenspitzenfußung, betonte Trachtenfußung oder Auffußen mit gesamter Sohle vorliegen und ob die Hufe jeweils gerade aufgesetzt werden. Des Weiteren achten die Tierärzt:innen auf eingeschränkten Raumgriff, Schiefe, Durchtrittigkeit und eventuell vorhandene Kopfbewegungen (Brehm et al., 2016). Als Nächstes werden im Hinblick auf Schonung und vermehrte/verringerte Lastaufnahme einer Gliedmaße auch enge Wendungen nach links und rechts durchgeführt und im darauffolgenden Trab vor allem auf das Nicken des Kopfes oder unsymmetrische Bewegung des Rumpfes geachtet sowie die symmetrische Auf- bzw. Abwärtsbewegung der Tubera coxae beurteilt, wenn sich das Pferd von dem Untersuchenden wegbewegt. Einen Hinweis auf die Lahmheit eines Beines kann auch eine akustische Einschätzung geben; dabei können beispielsweise ein Taktfehler oder verkürzte Tritte erkannt werden (Brehm et al., 2016).

Eine besondere Herausforderung bei der Lahmheitsuntersuchung stellen jedoch Kompensationsmechanismen dar. Dabei lässt sich die Lahmheit nicht auf eine betroffene Gliedmaße beschränken, weil eine andere Gliedmaße eine kompensatorische Lahmheit aufweist. Die Diagnose derartiger Lahmheiten bedarf einer großen Expertise und sehr erfahrene Praktizierende sind am Ende nicht selten verschiedener Meinung bezüglich der Lokalisation (Brehm et al., 2016, Keegan, 2007, Dyson, 2011).

Das Vorführen an der Longe erfolgt am besten auf weichem Boden in gemäßigttem Tempo und eher kleinem Radius. Dabei wird vor allem beim Durchparieren oder Antraben darauf geachtet, wie flüssig die Tempowechsel verlaufen, wo Taktfehler entstehen und ob sich die Problematik verbessert oder verschlechtert. Meist verstärken sich Stützbeinlahmheiten auf der linken Körperhälfte, wenn sich das Pferd linker Hand bewegt und umgekehrt (Brehm et al., 2016). Eventuell wird auch Galopp an der Longe mit in die Untersuchung einbezogen, wenn zum Beispiel der Verdacht auf Rückenerkrankungen oder Hinterhandlahmheiten besteht (Brehm et al., 2016). Abnormal wäre Kreuzgalopp oder das gleichzeitige, hasenartige Springen der Hintergliedmaßen (Brehm et al., 2016). Geringgradige oder inkonsistente Lahmheiten zeigen sich oft besser beim Longieren auf hartem Boden oder bei Vorstellung unter Belastung, sei es geritten, gefahren oder Ähnliches (Brehm et al., 2016).

Am Ende der Untersuchung in Bewegung erfolgt eine Bezeichnung der Lahmheit mit einem bestimmten Grad, der als Anhaltspunkt für Folgeuntersuchungen und der Vergleichbarkeit dient (Ross&Dyson, 2003).

Eine vollständige Lahmheitsuntersuchung beinhaltet auch die Durchführung von Beugeproben aller möglicherweise betroffenen Gelenke, um eine genauere Lokalisation der Schmerzursache

zu erhalten (z.B. Abb. IV.5.1 und IV.5.2). Dabei ist das jeweilige Gelenk mit ausreichend Druck 60 Sekunden lang in Beugeposition zu halten und das Pferd nach dem Absetzen sofort anzutraben. Zwei bis drei unregelmäßige Tritte werden als noch physiologisch beurteilt. Hält die Taktunreinheit oder Lahmheit mehr als drei Tritte (zum Beispiel die ganze Vorführbahn) an, scheint das gebeugte Gelenk zumindest einen Anteil an der Symptomatik zu haben. Das Ergebnis ist für jedes geprüfte Gelenk als positiv oder negativ und die Stärke der Reaktion mit bis zu drei Plus zu beschreiben (Brehm et al., 2016, Hanbücken et al., 2014).

Eine weitere Möglichkeit der Diagnostik ist die Brett- oder Keilprobe, bei der vor allem Druck auf distal gelegene Sehnen und Gelenke ausgeübt wird und über dortige Veränderungen Aufschluss geben kann (Brehm et al., 2016).

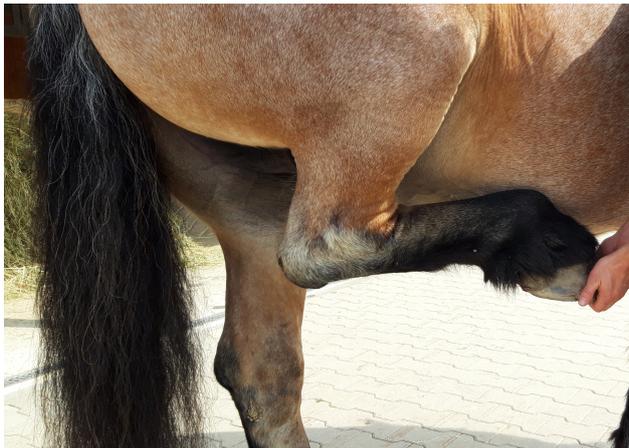


Abb. IV.5.1:
Übersichtsbeugeprobe rechte Hinterhand.



Abb. IV.5.2:
Proximale Beugeprobe linke Vorderhand.

IV.6 Diagnostische Anästhesien

Die sich möglicherweise an die Ganganalyse anschließende diagnostische Anästhesie synovialer Strukturen oder bestimmter Nerven stellt nach wie vor einen bedeutenden Schritt in der Diagnostik dar und wird meist angewandt, um eine Lahmheit zu lokalisieren (Ross&Dyson, 2003).

Diagnostische Anästhesien werden unterteilt in Leitungs- und Infiltrationsanästhesien, bei denen einzelne Nervi bzw. deren tributäre Gebiete betäubt werden und Anästhesien synovialer Strukturen, die ganze Gelenke oder Sehnenscheiden schmerzunempfindlich machen (Brehm et al., 2016). Zur Injektion werden Lokalanästhetika verwendet, die als Natriumkanalblocker fungieren, wie beispielsweise Lidocain, Mepivacain oder Bupivacain (Brehm et al., 2016, Hanbücken et al., 2014, Ross&Dyson, 2003). Es erfolgt eine Desinfektion der Haut mit 70%igem Alkohol. Fünf bis fünfzehn Minuten nach der Injektion des Medikamentes mit sterilen 20-25 G – Kanülen bzw. 18-21 G – Kanülen bei intrasynovialen Strukturen (und Spinalkanülen bei noch tiefer liegenden Punkten) setzt die Wirkung ein, die durch Berührungen an der entsprechenden Hautregion geprüft wird (Brehm et al., 2016).

Vereinzelt treten Komplikationen auf, die den Besitzer:innen des Tieres vor dem Eingriff mitzuteilen sind. Beispielsweise können Infektionen der Injektionsstellen entstehen, bestehende Fissuren können durch die Schmerzausschaltung und daraus folgende Belastung frakturieren. Weitere Probleme können sich durch Zwangsmaßnahmen oder Sedation ergeben (Brehm et al., 2016).

Im Einzelnen handelt es sich bei den Anästhesien der Gliedmaßen um die TPA-1 (die tiefe Palmar- bzw. Plantarnerven-anästhesie 1), die TPA-2 (Abb. IV.6.1/2), die MPA (die mittlere Palmar- bzw. Plantaranästhesie), die Tiefe 4-Punkt-Anästhesie (T4P) bzw. Tiefe 6-Punkt-Anästhesie, die hohe 4- (H4P) und 6-Punkt-Anästhesie sowie die Infiltrationsanästhesie des Ursprungs des Musculus interosseus.

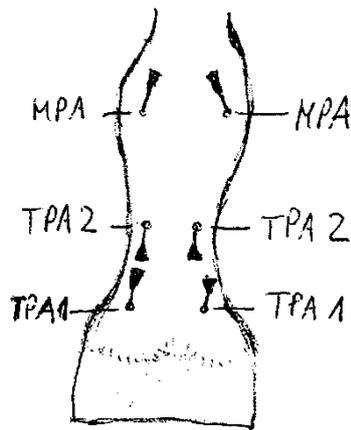


Abb. IV.6.1.

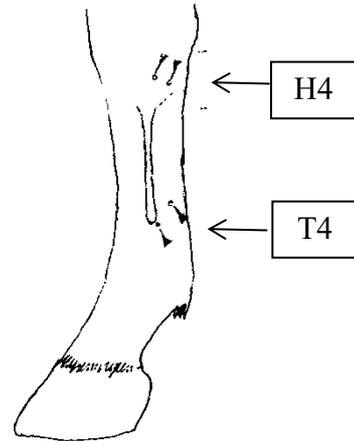


Abb. IV.6.2.

Abb. IV.6.1: Schemazeichnung des Vorderbeins von palmar, Kennzeichnung der Kanülenpositionen zur tiefen Palmarnervenanästhesie 1 und 2 sowie zur mittleren Palmarnervenanaästhesie.

Abb. IV.6.2: Schemazeichnung des rechten Vorderbeins von medial mit skizziertem Griffelbein und Kanülenpositionen der tiefen und hohen Vierpunkt-Anästhesie.

Die zu anästhesierenden Nerven an der proximalen Vordergliedmaße sind der Nervus palmaris lateralis, der Nervus ulnaris und Nervus medianus sowie der Nervus cutaneus antebrachii medialis (Brehm et al., 2016). An der proximalen Hintergliedmaße sind es der Ramus profundus des Nervus plantaris lateralis, der Nervus fibularis und Nervus tibialis (Brehm et al., 2016).

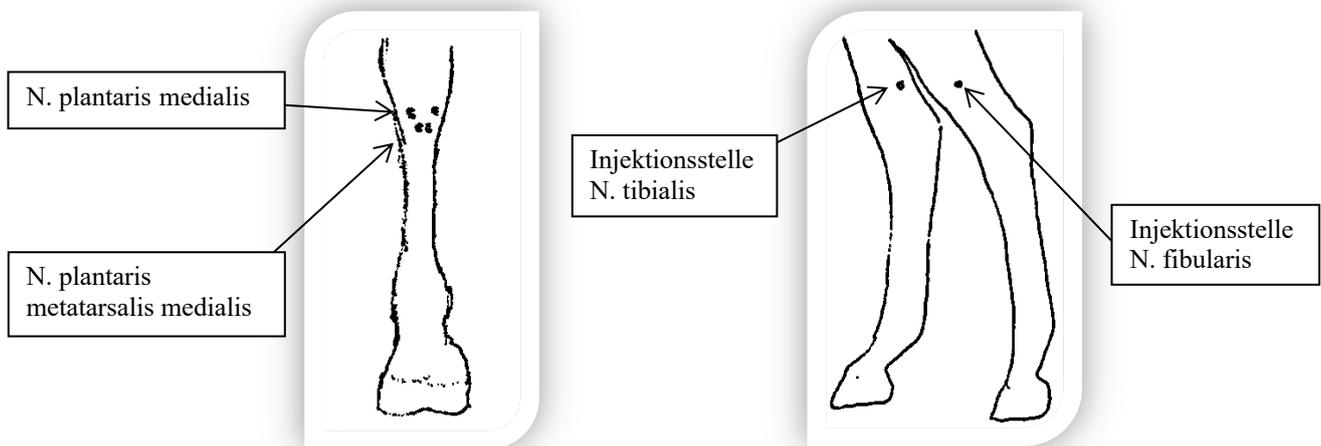


Abb. IV.6.3.

Abb. IV.6.4.

Abb. IV.6.3: Schemazeichnung der Injektionsstellen für die Anästhesie des Nervus plantaris, rechte Hintergliedmaße, Ansicht von plantar.

Abb. IV.6.4: Schemazeichnung der Injektionsstellen für die Anästhesie des Nervus tibialis und fibularis, beide Hintergliedmaßen, Ansicht von links lateral.

Für die Anästhesie synovialer Strukturen in Frage kommen Hufgelenk, Bursa podotrochlearis, Krongelenk, Fesselgelenk, Beugesehnenscheide, Karpalgelenk, Karpalbeugesehnenscheide, Ellbogengelenk, Schultergelenk, Bursa bicipitalis, Tarsalgelenk, Tarsalbeugesehnenscheide, Kniegelenk, Hüft- und Iliosakralgelenk, Facettengelenke der Halswirbelsäule in Frage. Auch eine Infiltrationsanästhesie der Ligamenta interspinalia ist möglich (Brehm et al., 2016).

Das Ergebnis derartiger Untersuchungen lautet am Ende negativ, (d.h. keine Besserung der Lahmheit nach Anästhesie), positiv oder positiv mit Restlahmheit. Restlahmheit bedeutet, dass entweder die betroffene Struktur nicht komplett schmerzunempfindlich gemacht wurde oder mehrere anatomische Strukturen an der Symptomatik beteiligt sind. Grundsätzlich aber wird eine Verringerung der Symptome um 70% bis 80% als ausreichend positiv interpretiert, da eine 100%ige Ausschaltung des Schmerzreizes wegen menschlicher Ungenauigkeit oder anatomischer Varianz unwahrscheinlich ist (Brehm et al., 2016, Ross&Dyson, 2003). Die beste Antwort auf eine Anästhesie ist hierbei ein Umspringen der Lahmheit, welches auftreten kann, wenn der schlimmere Schmerzreiz plötzlich wegfällt und dafür andere, vorher weniger auffällige schmerzhaft Stellen eine Schonhaltung hervorrufen (Ross&Dyson, 2003).

Weiterhin gibt es noch eine Vielzahl anderer Diagnostikmethoden, die sich an die Adspektion und Palpation anschließen, wie beispielsweise technische Ganganalyse/Kinetik oder die Kinematik. Auf die technischen Verfahren soll in den folgenden Abschnitten eingegangen werden.

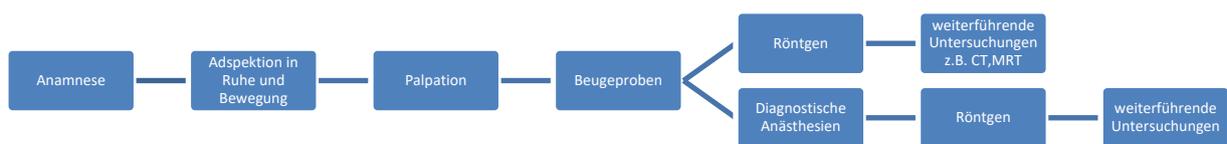


Abb. IV.6.5: Übersicht zur Abfolge einer tierärztlichen Lahmheitsuntersuchung.

IV.7 Möglichkeiten einer elektronischen Lahmheitsdiagnostik für den/die Veterinär:in

IV.7.1 Kinetik und Bodenreaktionskräfte

Kinetik, ein Begriff aus der Physik, beschreibt ein Teilgebiet der Mechanik, das die Lehre von den Bewegungen unter dem Einfluss innerer oder äußerer Kräfte umfasst (Oxford Languages). Die Kinetik erklärt Bewegung, misst und definiert wirkende Kräfte. Die gängigste kinetische Untersuchungsmethode ist das Druckplattenverfahren (Keegan, 2007). Bei einer Schonung einer Gliedmaße entsteht eine geringere Lastaufnahme auf das lahme Bein und damit eine geringere vertikale Bodenreaktionskraft (englisch: ground reaction force, GRF). Eine verminderte GRF hat Veränderungen der Bewegungen von Kopf, Hals und Gliedmaßen zur Folge (Keegan, 2007) und es entsteht eine rechts- oder linksseitige Asymmetrie, die von außen betrachtet erkennbar sein kann. Eine Beurteilung der *vertikalen* GRFs ist am aussagekräftigsten. GRF-basierte Lahmheitsuntersuchungen liefern hohe Sensitivität und Spezifität (Keegan, 2007). Beispielsweise bewirkt in den meisten Fällen eine Lahmheit an einer Vordergliedmaße eine verringerte vertikale GRF an diesem Bein, während sich die GRF an dem kontralateralen Vorderbein und den beiden Hinterbeinen erhöhen (Keegan, 2007).

Je stärker die Lahmheit eines Beines, umso niedriger ist die vertikale GRF, die auf diesem Bein wirkt (Keegan, 2007)(Abb. IV.7.1.1). Andere Kraftmessplatten berücksichtigen zusätzlich einen vertikalen Impuls, eine Bremskraft und einen Bremsimpuls sowie eine Antriebskraft und einen Antriebsimpuls (Keegan, 2007).

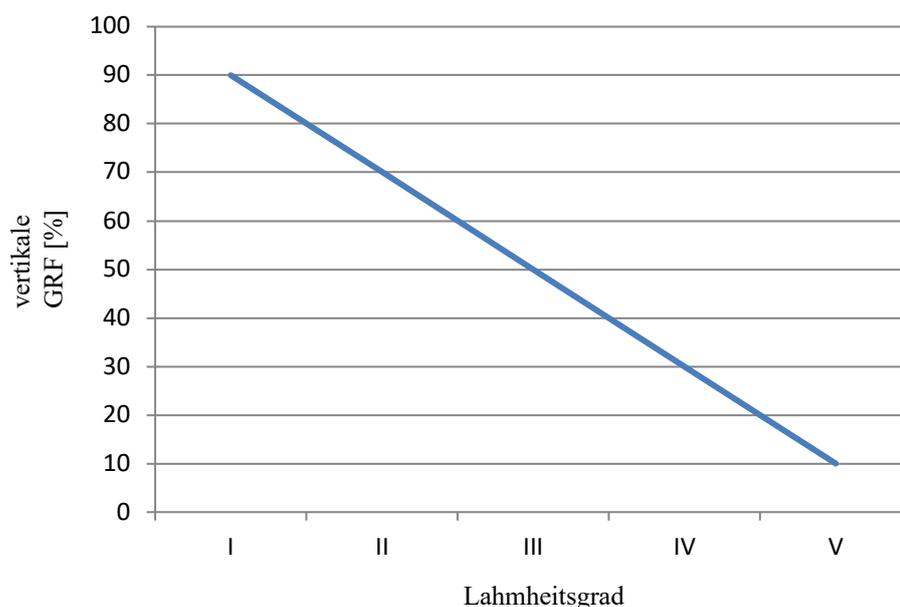


Abb. IV.7.1.1: Schematisches Verhältnis von Lahmheitsgrad und vertikalen GRF (eigene Grafik nach Keegan)

Manche Lahmheiten führen jedoch zu keiner Senkung der GRF, sondern zu einer Änderung der vertikalen GRF-Signalform. So könnte beispielsweise die Form der Kurve in einer grafischen Darstellung noch wichtige Informationen beinhalten, die derzeit nicht genutzt werden (Keegan, 2007).

Grundsätzlich werden mit der Kinetik aber Kräfte gemessen, die zwischen beurteiltem Körper und Umgebung wirken. Beispielsweise am Boden die vertikale Kraft, Vorwärts-Rückwärts- und seitliche Kräfte. Im Inneren des Körpers wirken Zug- und Druckkräfte, Drehmomente in den Gelenken, Sehnen und Knochen (Litzke und Rau, 2012).

Für eine kinetische Untersuchung der vertikalen GRF werden entweder eine fest installierte Kraftmessplatte mit Druckmesssensoren, ein mit Drucksensoren ausgestattetes Laufband für Pferde oder mit Druckmessauflagen ausgestattete Hufe Schuhe eingesetzt. Am häufigsten werden als Goldstandard Kraftmessplatten (Englisch: stationary force plates) genutzt (Ross&Dyson, 2003). Druckmessauflagen sind Messsysteme mit Kraftsensorelementen, die zwischen Oberflächen eingesetzt werden. Hufabdruck und Druckmessaufgabe müssen in ihrer Größe zusammenpassen. Zur Herstellung eines tragbaren Messsystems werden die Druckmessaufgaben auf den Pferdehuf zurechtgeschnitten und erfassen dann die Kraft- und Druckverteilungen, aus denen die vertikalen GRFs während der Belastung ermittelt werden können. Beispielsweise wurden in einer Studie in Frankreich Hufe Schuhe mit 3D-Techniken hergestellt (Chateau et al., 2009). Immer mehr ausgestattete Hufe Schuhe werden angewandt, um lastaufnehmende Kräfte auf einem Laufband zu analysieren. Es fehlen aber Studien zur Wiederholbarkeit und zu klinischen Fällen (Ross&Dyson, 2003).



Abb. IV.7.1.2: Illustratives Bild eines kommerziell erhältlichen Hufe Schuhs ohne technische Ausstattung.

Für Kraftmesssysteme werden oft piezoelektrische, gewichtssensitive Sensoren eingesetzt (Keegan, 2007, Ross&Dyson, 2003). Bei Laufbändern muss der Hufabdruck klein genug für das Band sein und auch die Sensoren und die Elektronik haben ein zu berücksichtigendes Eigengewicht. Die Hufe können dazu beispielsweise mit einem Positionierungssystem (Gummibänder an den Hufen) ausgestattet werden, wie es an der Universität Zürich der Fall ist

(Keegan, 2011). Es werden einer oder mehrere Tritte erfasst und dabei die Kraft und der Druck auf eine Oberfläche statuiert, sowie die Spitzenkräfte bzw. -drücke quantifiziert. Prinzipiell kann mithilfe von Laufbändern und entsprechender Ausstattung eine Art Feldstudie durchgeführt und beispielsweise auch Behandlungserfolge kontrolliert werden. Bemerkenswert ist auch, dass die vertikalen GRFs an allen vier Gliedmaßen gleichzeitig gemessen werden können. Folglich können die Systeme bei der Einschätzung von Stärke und Lokalisation einer kompensatorischen Lahmheit erfolgreich eingesetzt werden (Keegan, 2011).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Untersuchung mit Kraftmessplatten bzw. Laufbändern mit GRF-Messfunktion, kontrollierte Bedingungen geschaffen werden müssen (Keegan, 2007). Es kann auch eine konstante Geschwindigkeit eingestellt werden. Für die Ergebnisfindung ist nur eine geringe Zahl an Wiederholungen nötig, da der Varianzkoeffizient zwischen vertikalen GRFs in Schritten gesunder und lahmer Pferde gering ist (Keegan, 2007). Das heißt wiederum, dass kleine Verbesserungen detektiert und auch subtile Lahmheiten erkannt werden können (Keegan, 2007). Möglich wäre es prinzipiell auch, horizontale GRFs zu messen und damit Lahmheiten weiter zu differenzieren, in beispielsweise Lahmheit bei Beschleunigung oder Lahmheit bei Geschwindigkeitsreduktion (Keegan, 2007). In einigen Institutionen weltweit werden schon Kraftplatten genutzt und liefern genaue Ergebnisse. Die Studien dazu sind laut Keegan jedoch nicht immer aussagekräftig (Keegan, 2011).

Die kinetische Untersuchung bietet beispielsweise eine Möglichkeit, unmittelbar nach dem Beschlag die Kraftverteilung über den gesamten Huf zu erfassen (Keegan, 2007) und könnte die Arbeit der Schmied:innen präzisieren. Derzeit nutzen jedoch nur wenige Pferdekliniken (z.B. die Universität Zürich) Kraftmessungen zur Lahmheitsdiagnostik (Keegan, 2007). Ausschlaggebend ist wohl, dass es sich bei Messungen zur Kraftverteilung um komplizierte Aufnahmen mit entsprechend großem, schwerem und teurem Instrumentarium handelt, die zeitintensiv sind und ausreichende technische Kenntnisse erfordern. Es müssen genügend gültige Tritte aufgenommen werden (Keegan, 2007). Beispielsweise sind Fußung auf den Rand des Laufbandes, zur Hälfte des Hufes auf dem Rand etc. ungültig. Weiterhin müssen alle vier Gliedmaßen gleichzeitig erfasst werden und die GRFs reagieren unter anderem sehr sensibel auf Rumpf- und Gliedmaßenbewegungsgeschwindigkeit sowie auf Kopfbewegungen. Außerdem sind die Ergebnisse auch von der Beschaffenheit der verwendeten Oberflächen abhängig und nicht jede Lahmheit ist bei jedem Tritt gleich stark oder überhaupt immer vorhanden, was ungenaue Ergebnisse zur Folge haben kann (Keegan, 2007). Trotz der Präzision der Kraftplattenmethode sind somit immer fünf oder sechs Durchgänge nötig, um akzeptable Ergebnisse zu erzielen (Keegan, 2007). Weiterhin kann das Gangbild bei Pferden, die

Hufschuhe nicht gewohnt sind, nur durch die Schuhe an sich beeinträchtigt werden und zu Verfälschungen führen. Darüber hinaus wäre eine große Variation an Hufschuhen nötig, da die Hufform berücksichtigt werden muss (Keegan, 2007) und auch der Pflegezustand, der Schuhtyp und die Oberflächenbeschaffenheit spielen eine wesentliche Rolle (Keegan, 2007).

Kommerziell erhältliche Kraftplatten - wozu das Modell in Zürich nicht gehört - sind zu klein für die gleichzeitige Beurteilung aller Gliedmaßen. Daher kann immer nur ein Huf gemessen werden, was die Beurteilbarkeit von kompensatorischen Lahmheiten einschränkt (Keegan, 2007). Das ausschlaggebendste Argument für eine nicht-routinemäßige Verwendung der Kinetik-Messung ist aber, dass derzeit keine Software und keine zufriedenstellenden Systeme kommerziell erhältlich sind (Keegan, 2007).

IV.7.2 Kinematik und Videoanalyse

In der Kinematik wird die Bewegung räumlich (z.B. Höhenunterschiede) und zeitlich (Dauer und Wiederholungen) charakterisiert, ohne dass zwingend Kräfte beurteilt werden (Keegan, 2007). Die Kinematik wird aus diesem Grund auch als indirekte Methode zur Lahmheitsuntersuchung bezeichnet (Keegan, 2007). Untersucht wird bei Anwendung der Kinematik vor allem die Bewegung des Körpers/der Körperteile im Raum, insbesondere in die drei Richtungen des Raumes (x-, y- und z-Achse) (Translation), zeitliche Aspekte der Bewegung und Drehbewegungen der Gelenke (Rotation) (Litzke and Rau, 2012).

In kinematischen Analysen werden mehrere Tritte betrachtet, wofür ein Laufband und Bewegungsanalyse-Kameras mit entsprechenden Markern am Körper der Probanden nötig sind (Keegan, 2007). Somit spielen Kosten – und Zeitaufwand auch bei dieser Methodik eine Rolle (Keegan, 2007). Die Pferde müssen ans Laufband gewöhnt werden und vor allem ängstliche und neugierige Probanden sind sehr schwierig zu beurteilen, da die Ergebnisse variabel beeinflusst werden (Keegan, 2007). Außerdem sind die Bewegungsmuster abhängig von der Geschwindigkeit des Laufbandes und manche Lahmheiten erst im verstärkten Trab sichtbar. Dafür müssten einerseits Hochgeschwindigkeitslaufbänder zum Einsatz kommen und um die nötige Sensitivität bei der Diagnostik mittelgradiger (mgr.) oder hochgradiger (hgr.) Lahmheiten zu erreichen, müssen außerdem mehrere Tritte aufgenommen werden (Keegan, 2007). Beurteilt wird bei der Kinematik die Länge und Geschwindigkeit des Trittes, die Höhe des Vorführbogens, Abweichungen von der normalen Fußung oder der Vorführriechung und die Beschleunigung der Bewegungsimpulse (Adams et al., 2008). Kinematische Untersuchungen erfolgen mit Hilfe von selbstleuchtenden Markierungen, die an markanten anatomischen Punkten am Pferd angebracht und durch Computeralgorithmen zu einem 3D-

Bewegungsmodell verbunden werden, so dass letztendlich Gliedmaßen als sich bewegende Achsenstriche sichtbar werden (Adams et al., 2008). Die Pferde werden auf ebenem Boden durch Kameras, die an mehreren Stellen des Laufbandes oder im Feld an der Vorführstrecke positioniert werden, gefilmt. Nachteile dieser Methode sind einerseits die zeitliche Verzögerung, die sich durch die ggf. nötige Entwicklung und die Analyse des Filmes ergibt. Andererseits stellen die Markierungen, die sich vor allem im proximalen Bereich der Gliedmaße leicht verschieben, ein nicht zu vernachlässigendes Problem dar. Proximale Markierungen sind daher ungenauer als distale (Adams et al., 2008).

Es gibt drei Möglichkeiten, eine kinematische Untersuchung durchzuführen: Erstens können Pferde in Bewegung *im Feld* gefilmt werden. Diese videobasierte Bewegungsaufnahme nutzt eine bestimmte Software und eine Hochfrequenz-Kamera. Jedoch sind keine Instrumente am Pferd außer leichten Reflektoren nötig. Es können beispielsweise Winkel der Gliedmaßen aus den Videodaten bestimmt werden (Adams et al., 2008). Eine weitere Untersuchungsmethode aus der Kinematik wird laut Adams et al. „Kamera-basiert“ genannt. Sie ist sehr genau, sofern mehrere Aufnahmen gemacht werden. Dabei muss die Größe des Gesichtsfeldes der Kameras und die Größe des zu filmenden Subjekts kontrolliert und so klein wie möglich gehalten werden, wodurch sich eine gute räumliche Auflösung ergibt. Diese, in Zusammenhang mit Laufbändern gut funktionierende Methode, findet daher vor allem bei geringgradigen Lahmheiten Verwendung (Adams et al., 2008). Im Gegensatz zur videobasierten Bewegungsaufnahme kann diese Laufband-basierte Herangehensweise nur unter Klinikbedingungen durchgeführt werden.

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die Bewegung aus verschiedenen Blickwinkeln mit mehreren Videokameras gleichzeitig aufzuzeichnen, wozu aber unter anderem eine gute Auflösung nötig ist. Diese Methode ist theoretisch ebenfalls im Feld einsetzbar, wird aber oft nur in der Klinik durchgeführt und gestaltet sich auch dort schwierig (Adams et al., 2008). Corbin (2004) beschreibt bei einer an der Universität Hannover durchgeführten Studie einen anderen Ansatz zur Datengewinnung und -auswertung. Die Kinematik wird hier als Messung von Raum- Zeit- und Winkelparametern ohne Berücksichtigung der verursachenden Kräfte definiert. Die Daten hierzu werden als Tabelle, Kurve oder Strichfigur zwei- oder dreidimensional dargestellt. Die Einteilung erfolgt in der Studie von Corbin erstens in videographisch, das heißt mit Video wird ein Pferd mit einem Marker aufgenommen, der 1-2cm groß, flach oder halbkugelig/kugelig ist. Er ist reflektierend oder mit Alufolie überzogen und wird mittels Spezialkleber oder Klebeband am Pferd befestigt. Der Marker dient der zusätzlichen digitalen Visualisierung. Zweitens wird auch die optoelektrische Methode als

Einteilungsmöglichkeit genannt. Dabei wird videographisch nur der Marker, nicht das ganze Pferd aufgenommen. Sichtbar werden hier nur helle Punkte auf dunklem Hintergrund (durch Marker mit Infrarotlicht-Leuchtdioden oder reflektierende Marker, die durch externe Quellen zum Leuchten angeregt werden). Einen weiteren Ansatz zur kinematischen Analyse stellt laut der Autorin die Elektrogoniometrie dar; ein direkt kinematisches System, wobei die Ergebnisse in Kurven (Goniogrammen) dargestellt werden. Es werden Winkeländerungen der Gelenke in Bewegung mittels besonderer Sensoren, so genannter Elektrogoniometer umgewandelt. Die Goniometer werden dafür an Drehpunkten der Gelenke befestigt (Corbin, 2004).

Nach den Aufnahmen werden die Bewegungsmuster durch mit der Kinematik-Materie vertraute Tierärzt:innen beurteilt. Dabei gehen die Parameter und Muster, auf die in verschiedenen Studien das Augenmerk gelegt wird, weit auseinander. In Kinematikstudien wurden viele Variablen in kleinen Stichproben und nur wenigen Schritten gemessen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu gewinnen und Lahmheiten sicher einem Bein zuordnen zu können, wurden in der Vergangenheit verschiedene Ansätze der Lahmheitsinduktion verfolgt. Keegan et al. nutzten einen druckausübenden Schuh (Keegan et al., 2001), McCracken et al. hingegen verwendeten Zugschrauben am Huf (McCracken et al., 2012) und auch Injektionen von Amphotericin B in das Karpalgelenk (Keegan, 2007) wurden praktiziert. Verschiedene Bewegungsparameter wurden als am meisten sensitiv angesehen. Außerdem gilt es, auch die Unterschiede Laufband und Feld nicht außer Acht zu lassen. Bei einseitiger Lahmheit wurde beispielsweise die Fesselstreckung und Krongelenksbeugung beurteilt, die geringer ausfällt während der Gewichtsaufnahme (Keegan, 2007). Weiterhin wurden eine verringerte Rückführung der Vordergliedmaße (bei Vorderhandlahmheit), eine verringerte Vorführung der Hintergliedmaße (bei Hinterhandlahmheit), eine verringerte Sprunggelenksbeugung in der Stützbeinphase oder eine verlängerte Stützbeinphase des lahmen Beines bei ggr. oder mgr. Lahmheiten beobachtet (Keegan, 2007). Es können auch kinematische Symmetrie-Indizes (KSI) angegeben werden, z.B. vertikale Verschiebung und Beschleunigung der dorsalen Mittellinie am Becken (Keegan, 2007). Beobachtet wurde auch eine reduzierte Extension des Karpalgelenks am lahmen Bein, vor allem bei mgr. bis hgr. Lahmheiten. Proximale Gelenke werden tendenziell mehr gebeugt bei Gewichtsaufnahme auf den lahmen Fuß, was zu einer Verkürzung der gesamten Gliedmaße führt (Keegan, 2007).

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Veränderungen am Gangbild immer davon abhängig sind, wo die Veränderung ursächlich lokalisiert ist. Gewöhnlich ergeben sich kürzere Schrittlängen am lahmen Bein (Keegan, 2007). Am aussagekräftigsten scheinen die vertikale Kopfbewegung und die Geschwindigkeit, sowie die Beschleunigung des Kopfes und Halses bei

Vorderhandlahmheiten und die Beschleunigung des Beckens bei Hinterhandlahmheiten zu sein (Keegan, 2007). Dabei ist anzumerken, dass die asymmetrische vertikale Kopfbewegung nicht bei jedem Pferd eindeutig als pathologisch zu beurteilen ist. Bei Hinterhandlahmheiten wird besonderes Augenmerk auf die tubera coxae und deren (a)symmetrische Bewegung sowie auf die asymmetrische vertikale Bewegung des gesamten Beckens gelegt, was wiederum bei angeborener asymmetrischer Anatomie schwierig zu beurteilen ist (Keegan, 2007).

IV.7.3 Kinematik und körpergetragene Sensoren

Kinematische Messungen können auch mittels Inertialsensoren (einschließlich Sensoren für Beschleunigung, Drehrate-, sowie Orientierung im Erdmagnetfeld) durchgeführt werden (Keegan, 2007). Ähnlich wie die bild- und videobasierten Ansätze erfassen die Sensoren den zeitlichen Verlauf von Beschleunigung, Drehung und Bewegung der Körperteile im Raum in drei Raumrichtungen (x-, y- und z-Achse)(Translation), sowie Drehbewegungen der Gelenke (Rotation). Die Untersuchungen mit Inertialsensoren sind gut wiederholbar, die Sensoren leicht und klein (Keegan, 2007). Die Aufnahmen werden digital auf Empfänger (Tablets, Chipkarten, Sticks) übertragen und können mithilfe spezieller Software an PCs ausgewertet werden. Dies wiederum liefert dem Untersuchenden schnelle und leicht verständliche Ergebnisse, die sogar eine Quantifizierung der Lahmheit möglich machen (Keegan, 2007). Als Sensoren werden hierfür sogenannte Accelerometer (Beschleunigungsmesser) und Gyroskope (Kreiselinstrumente) sowie in manchen Systemen sog. Magnetometer (Erdmagnetfeld-Sensoren) genutzt. Dafür werden z.B. Beschleunigungssensoren mithilfe von Klebestreifen oder anderem Haftmaterial auf der Hufwand, den Gliedmaßensegmenten oder an Gurten angebracht und Zeit (Zyklusdauer, Gliedmaßenkoordination) - sowie Raumparameter (Länge des Zyklus, Distanz zwischen Aufsetzen der Hufe, Bewegungsmuster des Körpers in der Schwebephase, Winkelparameter, Winkelung der Körpersegmente und Gelenke etc.) gemessen (Corbin, 2004).

Die drei wohl bekanntesten Inertialsensortechnik-Systeme sind der ehemals Lameness Locator® - jetzt Equinosis® (aus Missouri), Equusense Inc.® von Equusys Inc.® (Massachusetts) und das Equimetrix® - System aus Frankreich (Keegan, 2007). Diese Inertialsensorsysteme werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

IV.7.4 EquuSense® - System by EquuSys Inc. (Universität Massachusetts)

Laut der Homepage des Herstellers (s. Literaturverzeichnis) handle es sich beim EquuSense®-System um eine kabellose Apparatur, bei der jeder Sensor die Position, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Orientierung und die Rotation in Bezug auf das Pferd oder den Referenzbereich wiedergebe. Die unter 100 Gramm schweren Sensoren (Accelerometer, Gyroskope, Magnetometer) werden mit einer Genauigkeit von (+/- 1 mm) und (+/- 1°) angegeben. Die Sensoren übermitteln jeweils bis zu zweitausend Aufnahmen pro Sekunde über eine telemetrische Einheit (WiFi, GPS, Bluetooth) an ihre dazugehörige Hardware (PC) mit installierter Software. Benötigt würden insgesamt 4-18 Sensoren, wobei die Anbringung zusätzlicher Sensoren für die Kontrolle des Herz-Kreislauf-Systems, der Atmung, des Sauerstoffpartialdrucks, der Temperatur oder des Magen-Darm-Traktes möglich sei. Zukünftig sollen auch weitere Sensoren und andere Sensorverarbeitung eingesetzt werden (Baxter, 2011). Abhängig vom genauen Produkt und Hersteller enthalte die Lieferung in der Regel vier Sensoren inklusive Befestigung, einen Laptop, dazugehörige Software (primär für die Forschung oder primär für praktizierende Tierärzt:innen) und einen Onlinesupport.

Die Anbringung der Sensoren am Pferdekörper erfolge einfach mittels Hufglocken oder Gamaschen und soll somit auch im Feld praktikabel sein. Die vom Hersteller empfohlene Positionierung der Sensoren kann Abb.IV.7.4 entnommen werden. Der Untersuchende könne dann auswählen, welche Variablen gemessen werden sollen, beispielsweise die relative Höhe der Vordergliedmaße des Pferdes während der Fußungsphase, die maximale vertikale Beschleunigung des Kopfes, die relative Höhe und die Hufform, der Vorführbogen, die Fesselstreckung während der Belastung oder die Unterschiedsschwelle der tubera sacralia. Anschließend erfolge die Auswertung der Aufnahmen am PC.

Als Anwendungsmöglichkeiten nennen die Hersteller zum Beispiel Ankaufs- oder regulär durchgeführte Lahmheitsuntersuchungen. Es können Vorher-Nachher-Studien von Beugeproben oder Nervenblocks gemacht oder Vergleiche zu anderen Pferden und anderen Gliedmaßen angestellt werden. Außerdem können Daten archiviert werden und somit die Kommunikation unter Kolleg:innen erleichtern. Mithilfe von EquuSense® könnten laut dem Anbieter vor allem geringgradige oder komplexe Lahmheiten diagnostiziert und der Behandlungserfolg gemessen werden. Weiterhin ermögliche das System eine Einschätzung der Bewegung des Pferdes, eine Analyse eines Konditionstrainings oder eine Quantifizierung und Qualifizierung möglicher Leistungen. Man benutze das System auch zur Entwicklung biomechanischer Modelle und zur Bewegungsanalyse (motion capture) sowie als Methode, um einen Einblick in die Biomechanik und Physiologie der Bewegung zu bekommen. Darüber

hinaus könnte das System in der Lehre zum Einsatz kommen, um die diagnostischen Fähigkeiten der Studierenden zu verbessern.

Mögliche Sensorpositionen des EquuSys® -Ultra-Systems:

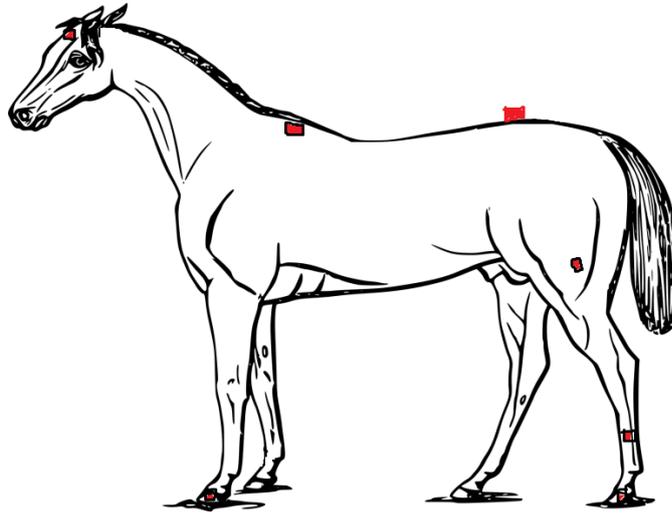


Abb. IV.7.4: EquuSys® - Sensoren an den lateralen Hufwänden, den Metatarsalia, den Oberschenkeln, am Kopf, am Widerrist und am Rumpf (Beispiel).

IV.7.5 Equimetrix® -System (Evry, Frankreich)

Bei diesem Produkt handelt es sich um eine Erfindung der Firma Centaure Metrix aus Evry in Frankreich. Neben Locometrix® – einem System zur Bewegungsanalyse bei Menschen, Katzen und Hunden – wurde auch Equimetrix®, eine Apparatur für Pferde entwickelt. Dabei sorgt ein dreidimensionales Accelerometer-System, das am Gurt oder Sattel befestigt wird, für die Aufnahme bestimmter Parameter während der normalen Lahmheitsuntersuchung. Anschließend kann an einem PC ausgewertet und analysiert werden. Nach der Messung der dreidimensionalen Rumpf-Beschleunigung werden verschiedene Schritt-Parameter ausgewertet - wie zum Beispiel maximale Schritt-Frequenz, Dauer eines Trittes, Vorfürkraft, Schrittlänge und diagonale Abweichung. Mithilfe von Algorithmen können daraufhin Regelmäßigkeit und Symmetrie-Parameter bestimmt werden (Adams et al., 2008).

Laut Hersteller und deren Homepage <http://www.equimetrix.com> werde dieses System vorrangig für Routine-Untersuchungen und klinische Versuche genutzt, wobei auch explizit die mögliche Verwendung zur Lahmheitsdiagnostik aufgeführt wird. Bei Renn-, Sport-, und Zuchtpferden bestünden die Möglichkeiten des Systems darin, bestimmte Pferde zu nominieren und die Aufstellungen für Rennen je nach Leistung zu organisieren, quasi eine Rennliste zu erstellen. Weiterhin könne man schon Jährlinge durch einen Equimetrix®-Test aussortieren und

die Rückkehr von Sportpferden zum Training nach einer Verletzung besser überwachen. Nicht zuletzt könne Equimetrix® dazu beitragen, Zuchtstuten zu vermarkten, da ein objektives Ergebnis präsentiert werden kann. Bei Springpferden werde die Apparatur vorwiegend dazu genutzt, das Potential des Tieres, Belastung und Vorschub zu messen und Pferde auszusortieren, die Galoppqualität einzuschätzen oder Balance und Kraft beim Absprung zu qualifizieren. Zusätzlich könne das Training besser überwacht und Ganganomalien oder Asymmetrien erkannt werden. Bei Dressurpferden spiele die Beurteilung von Gangarten und die Einschätzung von Schubkraft und Elastizität die größte Rolle.

Schemazeichnung der Sensorposition bei Equimetrix®:

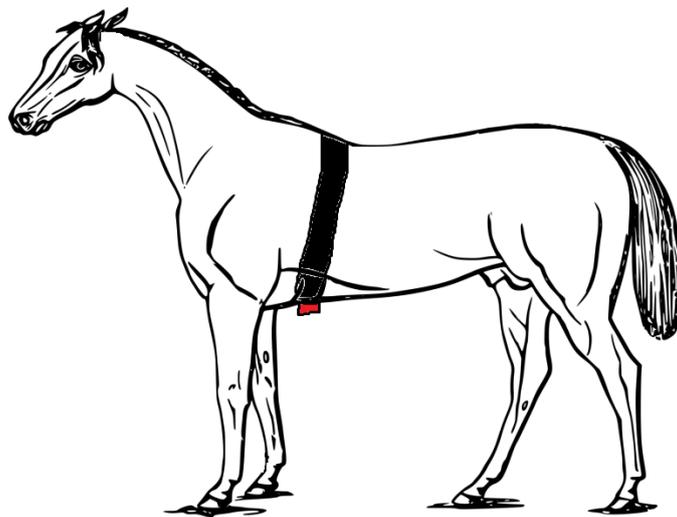


Abb. IV.7.5: Schemazeichnung der Sensorposition beim Equimetrix®- System.

IV.7.6 Lameness Locator® - Equinosis® (Universität Missouri)

Beim Lameness Locator®, einer Erfindung von Dr. K.G. Keegan von der Universität Missouri handelt es sich ebenfalls um ein kabelloses Bewegungsanalysesystem, das auf Inertialsensortechnik basiert. Am Kopf des Pferdes wird mit Hilfe von speziellen Klebevorrichtungen ein Accelerometer angebracht, ebenso wie an der Mittellinie des Beckens. Die rechte Vordergliedmaße wird mit einem Gyroskop versehen. Dieser liefert nur Informationen über die Tatsache, welches Bein gerade fußt, um so jeder Gliedmaße die Daten richtig zuordnen zu können. Durch Algorithmen können dann Asymmetriemessungen für vertikale Kopf- und Beckenbewegungen durchgeführt, sowie Schrittdifferenzen und Maximal-/bzw. Minimalpositionen des Beckens im Vergleich links und rechts bestimmt werden. HD

Max und HD Min, die Differenz der Maximal- und Minimalpositionen des Beckens, sind beispielsweise vor allem zur Erfolgskontrolle einer diagnostischen Anästhesie von Nutzen. Studien, vor allem von Keegan selbst, in denen Versuche mit dem Lameness Locator® durchgeführt wurden, kamen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse ausreichend wiederholbar seien, um das System in der Praxis anwenden zu können. Die Apparatur sei nicht-invasiv, schnell anzubringen, einfach und werde von den untersuchten Pferden gut toleriert. Außerdem biete das System eine schnelle Datenanalyse, sodass quasi schon während oder unmittelbar nach der Untersuchung Ergebnisse auf dem PC/Tablet sichtbar sind. Bei Lahmheiten an einzelnen Gliedmaßen sei das System effektiv, Probleme würden sich vor allem bei minimalen Ganganomalien oder multiplen Lahmheiten ergeben, die oftmals auch von der Apparatur falsch beurteilt werden (Kenneth, 2014, Keegan 2011). In einer anderen Studie wurden Hinterhandlahmheiten einerseits vom Lameness Locator®, andererseits von einem Tierarzt oder einer Tierärztin beurteilt. Die Übereinstimmung war statistisch signifikant, aber nicht sehr hoch. Dabei ist jedoch nicht zu vergessen, dass sich auch Tierärzt:innen untereinander oft nicht einig sind über den Lahmheitsgrad oder die betroffene Gliedmaße, weshalb dieser Aspekt nicht allzu hoch bewertet werden sollte (Kenneth, 2014, Keegan 2010). In einer Umfrage zur Nutzung und Zufriedenheit des Lameness Locators® wurde festgestellt, dass manche Tierärzt:innen das System anwenden, um lahme Pferde zu detektieren, die nach einer diagnostischen Anästhesie nicht vollständig lahmfrei gehen oder bei denen sie keine Lahmheit finden können. Andere verwenden den Lameness Locator® bei Grad 2 oder geringeren Lahmheitsgraden zur Unterstützung, während Dritte in allen Lahmheitsfällen die Apparatur zu Hilfe nehmen. Die meisten Kommentare von Befürworter:innen lauten, dass das System das Auge schärfe und den Untersuchenden objektiv halten würde (Kenneth, 2014). Die Möglichkeiten des Lameness Locators® bestehen sicherlich darin, eine genauere Dokumentation zu ermöglichen, Ankaufsuntersuchungen objektiver zu gestalten und damit auch rechtliche Sicherheiten für die untersuchenden Tierärzt:innen zu bieten. Vor allem die Leistungen von Sport- und Rennpferden, sei es im Training oder Wettkampf, können verhältnismäßig kostengünstig überwacht werden - im Vergleich zu möglichen Folgekosten nicht erkannter Lahmheit und deren Verschlimmerung während des Einsatzes (Kenneth, 2014). Das System bietet eine quantitative Messung und stellt somit gewiss einen Fortschritt in der modernen Equidenmedizin dar, jedoch muss auch der hohe Anschaffungspreis bei der Kosten-Nutzen-Rechnung berücksichtigt werden. Außerdem sind viele Kritiker:innen Keegans der Meinung, ein derartiges Unterstützungs-System sei nicht nötig, weil Lahmheitsdiagnostik in

der Praxis bis jetzt auch ohne dieses Hilfsmittel funktioniert habe und weiter funktionieren werde (Kenneth, 2014).

Equinosis® ist das Folgemodell des Lameness Locators® und wird derzeit nur noch unter diesem Eigennamen vermarktet. Bei Erwerb dieses Systems, beispielsweise bei Eickemeyer®, bekommt der Kunde zwei Pakete geliefert, die zwei Sensorsets oder bei der „lite-Version“ ein Sensorset, ein Tablet, den dazugehörigen Koffer, eine Ladestation, eine Bluetooth-Antenne, einen USB-Stick, Sensorbefestigungen, Broschüren und ein Starter-Kit enthalten. Die Sensoren sind klein und handlich und damit gut und schnell am Pferd anzubringen. Die Apparatur ist robust und durch die kabellose Übertragung können in Echtzeit Daten analysiert werden. In weniger als 15 Sekunden liefert das System Informationen bzw. von den Tierärzt:innen zu interpretierende Daten darüber, welches Bein lahm ist, ob es sich um eine Stütz- oder Hangbeinlahmheit handelt oder ob eine gemischte Lahmheit vorliegt. Um ein Vielfaches schneller als das menschliche Auge messen die Sensoren die vertikale Beschleunigung des Rumpfes, um so Asymmetrien im Kopf- und Beckenbereich im Rechts-Links-Vergleich zu detektieren. Die Ergebnisse werden dann in Form eines Diagramms auf dem Tablet dargestellt (Homepage des Herstellers).

Das im Jahr 2007 erstveröffentlichte System, wurde erstmals 2009 zum Verkauf angeboten. Mittlerweile sind laut der Homepage <https://www.equinosis.com/> über 50 Geräte weltweit im Umlauf, zwölf davon an Universitäten. Die Anschaffungskosten betragen ca. 15000\$, für die Mitarbeitenden bedarf es einer mehrtägigen Einführung zur Datengewinnung und -auswertung.

Sensorpositionen Equinosis® schematisch:

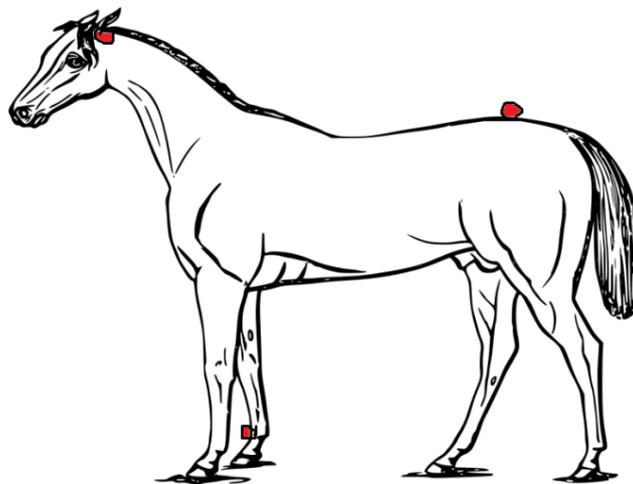


Abb. IV.7.6: Schemazeichnung der Sensorpositionen beim Equinosis® - System.

IV.7.7 EquiGait® - System

Das EquiGait®-System, entwickelt von EquiGait Ltd, UK, ist ein weiteres Analysesystem für Lahmheiten oder Gangasymmetrien. Laut Hersteller sei auch dieses System einfach anzuwenden und die ein bis fünf Sensoren liefern Daten kabellos und in Echtzeit an ein Empfängergerät. Genutzt würden dabei laut Herstellerangabe, zur Vermeidung von Störungen des Gangbilds, am Rumpf des Pferdes angebrachte Inertialsensoren. Sie berechnen die tatsächliche, vertikale Bewegung und liefern ihre Daten dann an einen Laptop oder an ein Smartphone, die mit einer entsprechenden Software ausgestattet sind.

Für dieses System gibt es im Unterschied zu den bereits vorgestellten Systemen vier Anwendungsmöglichkeiten. Das einfachste System besteht nur aus einem vorbereiteten Smartphone, das am Pferd angebracht und als Sensor genutzt wird und einem mit Windows ausgestatteten Laptop. Ein weiteres umfangreicheres System besteht aus fünf Sensoren, installiert an Genick, Widerrist, linkem und rechtem tuber coxae und am tuber sacrale. Damit könne laut Hersteller eine primäre von einer kompensatorischen Lahmheit unterschieden werden.

Eine Neuerung stelle die Acht -Sensor-Analyse von Rückenbewegungen des Pferdes dar, um beispielsweise neues Sattelzeug oder den Zaum und deren Einfluss auf das Pferd zu testen. Auch könne mit dieser Art der Untersuchung das Trainingsregime angepasst und verbessert werden. Innovativ sei auch die Möglichkeit, eine Pferd-Reiter-Interaktion qualifizieren und analysieren zu können. Dafür sind fünf bis sechs Sensoren vonnöten, von denen vier bis fünf am Pferd befestigt werden und ein Sensor am Reiter.

Auch beim EquiGait® - System wird die Untersuchung als einfach und wie folgt beschrieben:

1. Befestigung der Sensoren am Pferd/Reiter mittels Klebeband,
2. Vorführen des Pferdes in Schritt und Trab auf gerader Linie und an der Longe,
3. Analyse der Daten am PC und
4. Abmontieren des Equipments.

Das System soll vor allem Tierärzt:innen unterstützen, Lahmheiten besser diagnostizieren zu können, jedoch könne es wegen der einfachen Handhabung auch für Privatpersonen hilfreich sein, beispielsweise bei der Einschätzung von Leistungen während des Wettkampfs oder zur Anpassung des Trainings. Die komplette Ausstattung inklusive Software ist als Paket verfügbar und könne auf Anfrage bei der Firma erworben werden (<http://www.equigait.co.uk>).

Schematische Sensorpositionen EquiGait® - umfangreiches System:

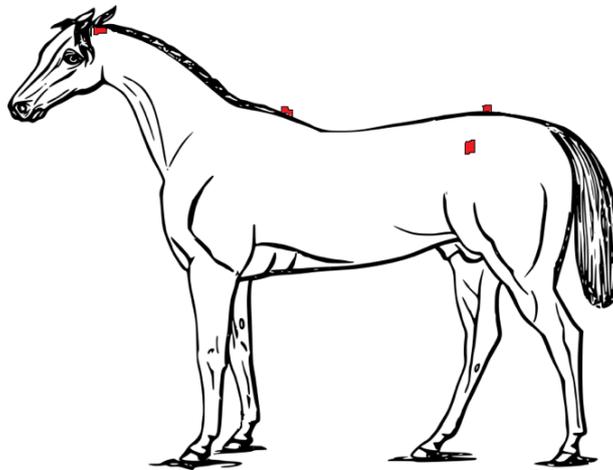


Abb. IV.7.7: Schemazeichnung der Sensorpositionen beim EquiGait® - System.

IV.7.8 Qhorse® - System

Das Qhorse®-System (Qualysis Motion Capture System) bezeichnet eine optische Bewegungsaufnahme-Technologie für Pferde und Hunde aus Schweden. Entwickelt wurde dieses System von Qualysis®, einer Firma aus Göteborg in Zusammenarbeit mit einem Forschungsteam und Expert:innen der SLU (Swedish University of Agricultural Sciences). Erstmals angewandt und validiert wurde es an der Utrecht University's Equine Clinic und der Tierklinik Lüsche GmbH, wo es derzeit, neben zwei weiteren schwedischen Kliniken, auch Verwendung findet.

Diese Technologie arbeitet mit Markern (insgesamt neun an drei Lokalisationen), angebracht an Kopf, Widerrist und Becken; die Bewegung bei Vorführung auf gerader Linie und an der Longe wird dabei von bis zu 20 Oqus 7+ - Kameras detektiert, die in einer Reithalle fest vorinstalliert sind. Zwölf davon befinden sich auf gerader Linie, acht Kameras auf dem Zirkel; sie sind getrennt nutzbar. Als eigens produzierte Software bei diesem System fungiert der Qualysis Track Manager. Die Ergebnisse werden zur Analyse direkt auf einen Bildschirm in der Halle übertragen und alle Messungen seien auf einen Blick vergleichbar.

Laut Herstellern könnten Messungen mit 400 fps durchgeführt werden, das System arbeite millimetergenau und damit sehr exakt. Außerdem gäbe es kein anderes System, das 3D-Analyse nutzen könne.

Zur Durchführung einer Untersuchung sind sechs Schritte notwendig, die im Folgenden aufgeführt werden sollen:

1. Anbringen der Sensoren am Pferd mittels doppelseitigem Klebeband,
2. Datenaufnahme (Besitzer:innen- und Tierdaten) in das System,
3. Messungen im Trab auf gerader und gebogener Linie,
4. Analyse der Messungen,
5. Vergleich von Messungen vor und nach Nervenblocks oder Beugeproben,
6. Ausdrucken der Ergebnisse.

Dieses System fußt vor allem auf der Auswertung von Asymmetrien - sowohl in der Übersichtsaufnahme als auch beim Vergleich einzelner Tritte. Dies geschieht durch Analyse der Daten auf dem Bildschirm und Einbeziehung der Videoaufzeichnungen.

Es sind keine Details zur Darstellung von Informationen bzw. Schätzungen verfügbar. Es ist aufgrund mangelnder Informationen nicht klar, ob auch in diesem System die begutachtenden Expert:innen die Interpretation der Messdaten aus grafischen Darstellungen selbst durchführen müssen.

Sensorpositionen Qualysis® schematisch:

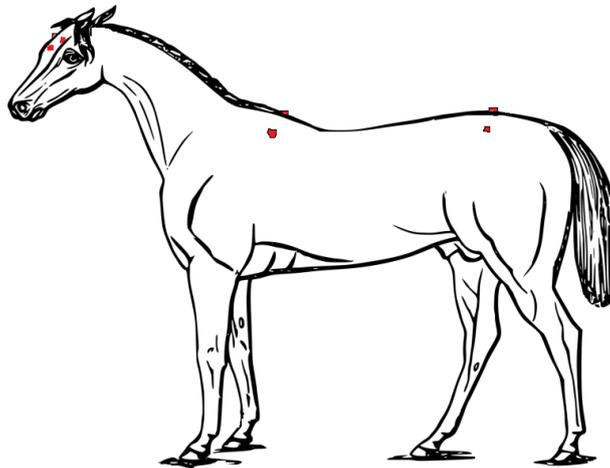


Abb. IV.7.8: Schemazeichnung der Sensorpositionen beim Qualysis® - System.

Literaturübersicht

| Sensorsysteme | Anzahl Sensoren | Art der Sensoren | Datenübertragung | Erhältliches Paket | Kosten | Anbringung der Sensoren | Extras | Zweck | Gemessene Daten |
|-------------------------------------|--|-------------------|----------------------|---|-----------------------|---|--|--|--|
| <i>Equusense</i> ® (<i>Ultra</i>) | 4 (8-18) | Acc., Gyro., Mag. | GPS, WiFi, Bluetooth | Sensoren, Laptop, Software, Befestigung, service support | unbek. | Kruppe, Widerrist, Stim, seitl. Hufwand (Gamaschen, Hufglocken) | Zusätzl. Sensoren für Herz-Kreislauf, Atmung, GI, Temp., O2-Druck, Software für Forschung und Praxis | Konditionstraining, Leistungsbeurteilung, Wissenschaft, Beugeproben, Anästhesien, Vergleich unter TA | Fußungsphase, Kopfbeschleunigung, Höhe, Hufform, Vorführbogen, Fesselstreckung, Unterschiede tubera sacralia |
| <i>Equimetrix</i> ® | 1 | Dreidim. Acc. | USB | Sensor, Kabel, Software | unbek. | Gurt oder Sattel | unbek. | Leistungsbeurteilung Sport, Wettkampf und Training, Auswerten von Jährlingen und Zuchsstuten, Bewegungsanalyse | Dreidimensionale Rumpfbeschleunigung, Schrittcharakteristika, Regelmäßigkeits-/Symmetrieparameter, LH |
| <i>Equinosis</i> ® | 3 | 2 Acc., 1 Gyro. | kabellos | Tablet, Koffer, Ladestation, Antenne, Befestigungen, Starterkit | 15000 \$ | Kopf, Becken, rechtes Vorderbein | unbek. | Diagn. Anästhesien, Dokumentation, AKUs, Überwachung, Beugeproben | HD Max und HD Min, Kopfbewegung/-beschleunigung, Fußungsphase vo re |
| <i>EquiGait</i> ® | 1-5 (-8) | unbek. | kabellos | Smartphone, Laptop, 5- oder 8-Sensorenset | 11900 \$ (6 Sensoren) | Genick, Widerrist, tubera coxae, tubera sacrale (Klebeband) | Messen von Pferd-Reiter-Interaktion möglich, Unterscheidung primäre und kompensator. LH | Testen von Sattelzeug/Zaum, LH, Gangasymmetrie, Trainingsregime, für TA und Privatpersonen | unbek. |
| <i>QHorse</i> ® | 9 Marker und bis zu 20 Kameras, vorinstalliert | - | kabellos | - | unbek. | Kopf, Widerrist, Becken (Klebeband) | Nur stationär möglich, 3D-Analyse | Auswertung von Asymmetrien | unbek. |

Tab. IV.7.9: Tabellarische Zusammenfassung der fünf derzeit verwendeten und im Fließtext beschriebenen Inertialsensorsysteme.

V. Material und Methode: Untersuchungen zur Bestätigung der (Nicht-)Funktionstüchtigkeit des „Sensorbasierten KI- Systems“ mit entsprechender Fallzahl und standardisiertem Vorgehen

V.1 Vorstellung des „Sensorbasierten KI-Systems“ der Universität Passau/FAU Erlangen-Nürnberg (Größe, Software, Anwendung)

Lahmheit lässt sich anhand von Bewegungsmustern der Beine während kontrollierter Übungen und mit Hilfe von statistischen Modellen erkennen und differenzieren. Deshalb wurde in dieser Arbeit versucht, ein System zu entwerfen, das, anders als bekannte Sensorsysteme, eine Berücksichtigung der vier Gliedmaßen und keine Becken- und Kopfbewegung einschließt und soweit uns bekannt, erstmals KI zum Trainieren des Systems verwendet. Bei der hier durchgeführten Studie handelt es sich um eine Pilotstudie, d.h. eine vorausgehende Untersuchung für eine Entwicklung und Validierung, um wichtige Einflußfaktoren zusammenzutragen (Duden, 2020). Es kann nicht auf bereits bestehende Daten zurückgegriffen oder Bezug genommen werden; vielmehr geht es in dieser Dissertation darum, ein Messkonzept konzeptionell zu analysieren, neue Daten zu sammeln, ein Sensorsystem zu testen und Schlussfolgerungen für die weitere Entwicklung eines Prototyps abzuleiten.

Bei den in dieser Studie verwendeten Sensoren handelt es sich um Shimmer3 IMU Sensoren, also Inertialsensoren. Jeder Sensor beinhaltet 3-Axenenaufnehmer für Beschleunigung (Accelerometer), Drehrate (Gyroskop) und Erdmagnetfeldorientierung (Magnetometer). Die Sensoren werden von der Firma Shimmer® produziert und sind kommerziell erhältlich, beziehungsweise können von Forschungseinrichtungen wie vom Lehrstuhl für Digital Health der Universität Erlangen-Nürnberg (Vorsitz: Prof. Dr. Oliver Amft) erworben werden. Am Anfang eines Untersuchungstages werden diese Sensoren kalibriert und konfiguriert und vor jeder einzelnen Untersuchung zusätzlich synchronisiert, so dass alle zum gleichen Zeitpunkt mit der Messung beginnen und die Messdaten später auch in der Grafik am PC sichtbar sind. Für die Konfigurierung wird eine Software namens „Consensys“ verwendet, für die Kalibrierung heißt sie „Shimmer 9DoF Calibration“. Nach diesen Einstellungen werden die Sensoren mittels Klettverschluss-Taschen an den Gamaschen (in unserem Fall erworben von HKM Sports Equipment®) angebracht, diese wiederum an den vier Gliedmaßen der Probanden.

Außerdem werden für die Validierungsstudie zwei Kameras (in unserem Fall von Sony®) eingesetzt, die die Bewegung des Pferdes von hinten als auch von der Seite filmen. Dafür wird

eine der Kameras am Ausgangspunkt der geraden Linie installiert; die zweite muss von einem Helfer oder einer Helferin parallel zum Pferd mitgeführt werden, um später die filmischen Aufzeichnungen mit den Sensordaten vergleichen zu können. Sollte das Produkt in Zukunft einmal kommerziell erhältlich sein, werden nur noch Sensoren und Gamaschen benötigt; Kameraaufnahmen würden dann überflüssig, weil sie nur für die erstmalige Datengewinnung vonnöten sind.

Für die Auswertung der Zeitreihendaten wird spezifische Software eingesetzt, beispielsweise, um die Sensordaten von x-, y- und z-Achse darzustellen, siehe Abb. V.1.1, V.1.2, V.1.3, V.1.4. Die einzelnen Ausschläge der Beschleunigungssensoren (x/z-Achse) kennzeichnen die Schritte des Pferdes. Mit höherer Laufgeschwindigkeit steigt die Anzahl der Ausschläge pro Zeiteinheit. Gyroskope liefern kaum visuell erkennbare Zusammenhänge mit Gangablauf. Derartige Abbildungen können dann digital übereinander gelegt und bestmöglich verglichen werden, sodass Unregelmäßigkeiten (wie eine Lahmheit, die beispielsweise eine Schrittverkürzung verursacht), auffallen. Nähere Informationen zur Auswertung der Daten liefert Kapitel V.4.

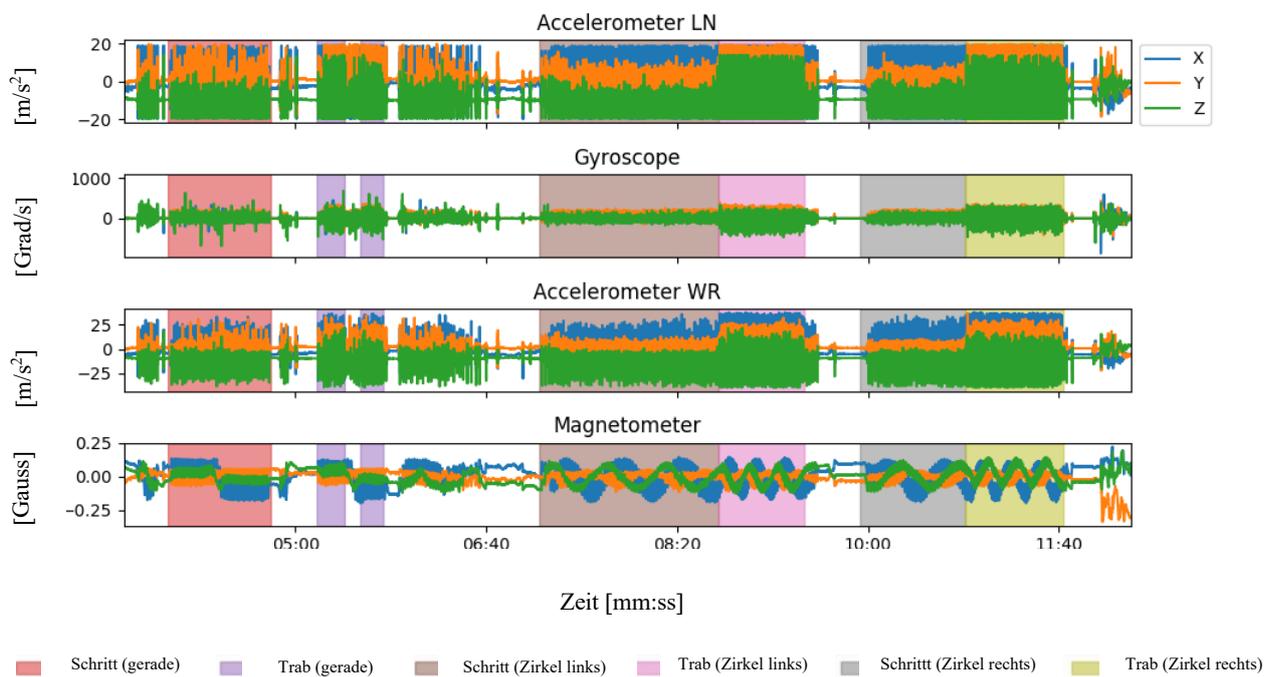


Abb. V.1.1: Beispielhafte dreidimensionale Darstellung (x,y,z-Achse) der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, Übersicht, Accelerometer LN stellt die rauscharme Beschleunigung (+/- 2g) dar, Accelerometer WR die Beschleunigung mit weitem Aufnahmebereich (+/- 8g).

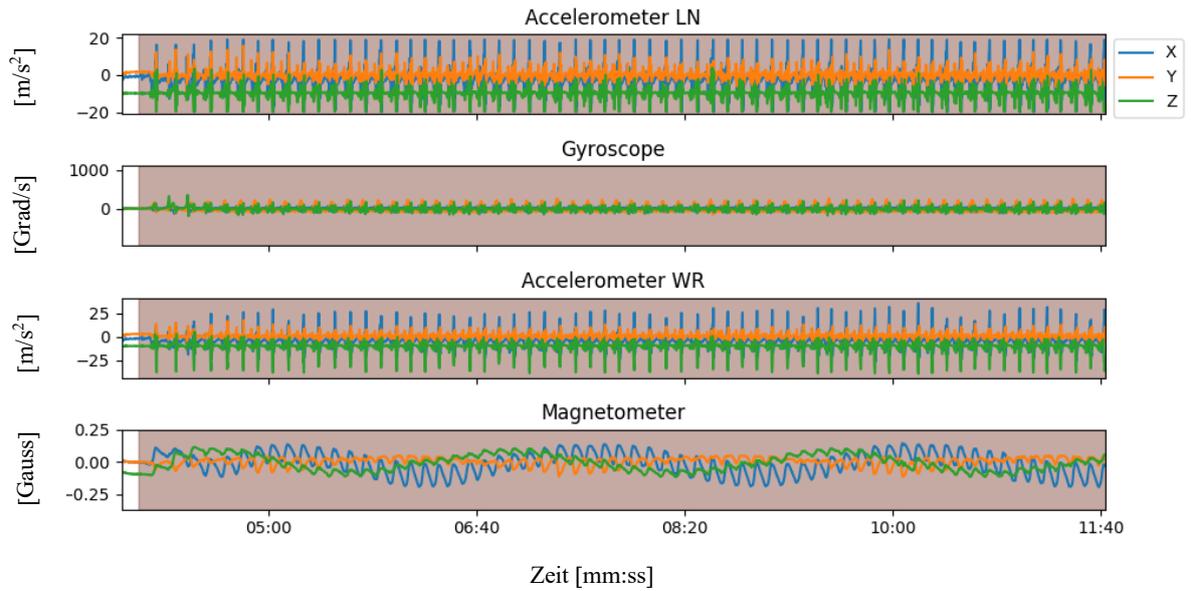


Abb. V.1.2: Beispielhafte Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds im Schritt auf dem Zirkel, linker Hand, Ausschnitt.

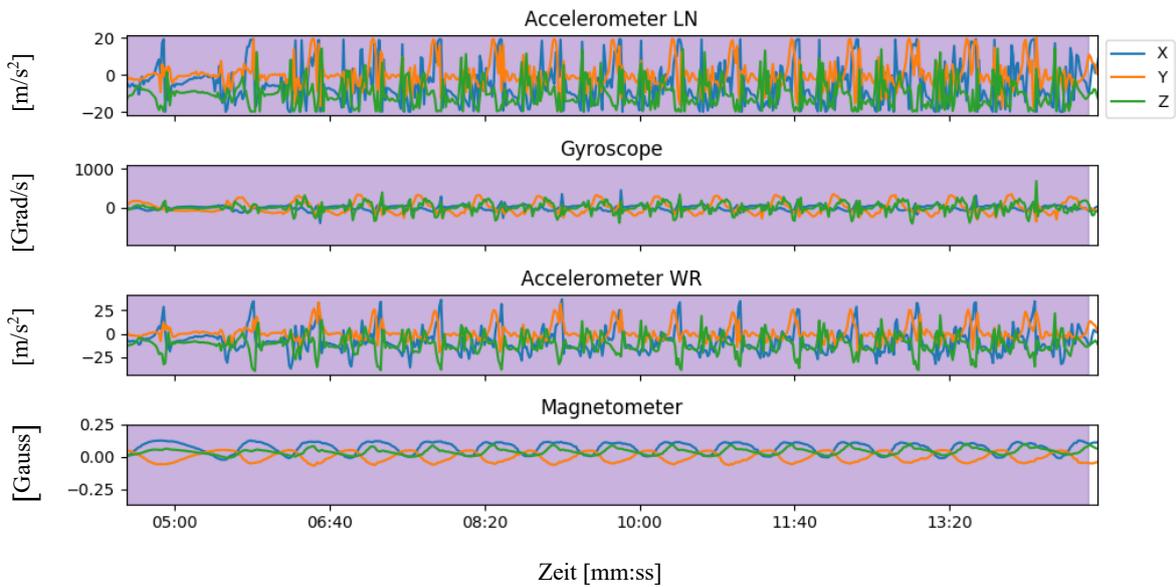


Abb. V.1.3: Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, Trab auf gerader Strecke, einfache Strecke, vergrößerter Ausschnitt.

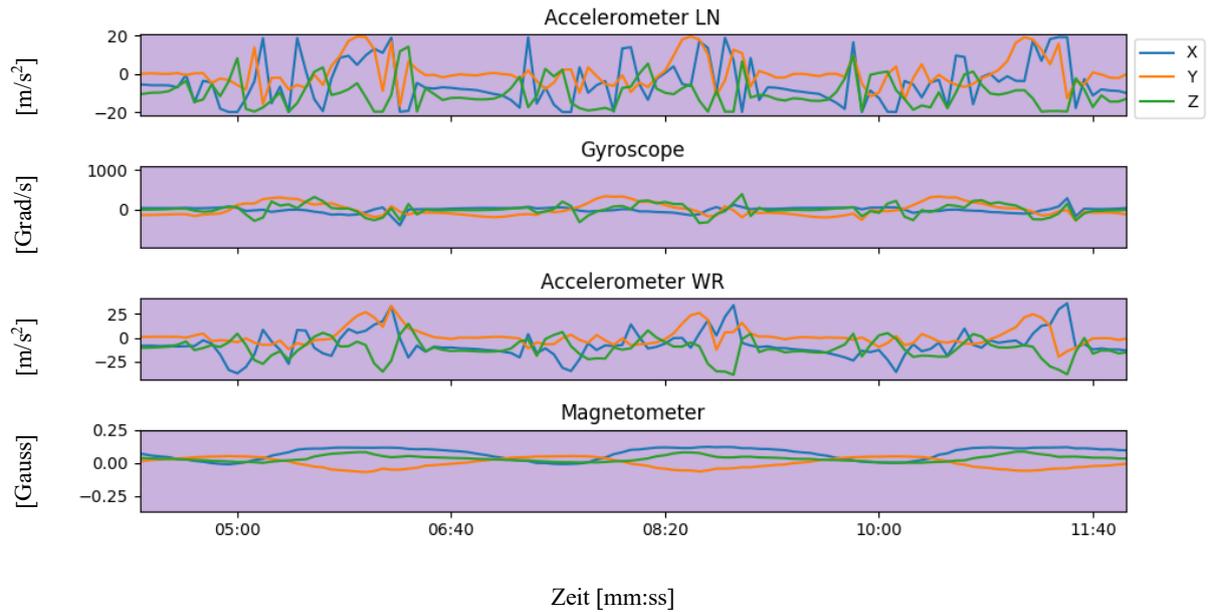


Abb. V.1.4: Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, Trab auf gerader Strecke, weiter vergrößerter Ausschnitt.

V.2 Benötigtes Material und Untersuchungsbedingungen

Für die Untersuchung mit dem „Sensorbasiertes KI-System“ werden zunächst vier Shimmer® - Sensoren inklusive Ladestation, vier Standard-Gamaschen für Vordergliedmaßen (präpariert mit Klettverschlussaschen für die Sensoren; Bilder V.2.1/2), zwei Kameras und eine Vorführstrecke benötigt. Einerseits wird eine gerade Strecke mit hartem Boden und einer Länge von circa 30 Metern, andererseits eine Longiermöglichkeit auf bevorzugt weichem Boden mit einem Radius von circa vier Metern benötigt, wo das Pferd rechter und linker Hand vorgeführt werden kann. Weiterhin sind, zumindest für die Testläufe, zwei Helfer:innen nötig, die die Kameras bedienen und ein:e Helfer:in, meist die Tierbesitzer:innen, die die Patienten an der Hand und an der Longe vorführen können.



Abb. V.2.1



Abb. V.2.2

Abb. V.2.1: Eingesetzte Inertialsensoreinheiten (Modell: Shimmer®) - (rot) an der Ladestation.

Abb. V.2.2: Eingesetzte Gamasche für das rechte Vorderbein des Pferdes mit Sensortasche (rot).

Bei Ankunft am Stall wurde zunächst immer eine Anamnese mit den Pferdebesitzer:innen durchgeführt, wobei nach Besitzer:in- und Tiernamen, Rasse, Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht des Pferdes gefragt wurde. Des Weiteren wurde sich nach Vorbehandlungen, vorangegangenen Untersuchungen und Diagnosen erkundigt und alles schriftlich auf einem Untersuchungsprotokoll festgehalten. Nach Unterschrift der Einverständniserklärung seitens der Tierbesitzer:innen wurde mit den Vorbereitungen begonnen. Das Vorgehen und etwaige Vorkommnisse (Unwilligkeit des Pferdes, selbstständiger Gangartwechsel etc.) wurden bei jeder Untersuchung während der kompletten Datensammlung durch eine Beobachterin, in unserem Fall war das die Autorin, auf einem Vordruck protokolliert. Der Vordruck zum Untersuchungsprotokoll ist im Anhang abgebildet.

Nach der Kalibrierung der Sensoren im Ladegerät wurden diese mittels dreimaligen Handaufschlags synchronisiert und anschließend in die Taschen an den Gamaschen verpackt.



Abb. V.2.3,1-3: Rot-gekennzeichnete Gamasche der rechten Vorderhand mit Position und Befestigung des Sensors.

Ein angebrachter Farbcode an den Sensoren, Gamaschen und Taschen sorgt dafür, dass immer der gleiche Sensor an die gleiche Gamasche kommt und auch richtig herum in den Taschen platziert wird. Messfehler durch falsche Positionierung der Sensoren können so ausgeschlossen werden. Die Untersuchungsschritte sind im Folgenden numerisch aufgeführt.

V.3 Untersuchungsschritte

1. Anamnese
2. Kameras positionieren (Positionen siehe Bild), Start- und Endpunkt der Bahn festlegen,

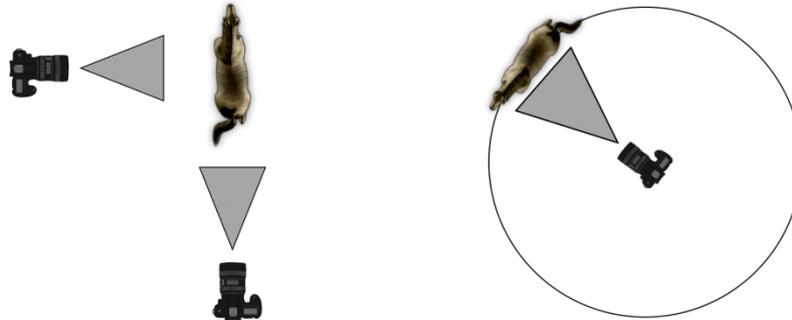


Abb. V.3: Kamerapositionen während der Aufnahme auf der geraden Strecke und rechts die Kameraposition an der Longe (links herum).

3. Gamaschen mit Sensoren wie bei täglicher Anbringung üblich an den Röhrebeinen der Pferde befestigen,
4. Front-Kamera in Aufnahmemodus schalten, seitliche Kamera einschalten, diese wird von Kamerafrau oder Kameramann parallel zum Pferd mitgeführt,
5. Pferd auf gerader Linie circa 50 Tritte Schritt führen (ca. 30 m). Bei unseren Untersuchungen ließen wir die Pferdebesitzer:innen eine ganze Länge hin und zurück Schritt führen, damit sicher ausreichend Datenmaterial gewonnen werden kann.
6. Pferd in Laufrichtung umdrehen und dann erst fünf Sekunden Pause (keine Bewegung) oder noch vor dem Richtungswechsel fünf Sekunden Pause.
7. Auf gerader Linie 60 Tritte traben lassen (ca. 50 m), dies entspricht bei uns jeweils wieder einer ganzen Länge hin und zurück.
8. Fünf Sekunden Pause ohne Bewegung,
9. Pferd auf beiden Händen longieren (zuerst linker Hand im Schritt und Trab, danach rechter Hand, pro Gangart und Richtung circa eine Minute), Kreisradius: ca. 4 Meter (vor dem Handwechsel fünf Sekunden Pause).
10. Gamaschen vom Pferd abnehmen und Sensoren abbauen,
11. zweite Sync-Geste durchführen und Sensoren ausschalten,
12. Kameras ausschalten.

Die Vorführung des Pferdes erfolgt an der Hand im Schritt auf gerader Linie mit circa 50 Tritten, das bedeutet ca. 15 Meter vor und zurück (in unseren Fällen auf mittelhartem bis hartem Boden). Danach fünf Sekunden Stehpause für das Pferd, um die Sensoren eine Inaktivitätsphase messen zu lassen und die verschiedenen Gangarten später in der Grafik besser unterscheidbar darstellen zu können. Dieselbe Strecke wird dann zweimalig im Trab bewältigt, so dass circa 50 Meter aufgezeichnet werden können. Nach einer erneuten 5-Sekunden-Stehpause wird das Pferd auf beiden Händen longiert. Zuerst linker Hand im Schritt, danach im Trab. Vor dem Handwechsel nach rechts sind wiederum fünf Sekunden Pause einzuhalten. Abschließend werden die Gamaschen vom Pferd heruntergenommen, die Sensoren abmontiert und erneut synchronisiert, bevor sie ausgeschaltet werden oder beim nächsten Pferd Verwendung finden. So nimmt jede Aufnahme ungefähr 15 Minuten in Anspruch, was durchaus mit einer adspektorischen Lahmheitsuntersuchung durch Veterinär:innen vergleichbar ist. Die Sensoren werden im Anschluss daran via USB-Port an den PC angeschlossen und die Daten heruntergeladen. Zur Auswertung der Daten wird eine spezielle Software benutzt, die vom Lehrstuhl für Digital Health um Professor Oliver Amft und Dr. I. Luis Lopera G. entwickelt wurde.

V.4 Auswertung der Daten

Nachdem die Sensoren von den Gamaschen abgenommen und die Messdaten auf den PC übertragen wurden, erfolgt die Auswertung der Daten, bestehend aus Rohdaten und Kalibrierungsparametern. Die Auswertung beinhaltet eine Datenvorverarbeitung, die Schritterkennung, eine Merkmalsextraktion und ein Erstellen von Modellen mit Hilfe von verschiedenen Softwarelösungen. Mit der Software ELAN (Software zur Videotranskription) wurden Annotationen festgehalten, um die verschiedenen Gangarten digital differenzieren zu können, sowie das zugehörige Studienprotokoll gespeichert. Bei der Datenvorverarbeitung werden Rohdaten analysiert und gefiltert, Sensororientierung (Euler-Winkel und Quaternionen) berechnet und Daten annotiert. Danach wird ein Gangbildzerlegungs-Algorithmus angewendet und mehrere Merkmale angelegt. Die Merkmale werden ausgehend von Accelerometer, Gyroskop, Magnetometer, sowie Orientierung berechnet. Wegen der Fülle an Merkmalen wurden Merkmalsselektionsalgorithmen benutzt, um die ca. 300 Merkmale in Merkmal-Sets zu komprimieren. Tabelle V.4 zeigt eine Auswahl an Merkmalen, die zur Schätzung des Lahmheitsgrades vom KI-System verwendet wurden. In der beispielhaften Darstellung befinden sich Merkmale, die zur Beurteilung der Grade mit und ohne Berücksichtigung von Kenngrößen der Pferde hinzugezogen wurden und ein verwendetes Merkmal setzt sich

grundsätzlich aus der Sensorart, der Achse, dem dazugehörigen Merkmal, der einbezogenen Gliedmaßen, einem statistischen Wert, der Gangart des Pferdes und der lahmen Gliedmaße(n) zusammen.

| Art des Sensors | Achse | Merkmal | berücksichtigte Gliedmaße(n) | Statistik | Gangart | betroffene Gliedmaße(n) |
|------------------|-----------|------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| Accelerometer WR | Magnitude | Ruck | 4 Beine | Mittelwert | Zirkel, Schritt, li | vl_hl |
| Accelerometer WR | Y | Energie | 4 Beine | Standardabweichung | Schritt gerade | vl_hl |
| Accelerometer LN | Y | Energie | 1 Bein | Standardabweichung | Schritt gerade | vo re |
| Magnetometer | Y | durchschn. Kraft | 1 Bein | Mittelwert | Zirkel, Schritt, re | vo re |
| Magnetometer | Z | Ruck | 1 Bein | Standardabweichung | Zirkel, Schritt, re | vo re |
| Accelerometer WR | Y | Ruck | 1 Bein | Mittelwert | Zirkel, Trab, re | hl |
| Magnetometer | Magnitude | Ruck | 1 Bein | Maximum | Schritt gerade | hl |

Tab. V.4: Beispiele von Merkmalen, die zur Schätzleistung für den Lahmheitsgrad führten; WR: Weitbereichsbeschleunigung, LN: lineare Beschleunigung, vl: vorne links, hl: hinten links, vo re: vorne rechts.

Mithilfe der Merkmale wird von der Software im Anschluss der Lahmheitsgrad berechnet. Dabei wurden unterschiedliche Eigenschaften der Probanden mit in die Bewertung einbezogen, um zu untersuchen, welches Kriterium den größten Einfluss auf den Lahmheitsgrad hat. In unserem Fall war es die Größe des Pferdes, das Gewicht des Pferdes, ohne Gruppierung und Größe und Gewicht im Verhältnis zueinander (Kaliberindex, s.o.), sowie Größe, Gewicht und Kaliberindex zusammen (siehe Tab. VI.4.1).

Das Schätzverfahren zur Bestimmung der Lahmheit aus den Sensordaten basiert auf den folgenden Schritten:

1. Jeder Schritt wird segmentiert anhand der vertikalen Beschleunigung. Anschließend werden die Merkmale aus den segmentierten Sensordaten pro Schritt berechnet. Schließlich werden paarweise Verhältnisse der Merkmalswerte ermittelt.
2. Mit den berechneten Merkmalen wurden die einstufigen Klassifizierer trainiert, wobei jeweils die Daten des zu untersuchenden Pferdes aus dem Modelltraining ausgenommen

wurden. Für die einstufigen Klassifizierer, wurden die Trainingsdaten durch Größe, Gewicht und Kaliberindex stratifiziert, d.h. nur Pferde mit ähnlichen Eigenschaften wurden beim Training des jeweiligen Klassifizierers berücksichtigt. Die Pferdegröße wurde in Quintilen, Gewicht und Kaliberindex in Quartilen berücksichtigt. In Kombination mit einem weiteren, nichtgruppierenden Klassifizierer wurden damit insgesamt vier einstufige Klassifizierer analysiert. Alle einstufigen Klassifizierer basierten auf Entscheidungsbäumen.

3. Zur Merkmalsselektion wurde die Merkmalsrelevanz als Metrik mit einer Auswahlsschwelle eingesetzt.

4. Für den hierarchischen Klassifizierer wurden die Ergebnisse der einstufigen Klassifizierer mit den Pferdeeigenschaftsangaben fusioniert. Auch hier wurden die Daten jedes zu untersuchenden Pferdes aus den Trainingsdaten ausgeschlossen. Als Klassifikationsmethode wurden ein Random Forest mit 200 Bäumen eingesetzt.

V.5 Zuteilung eines Lahmheitsgrades

Die durchgeführten Untersuchungen wurden zum Trainieren der Software, also der Künstlichen Intelligenz verwendet, indem dem jeweiligen Pferd, basierend auf der durchschnittlichen Einschätzung der Veterinär:innen, ein Lahmheitsgrad zugeordnet wurde. Das System musste so erst „lernen“, welche graphische Darstellung welchem Lahmheitsgrad entspricht. Zudem kann es aber auch randomisiert Pferde untereinander vergleichen, z.B. fünf untersuchte Pferde mit 20 anderen untersuchten Pferden und sich dadurch stetig selbst verbessern. Es stellt z.B. fest, dass der vom Menschen zugeteilte Lahmheitsgrad 2 eines Pferdes nicht mit den anderen Lahmheitsgrad-2-Pferden übereinstimmt und kann ihn somit nach unten oder oben korrigieren. Je mehr Untersuchungen in das System eingespeist werden, desto genauer kann am Ende der Lahmheitsgrad bestimmt werden. Das Lernen der KI erfolgt so effizient, dass am Ende neu hinzugekommene Lahmheitsuntersuchungen mit dem restlichen Pool verglichen werden können und ein bestimmter Lahmheitsgrad zugeteilt werden kann - auch ohne menschliche Hilfe. Da die meisten Untersuchungen zu anderen Sensor- und Messtechniken in den USA durchgeführt wurden und die Werte am Ende vergleichbar sein sollen, wird in dieser Arbeit das amerikanische AAEP-System mit der 5-Punkte-Skala eingesetzt. Es muss jedoch erwähnt werden, dass eine:r der Untersucher:innen in der vorliegenden Studie aufgrund Unschlüssigkeit trotzdem teilweise halbe Lahmheitsgrade vergeben hat. Damit erklären sich die halben Grade in der späteren Datenauswertung. Da Tiere mit einer hochgradigen Lahmheit wie Lahmheitsgrad 4 oder 5 nicht problemlos und ohne Schmerzen, Leiden und Schäden vorgeführt und nicht ausreichend lange untersucht werden können, wurden sie in der vorliegenden Arbeit

bei der Auswertung der Sensordaten zur Berechnung der Trefferquoten des Systems nicht berücksichtigt. Zudem müssen Tiere mit hochgradigen Lahmheiten auch selten von objektiven Systemen bewertet werden. Bei der Auswertung der Ergebnisse war erkennbar, dass die Berücksichtigung von Lahmheitsgrad 4 und 5 zur Verschlechterung der Trefferquote des Systems führt. Es wurden aber insgesamt sechs Pferde mit Grad 4 und 5 von den Tierärzt:innen bewertet, bei der Einteilung der Probanden im Ergebnisteil mit aufgenommen und in der Tabelle gesondert gekennzeichnet.

Eine erste Einschätzung des Lahmheitsgrades erfolgte vor Ort während der Untersuchung durch die Autorin. Weiterhin wurden alle Lahmheitsuntersuchungen auf Video aufgezeichnet und konnten zwei weiteren Tierärzt:innen zur Einschätzung vorgespielt werden. Es handelt sich bei den beiden weiteren Untersuchenden um den Praxisinhaber der Tierarztpraxis Thurmading mit über 15-jähriger Pferdepraktiker-Erfahrung und um eine Angestellte, die ebenfalls über 15 Jahre als Pferdeterärztin tätig ist. Somit kann eine Übereinstimmung bzw. Einigkeit zwischen den Untersuchenden analysiert werden. Die Beurteilung erfolgte blind, d.h. der/die jeweilige Untersucher:in wusste nicht, welchen Lahmheitsgrad die anderen Beurteilenden vergeben hatten.

VI. Ergebnisse

VI.1. Genauere Auflistung der Probanden, Einteilung in Gruppen

An der Studie nahmen 76 verschiedene Pferde (davon 46 Wallache, 28 Stuten und zwei Hengste, Abb. VI.1.1) in einem Alter von 3-26 Jahren (Abb VI.1.3) teil. Während der Laufzeit der Studie wurden zwei Pferde doppelt untersucht, da die Ursache der Lahmheit im Laufe der Studienzeit an der zunächst betroffenen Gliedmaße erfolgreich behandelt werden konnte, die Pferde nun aber an einem anderen Bein lahmten. Somit konnten insgesamt 78 gültige Lahmheitsuntersuchungen (s. Identifikationsnummern der Pferde im Folgenden) ausgewertet und der Evaluierung zugeführt werden. Wegen sensortechnischer Probleme in der Anfangsphase der Studie oder inakzeptabler Untersuchungsbedingungen, konnten insgesamt neun Untersuchungen nicht ausgewertet werden (siehe Tab.VI.1.1). Die ungültigen Untersuchungen sind gesondert in der Tabelle aufgeführt. Drei Pferde zeigten dauerhaften Ungehorsam, da während der Vorführzeit keine Gangart zumindest über kurze Strecken aufrechterhalten werden konnte. Die ungehorsamen Pferde sind ungenügend vergleichbar zu den übrigen Pferden und wurden daher bei der Lahmheitsgradberechnung ausgeschlossen. Auch die ungehorsamen Pferde sind in der Tabelle aufgeführt und gekennzeichnet. Die an der Studie teilnehmenden Pferde gehören zu einem Großteil zum Kundenstamm der Tierarztpraxis Thurmading, Pleiskirchen in Oberbayern und wurden im Zuge einer Untersuchung wegen Lahmheit bewertet. Weitere Pferde kamen aus Betrieben, in welchem ein Kundenpferd untersucht wurde. Diese Tiere wurden vor Ort vorgestellt und das System und die Untersuchung wurden zur kostenlosen Entscheidungsfindung für oder gegen eine tierärztliche Behandlung durch die Haustierärzt:innen herangezogen.

Ergebnisse

| Ordnungsnummer des Pferdes | Alter | Größe | Gewicht | Kaliberindex KM(kg)/Stockmaß (cm) | Geschlecht | Rasse | Pferdetyp | Untergrund bei Untersuchung *) | Vorkommnisse bei der Untersuchung | im eigenen Patientengut *) | Bekannte Befunde *) |
|----------------------------|-------|-------|---------|-----------------------------------|------------|------------------------|-------------|---|---|--|--|
| 1 | 15 | 155 | 530 | 3,42 | Wallach | Haflinger | Sonstige *) | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 2 | 21 | 174 | 630 | 3,62 | Wallach | Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Hi beidseits Spat, Arthrose Fesselgelenk vorne beidseits |
| 3 | 11 | 147 | 450 | 3,06 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | im Trab rechts 1x angaloppiert | Ja | Nein |
| 4 | 5 | 150 | 450 | 3,00 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | linksherum einmal angetrabt vor Schritt, einmal ausgefallen | Ja | Nein |
| 5 | 12 | 165 | 574 | 3,48 | Wallach | Engl. Vollblut | Vollblut | Teer, Sand (Halle) | im Schritt auf gerader Linie 1x angetrabt, an der Longe li 1x angetrabt im Schritt | Ja | abgeheilte Griffelbeinfraktur vo li, sehr flacher Huf vo li, hi re Huf tief eingeschnitten |
| 6 | 7 | 158 | 500 | 3,16 | Wallach | Quarter-Mix | Quarter | Teer, Sand (Halle) | Trab links 1x erschrocken | Ja | Nein |
| 7 | 21 | 161 | 480 | 2,98 | Wallach | Vollblut | Vollblut | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Kissing spines, Hyaluroninjektion vo re (LH behoben) |
| 8 | 13 | 151 | 480 | 3,18 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | linksherum einmal angetrabt vor Schritt | Ja | Nein |
| 9 | 3 | 147 | 400 | 2,72 | Stute | Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | linksherum einmal angetrabt vor Schritt | Ja | Nein |
| 10 | 5 | 147 | 450 | 3,06 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 11 | 7 | 170 | 600 | 3,53 | Wallach | Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | Klettverschluss hatte sich geöffnet, zuerst Zirkel, dann Gerade wiederholt | Ja | Nein |
| 12 | 14 | 167 | 550 | 3,29 | Stute | Bayr. Warmblut | Warmblut | beides Teer, longieren nur an Strick möglich, sehr kleiner Radius | longieren nur an Strick möglich, sehr kleiner Radius | Ja | Nein |
| 13 | 25 | 147 | 400 | 2,72 | Wallach | Huzulen-Mix | Sonstige | Teer, befestigter Kies | - | Ja | Nein |
| 14 | 12 | 150 | 450 | 3,00 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 15 | 7-10J | 150 | 400 | 2,67 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 16 | 8 | 150 | 450 | 3,00 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 17 | 25 | 150 | 480 | 3,20 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Hufrehevorbeltung, Strahlfaule vorne |
| 18 | 15 | 144 | 400 | 2,78 | Hengst | Haflinger | Sonstige | harter Feldweg, Sand (Halle) | - | Nein | Nein |
| 19 | 4 | 147 | 430 | 2,93 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 20 | 20 | 152 | 550 | 3,62 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | befestigter Weg, Sand (Sandplatz) | im Trab oft angaloppiert | Nein | Hufrolle, vo li diagnostiziert |
| 21 | 17 | 155 | 500 | 3,23 | Hengst | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 22 | 9 | 190 | 750 | 3,95 | Wallach | Shire Horse | Kaltblut | harter Feldweg, Sand (Sandplatz, matschig) | - | Nein | Nein |
| 23 | 16 | 167 | 750 | 4,49 | Wallach | Poln. Warmblut | Warmblut | Teer, Kies | - | Nein | vorne Fehlstellung |
| 24 | 4 | 155 | 545 | 3,52 | Stute | Warmblut-Quarter-Mix | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | nicht longiert, sondern an der Hand geführt auf Zirkel | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Bänderschaden und lgr Arthrose im Knie nach Weideverletzung, chron. ISG-Entzündung, Dornfortsätze osteoporös |
| 25 | 19 | 110 | 350 | 3,18 | Stute | Shetland Pony | Pony | Teer, Teer | nicht longiert, sondern an der Hand geführt auf Zirkel | Nein | Fehlstellung, Beckenschiefstand |
| 26 | 13 | 150 | 430 | 2,87 | Wallach | Araber | Vollblut | Sand (Sandplatz) | Pferd unwillig, galoppiert an, andere Pferde stehen im Weg und er muss immer wieder abbremsen | Ja | vorangegangene Hufrehe vo beidseits |
| 27 | 18 | 160 | 1000 | 6,25 | Wallach | Kaltblut | Kaltblut | Pflaster, Sand (Sandplatz) | - | Ja | Hufbeinastverknöcherung vo beidseits |
| 28 | 14 | 152 | 450 | 2,96 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein | Nein |
| 29 | 8 | 175 | 750 | 4,29 | Wallach | Clydesdale | Kaltblut | harter Feldweg, Sandplatz (matschig) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spinale Ataxie |
| 30 | 6 | 175 | 660 | 3,77 | Wallach | Oldenburger | Warmblut | harter Feldweg, Sand (Roundpen) | - | Nein | hi re Chip-operiert, vo re Koppelunfall |
| 31 | 5 | 145 | 380 | 2,62 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Schweifschiefehaltung nach links |
| 32 | 26 | 153 | 450 | 2,94 | Stute | Paint Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufrolle vo re, Spat hi li |
| 33 | 16 | 156 | 530 | 3,40 | Wallach | Araber-Lippizaner-Mix | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | im Schritt rechts 1x angetrabt | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spat |
| 34 | 11 | 145 | 430 | 2,97 | Wallach | Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufbeinriss im MRT |
| 35 | 14 | 148 | 510 | 3,45 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spat hi li |
| 36 | 17 | 152 | 500 | 3,29 | Wallach | Tinker | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Nein | alte Stichverletzung Ballen (CT, Wundspülung), Schleimbeutelentzündung Fesselgelenk und Hufgelenk Hufbeinastverknöcherung, Zyste Hufbein |
| 37 | 11 | 155 | 500 | 3,23 | Stute | Haflinger-Kaltblut-Mix | Sonstige | Teer, Sand (Roundpen) | - | Ja | Fesselringbandschaden hi li, vorne beidseits |
| 38 | 17 | 160 | 552 | 3,45 | Wallach | Haflinger | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufbeinastverknöcherungen |
| 39 | 19 | 162 | 580 | 3,58 | Stute | Warmblut/Pinto | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | bekannte Hufrolle vo beidseits |
| 40 | 15 | 172 | 600 | 3,49 | Wallach | Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | alte Hufbeinfraktur vo re, Anästhesie-pos. hi re Knie |
| 41 | 5 | 170 | 550 | 3,24 | Wallach | Oldenburger | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | dunkel bei Vorführen auf gerader Linie, dieser Teil der US schwer beurteilbar für R2 und R3 | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufbeinastfraktur vo re |
| 42 | 15 | 162 | 500 | 3,09 | Wallach | Shagya-Araber | Vollblut | Teer, Sand (Halle) | im Schritt linksherum kurz angetrabt, rechtsherum im Trab kurz durchgegangen vor dem Halten | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufgelenkentzündung im Aushellen, alte Sehenschäden vorne |
| 43 | 12 | 170 | 550 | 3,24 | Wallach | Traber | Vollblut | harter Feldweg, Sandplatz (matschig) | - | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Nein, Alles abgeklärt, keine Ursache gefunden bisher, Schweifschiefehaltung nach links, taktunrein |
| 44 | 14 | 145 | 463 | 3,19 | Stute | Lewitzer | Pony | Teer, Sand (Halle) | rechtsherum angaloppiert | Ja | Nein |
| 45 | 18 | 145 | 460 | 3,17 | Wallach | Haflinger | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Spat |
| 46 | 19 | 175 | 600 | 3,43 | Wallach | Bayr. Warmblut | Warmblut | Teer, Teer | nicht longiert, sondern an der Hand geführt auf Zirkel, im Trab ausgefallen auf Zirkel | Nein (Diagnostik, Anthérapie), Ja (Weiterbehandlung) | Beckenschiefstand nach links (seit dreijährig) |
| 47 | 8 | 160 | 550 | 3,44 | Stute | Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | - | Nein | Nein, bei Vorbesitzer schon einmal hi re behandelt |
| 48 | 15 | 145 | 433 | 2,99 | Stute | Criollo-Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | Linksherum Sensor hi re einmal lose, 2x Zirkel vorgeführt, weil Sensor vo li verloren, Pferd sehr ungehorsam, geht mehrmals durch | Ja | Nein |
| 49 | 12 | 165 | 500 | 3,03 | Wallach | Traber | Vollblut | harter Feldweg, Sandplatz (matschig) | - | Ja | Innervationsproblem nach Trauma |
| 50 | 7 | 165 | 712 | 4,32 | Wallach | Noriker | Kaltblut | Teer, Sand (Halle) | auf gerader Linie im Trab Seitengang und Trab rechtsherum viel galoppiert | Ja | Besitzerin hatte bisher Nichts bemerkt |
| 51 | 19 | 160 | 600 | 3,75 | Stute | Bayr. Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Reitplatz) | 1x angaloppiert im Schritt li herum | Ja | Spat |
| 52 | 23 | 145 | 500 | 3,45 | Stute | Haflinger | Sonstige | gefrorener Boden, Sand (Halle) | gerade Strecke gefrorener Boden | Nein | knöcherner Zubildung Knie hi li |
| 53 | 10 | 150 | 450 | 3,00 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 54 | 12 | 148 | 500 | 3,38 | Stute | Haflinger | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |

Ergebnisse

| Ordnungsnummer des Pferdes | Verdachtsdiagnose | Lokalisation *) | Behandlung/Medikation | Nutzung des Pferdes soweit bekannt | Art der Lahmheit nach U1 | Nummer des Pferdes | Untersucher 1 Live- und Videobeurteilung | Untersucher 3 Videobeurteilung | Untersucher 3 Videobeurteilung | Durchschnitt Lahmheitsgrad | Auf-/Abgerundeter Durchschnitt |
|----------------------------|--|-----------------|---|--|--------------------------|--------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | Keine | vo li | weitere Diagnostik erfolgt | bis dato geritten | - | 1 | 0 | 0 | 1 | 0,33 | 0 |
| 2 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten in Maßen | - | 2 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 3 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 3 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 4 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 4 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 5 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 5 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 6 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 6 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 7 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 7 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 8 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 8 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 9 | Keine | Keine Lahmheit | | angeritten | - | 9 | 0 | 0 | 0,5 | 0,17 | 0 |
| 10 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 10 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 11 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 11 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 12 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 12 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 13 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 13 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 14 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 14 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 15 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 15 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 16 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten | - | 16 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 17 | Keine | Keine Lahmheit | | geritten in Maßen | - | 17 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 18 | Kürzertreten, keine Schmerzreaktion, evtl ggr Beckenschiefstand oder Bänderschwäche rechtes Knie | hi re | HTA | bis dato selten geritten | Hangbein | 18 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 1 |
| 19 | unausbalanciertes Jungpferd, Taktunreinheit | hi li | Beobachtung, Schonung | geritten in Maßen | Hangbein | 19 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 1 |
| 20 | fraglich | hi li | HTA | derzeit in Behandlung | Stützbein | 20 | 1 | 1 | 1,5 | 1,17 | 1 |
| 21 | Hufprellung | vo re | Entzündungshemmer | bis dato geritten | Stützbein | 21 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 1 |
| 22 | | hi re | HTA | bis dato selten geritten | Hangbein | 22 | 2 | 1 | 1 | 1,33 | 1 |
| 23 | kompensatorisch, anatomisch? | hi re | HTA | nicht bekannt | Stützbein | 23 | 0 | 1 | 1 | 0,67 | 1 |
| 24 | Verletzungsfolgen | hi re | HTA | Rentnerpferd | gemischte | 24 | 1 | 2 | 1 | 1,33 | 1 |
| 25 | anatomisch | hi li | HTA | Beisteller | gemischte | 25 | 2 | 1 | 1 | 1,33 | 1 |
| 26 | ausheilende Rehe | vo re | Entzündungshemmer | Ruhe, in Behandlung | Stützbein | 26 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 1 |
| 27 | kompensatorische LH | hi li | Spezialbeschlagn, Schmerzmittel nach Bedarf | Rentnerpferd | Stützbein | 27 | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 1 |
| 28 | | hi re | HTA | bis dato geritten | Hangbein | 28 | 1 | 0 | 2 | 1,00 | 1 |
| 29 | Taktunreinheit wegen Ataxie | hi re | Schmerzfähigkeit wahrscheinlich laut Klinik | Rentnerpferd | Hangbein | 29 | 0 | 0 | 1,5 | 0,50 | 1 |
| 30 | kompensatorische LH | hi li | HTA | bis dato geritten | Hangbein | 30 | 1 | 1 | 2 | 1,33 | 1 |
| 31 | ISG-Problem | hi li | HTA | nicht bekannt | Hangbein | 31 | 1 | 0 | 1,5 | 0,83 | 1 |
| 32 | | hi li, vo re | HTA | nicht bekannt | gemischte | 32 | 2 | 3 | 1,5 | 2,17 | 2 |
| 33 | Spat | hi re | HTA | nicht bekannt | Hangbein | 33 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 34 | | vo li | in Klinik behandelt, am Aushellen | Ruhe | Stützbein | 34 | 3 | 2 | 2 | 2,33 | 2 |
| 35 | Spat | hi li | Spezialbeschlagn, HTA | nicht bekannt | Stützbein | 35 | 2 | 2 | 1 | 1,67 | 2 |
| 36 | | hi re | HTA (Hyaluronthherapie) | Rentnerpferd | Hangbein | 36 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 37 | | vo li | Spezialbeschlagn, Entzündungshemmer | Ruhe | Stützbein | 37 | 2 | 2 | 1,5 | 1,83 | 2 |
| 38 | | hi li | HTA | chron. lahm, wird schonend bewegt | Stützbein | 38 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 39 | kompensatorisch? | hi li | HTA | nicht bekannt | gemischte | 39 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 40 | Bänder-/Meniskussschaden Knie | hi re | HTA | derzeit Ruhe | gemischte | 40 | 3 | 2 | 1,5 | 2,17 | 2 |
| 41 | | vo re | Schmerzmittel, HTA, Besitzer wollten wissen, wie und ob er sich verbessert hat durch die bisherige Behandlung | Ruhe, leichte Bewegung, wenn gerade nicht lahm | Stützbein | 41 | 2 | 2 | 2,5 | 2,17 | 2 |
| 42 | | vo re | HTA | Rentnerpferd | Stützbein | 42 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 43 | | hi re, vo li | bisher Entzündungshemmer | derzeit in Behandlung | gemischte | 43 | 3 | 1 | 2,5 | 2,17 | 2 |
| 44 | | hi li | weitere Diagnostik im Anschluss | geritten | Stützbein | 44 | 2 | 2 | 1,5 | 1,83 | 2 |
| 45 | Spat und kompensatorische LH vorne | hi li, vo re | weitere Diagnostik im Anschluss | geritten | gemischte | 45 | 2 | 2 | 1,5 | 1,83 | 2 |
| 46 | | hi li | Keine | selten geritten | Hangbein | 46 | 3 | 2 | 2 | 2,33 | 2 |
| 47 | Hufabszess, Huflederhautentzündung | hi re | HTA | selten geritten | Stützbein | 47 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 2 |
| 48 | Hufprellung | hi li | weitere Diagnostik im Anschluss | geritten | Stützbein | 48 | 1 | 3 | 2 | 2,00 | 2 |
| 49 | Nervenreizung/-quetschung | hi re | Physiotherapie, Reha | im Aufbau | gemischte | 49 | 3 | 2 | 1 | 2,00 | 2 |
| 50 | | hi li | weitere Diagnostik im Anschluss | bis dato geritten | gemischte | 50 | 3 | 1 | 2 | 2,00 | 2 |
| 51 | Spatschub | hi re | Ruhe, Entzündungshemmer | derzeit Ruhe | Stützbein | 51 | 2 | 2 | 2,5 | 2,17 | 2 |
| 52 | | hi li | HTA | | | 52 | 2,5 | 3 | 3 | 2,83 | 3 |
| 53 | Phlegmone vo re | vo re | Entzündungshemmer, Antibiose | derzeit Ruhe | Stützbein | 53 | 3 | 3 | 3 | 3,00 | 3 |
| 54 | Hufprellung oder Zerrung vo re | vo re | Entzündungshemmer | derzeit in Behandlung | Stützbein | 54 | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 3 |

Ergebnisse

| Ordnungsnummer des Pferdes | Alter | Größe | Gewicht | Kaliberindex KM(kg/Stockmaß (cm) | Geschlecht | Rasse | Pferdetyp | Untergrund bei Untersuchung *) | Vorkommnisse bei der Untersuchung | im eigenen Patientengut *) | Bekannte Befunde *) |
|-------------------------------|--------|-------|---------|----------------------------------|---------------|---------------------|---|--|---|--|---|
| 52 | 23 | 145 | 500 | 3,45 | Stute | Hafflinger | Sonstige | gefrorener Boden, Sand (Halle) | gerade Strecke gefrorener Boden | Nein | knöcherne Zubildung Knie hi li |
| 53 | 10 | 150 | 450 | 3,00 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 54 | 12 | 148 | 500 | 3,38 | Stute | Hafflinger | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein |
| 55 | 14 | 155 | 450 | 2,90 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Wunde mit FK und Knochensplitter (nach Entfernung), Griffelbein-OP vor zwei Jahren hi li chron. |
| 56 | 25 | 153 | 440 | 2,88 | Stute | Araber | Vollblut | Teer, Sand (Sandplatz) | am Zirkel immer wieder stehengeblieben, weil andere Pferde in Bahn reinlaufen | Ja | Phlegmone/Elephantiasis hi li, vorne Arthrosen (Fesselgelenk und Hufgelenk) |
| 57 | 14 | 136 | 430 | 3,16 | Stute | Arabohafflinger | Vollblut | Teer, Wiese | - | Nein, wollten Zweitmeinung durch System | Knorpelteilchen im Hufgelenk vo li, Hufbeinastverknöcherung vo beidseits, Synoviauntersuchung links ohne Befund |
| 58 | 9 | 150 | 450 | 3,00 | Wallach | Traber-Vollblut-Mix | Vollblut | Teer, Sand (Halle) | nicht longiert, sondern frei am Zirkel | Ja | Nein |
| 59 | 20 | 149 | 500 | 3,36 | Wallach | Pony-Mix | Pony | Teer, Sand (Halle) | nicht longiert, sondern an der Hand vorgestellt am Zirkel | Nein, wollten Zweitmeinung durch System | Arthroskopie Knie hi li (Meniskusschaden, Bänder- und Sehenschaden) |
| 60 | 14 | 146 | 450 | 3,08 | Stute | Hafflinger | Sonstige | Teer, Wiese | angetrabt vor Schritt links herum, angetrabt im Schritt rechts herum | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spat hi re |
| 61 | 22 | 138 | 400 | 2,90 | Wallach | Isländer-Mix | Sonstige | Sand, Sand (Reitplatz) | Links, rechts, links longiert | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | vorne vorberichtlich einmal Hufrehe, Strahlfaule hi re, LH vorberichtlich wechselseitig Sehenschaden vo li |
| 62 | 18 | 150 | 450 | 3,00 | Wallach | Araber | Vollblut | Kies, Sand (Reitplatz) | frei longiert | Ja | vorangegangene OP vo re |
| 63 | 14 | 155 | 450 | 2,90 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | Untersuchung verkürzt aufgrund höhergradiger Lahmheit | Ja | Fesselringbandschaden und Sehenschaden hi li (beides nicht akut) |
| 64 | 15 | 150 | 480 | 3,20 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | zweimal rechts herum angetrabt im Schritt | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Neuromuskuläres Geschehen laut Klinik |
| 65 | 9 | 150 | 480 | 3,20 | Wallach | Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Nein |
| 66 | 8 | 160 | 500 | 3,13 | Wallach | Traber | Vollblut | harter Feldweg, Sandplatz (matschig) | - | Ja | Nein |
| 67 | 22 | 169 | 500 | 2,96 | Stute | Bayr. Warmblut | Warmblut | Pflaster, Sand (Halle) | links herum zweimal angaloppiert, rechts herum im Schritt zweimal angetrabt | Nein | vo beidseits Hufrolle, verkalkter Schlembeutel, Arthrose |
| 68 | 20 | 150 | 496 | 3,31 | Wallach | Hafflinger | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spat hi li diagnostiziert |
| 69 | 17 | 150 | 450 | 3,00 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Hufrolle vorne, Arthrose in mehreren Gelenken |
| 70 | 15 | 150 | 450 | 3,00 | Wallach | Andalusier-Mix | Warmblut | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Nein, taktunrein |
| 71 | 18 | 160 | 600 | 3,75 | Stute | Traber | Vollblut | Teer, Sand (Sandplatz) | - | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Spat (beidseits), Hufrehe, Hufrolle (vo li) |
| 72 | 23 | 143 | 430 | 3,01 | Stute | Hafflinger | Sonstige | Wiese, Wiese | Boden gefroren, daher schwierig zu beurteilen | Nein | Sehenschaden nach Sturz im letzten Jahr vo re |
| 73 | unbek. | 160 | 500 | 3,13 | Stute | Poln. Warmblut | Warmblut | Sand, Sand (Reitplatz) | - | Ja | Hahnentritt hi li, hi li alter Sehenschaden und Spat, evtl auch hi re Spat, Hufrolle vo beidseits |
| 74 | 5 | 162 | 550 | 3,40 | Wallach | Traber | Vollblut | Teer, Sand (Reitplatz) | - | Nein (Diagnostik, Antherapie), Ja (Weiterbehandlung) | Rö, MRT, Szintigraphie (nichts gefunden) |
| 75 | 13 | 150 | 450 | 3,00 | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | - | Ja | Arthrose hgr., Spat |
| 76 | 12 | 160 | 550 | 3,44 | Stute | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | wenig getrabt, da hgr. lahm | Ja | Phlegmone nach Tritt mit äußerer Verletzung |
| 77 | 6 | 155 | 450 | 2,90 | Wallach | Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | links im Trab einmal ausgefallen | Ja | Spat, Arthrose, Hufrolle |
| 78 | 15 | 160 | 500 | 3,13 | Stute | Appaloosa | Quarter | Teer, Sand (Halle) | Untersuchung stark verkürzt wg. hgr. LH | Ja | Nein |
| | | | | | | | *) beinhaltet Mixe verschiedener Rassen oder eine Rasse, die nur einmalig vorkommt | *) 1. Vorführen auf gerader Linie, 2. Vorführen an der Longe | | *) Patientenbesitzer sind Kunden der Tierarztpraxis Thurmading (Ja) oder werden von Kollegen betreut (Nein) | *) Vorgeschichte des Patienten, ggf. von vorbehandelnden Tierärzten erhobene Befunde |
| Von der Studie ausgeschlossen | | | | | | | | | | | |
| 79 | 5 | 156 | 550 | | Wallach | Quarter Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | Sensortechnik funktionierte nicht | Ja | vo re Fesselträgersatz geschwollen |
| 80 | 13 | 173 | 700 | | Stute | Trakehner | Warmblut | Teer, Sand (Sandplatz) | Probeaufnahme, nicht ausgewertet | Ja | im Fesselkopf vo li Defekt am unteren Gelenkansatz (Szintigraphie) |
| 81 | 7 | 140 | 350 | | Stute | Isländer | Sonstige | Pflaster, Sand (Sandplatz) | letzte Aufnahme, wurde nicht mehr in die Studie einbezogen | Ja | Nein |
| 82 | 2 | 160 | 480 | | Hengst | Oldenburger | Warmblut | Kies, gefrorener Boden | Pferd nicht halfterfähig, nicht zu handeln, da zweijährig und roh | Ja | Nein |
| 83 | 19 | 160 | 600 | | Wallach | Trakehner | Warmblut | Teer, Sand (Sandplatz) | Probeaufnahme, nicht ausgewertet | Ja | Hüftschaden hi li |
| 84 | 20 | 150 | 450 | | Wallach | Kabadiner | Sonstige | Teer, Sand (Sandplatz) | Probeaufnahme, nicht ausgewertet | Ja | Sehenschaden vo li |
| 85 | 12 | 148 | 452 | | Stute | Araber | Sonstige | Teer, Sand (Halle) | Pferd unkooperativ, nicht longierbar | Ja | Nein |
| 86 | 13 | 150 | 450 | | Stute tragend | Paint Horse | Quarter | Teer, Sand (Halle) | zwei Sensoren ausgefallen | Ja | Nein |
| 87 | 10 | 165 | 700 | | Wallach | Friese | Warmblut | Sand, Sand (Sandplatz, unter Wasser) | Sensoren funktionieren nicht | Nein | Nein |
| 88 | 20 | 175 | 600 | | Wallach | Tschech. Warmblut | Warmblut | Sand, Sand (Sandplatz, unter Wasser) | Sensoren funktionieren nicht, Trab li herum angaloppiert | Nein | Nein |
| 89 | 18 | 170 | 700 | | Wallach | Bayr. Warmblut | Warmblut | Sand, Sand (Sandplatz, unter Wasser) | Sensoren funktionieren nicht | Nein | Schulterbruch als Zweijähriger vo re |
| 90 | 12 | 160 | 850 | | Wallach | Noriker | Kaltblut | Sand, Sand (Sandplatz, unter Wasser) | Sensoren funktionieren nicht | Nein | Nein |
| 91 | 16 | 160 | 550 | | Wallach | Bayr. Warmblut | Warmblut | Teer, Sand (Sandplatz) | Trab rechts an der Longe nicht möglich, geht durch | Ja | Fesselringbandschaden vo li |

Die 76 Pferde/Ponys wurden zur besseren Auswertung in Untergruppen (siehe Abb.VI.1.4) eingeteilt. Der Übersicht halber mussten einige Rassen zu einem Oberbegriff zusammengefasst werden, da aus Gründen der statistisch robusten Modellierung nicht zwischen 16 verschiedenen Rassen unterschieden werden konnte und sich beispielsweise Bayerische Warmblüter, Oldenburger oder Trakehner im Gangbild ähnlich sind. Die Einteilung nach Geschlecht, Rassen, nach Altersgruppen, nach Größe und Gewicht kann den folgenden Abbildungen entnommen werden.

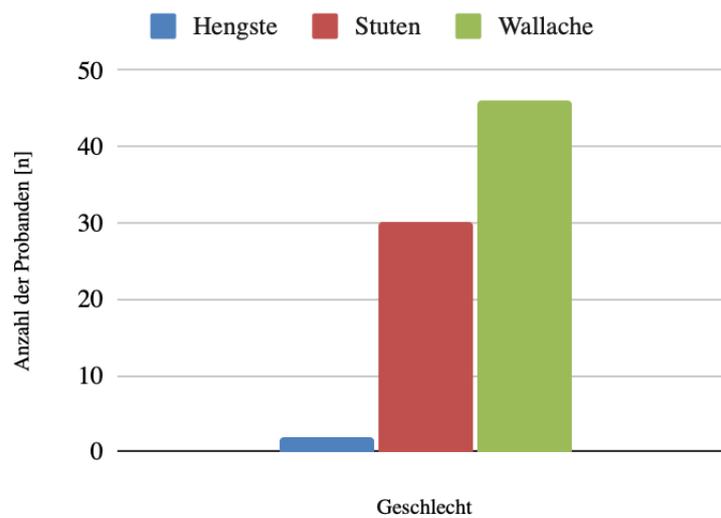


Abb. VI.1.2: Verteilung der untersuchten Pferde nach Geschlecht.

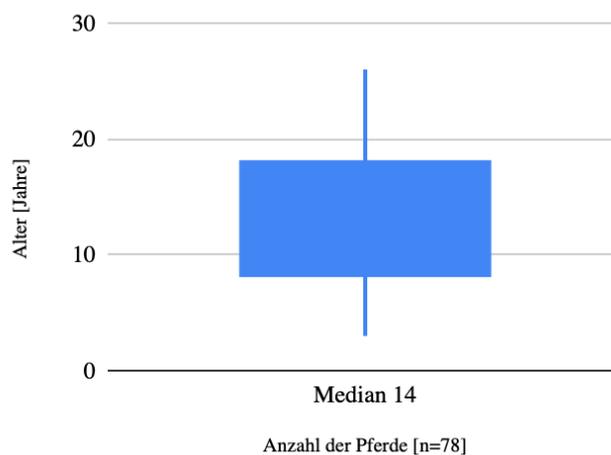


Abb. VI.1.3: Altersverteilung der Probanden.

Die Anzahl der Pferde wird mit 77 angegeben, da das Alter eines Pferdes unbekannt war. Das jüngste teilnehmende Pferd war 3 Jahre alt, das älteste 26. Die meisten Tiere bewegten sich in dem Bereich von 8-18 Jahren und der Medianwert pendelt sich damit bei 14 ein.

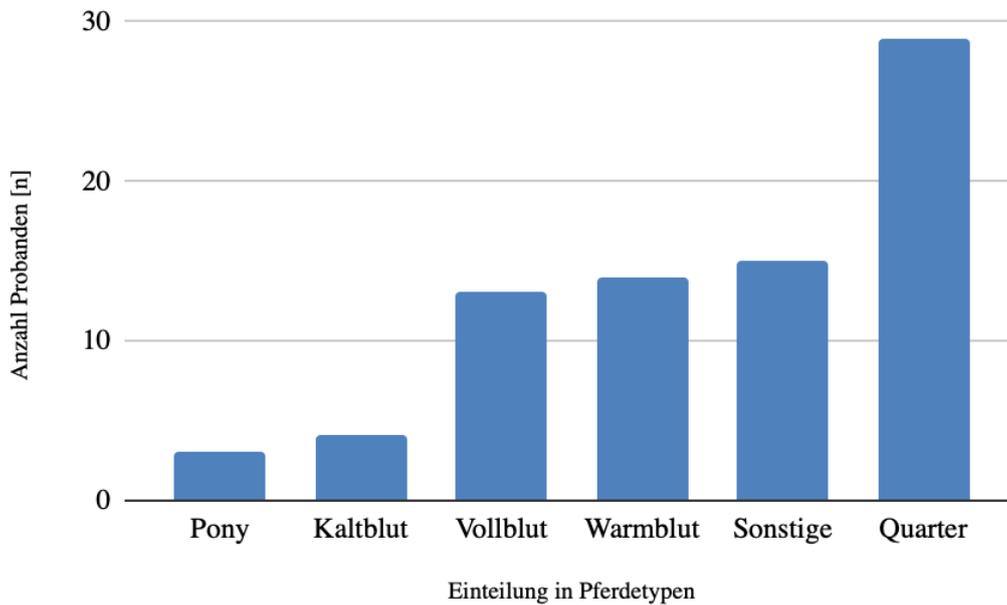


Abb. VI.1.4: Einteilung in Pferdetypen.

Die Gruppe der „Quarter Horses“ beinhaltet einen Appaloosa und ein Paint Horse, die „Warmblüter“ bestehen aus bayerischen Warmblütern, Oldenburgern, Trakehnern und einem Lipizzaner. Ein Araber, Traber sowie ein englisches Vollblut werden der Gruppe „Vollblut“ zugerechnet, ein Clydesdale und ein Shire Horse sind in der Gruppe „Kaltblut“ wiederzufinden. Die Gruppe „Pony“ beinhaltet einen kleinen Huzulen und ein Shetland-Pony, die beide ein Stockmaß unter 1,48 m aufweisen. Sonstige Pferde beinhalten Mixe verschiedener Rassen oder eine Rasse, die nur einmalig im Patientengut vorkommt (z.B. ein Isländer).

Zur besseren Übersicht wurde für die Darstellung von Widerristhöhe und Gewicht in Abb. VI.1.7 der Kaliberindex (Gewicht [kg] /Widerristhöhe [cm]) berechnet. Dabei fällt auf, dass er sich bis auf wenige Ausnahmen (sehr schwere und große Pferde oder eine Unverhältnismäßigkeit von Größe und Gewicht wegen Übergewichts) zwischen zwei und vier bewegt. Der niedrigste aufgetretene Kaliberindex liegt bei 2,62; der höchste bei 6,25 und der Medianwert findet sich bei 3,18.

Das Körpergewicht der teilnehmenden Probanden bewegt sich zwischen 310 kg und 1000 kg und der Medianwert der Gruppe liegt bei 498 kg. Die Widerristhöhe der Pferde erstreckt sich von 110 cm bis 190 cm. Der Medianwert liegt hier bei 152,5 cm.

Ergebnisse

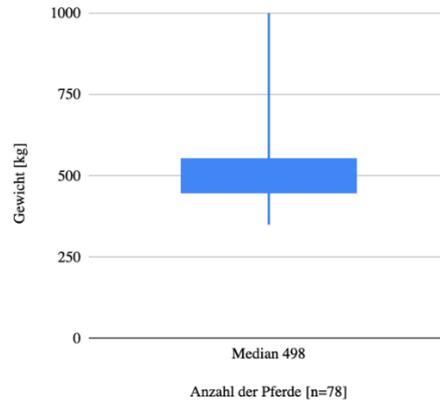


Abb. VI.1.5: Gewichtsverteilung der untersuchten Pferde/Ponys.

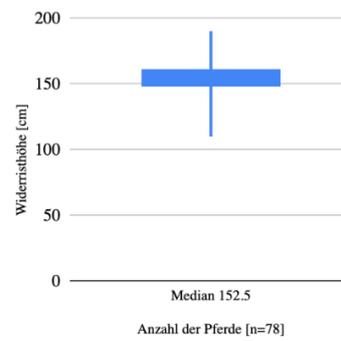


Abb. VI.1.6: Verteilung der Widerristhöhe über die Probandengruppe.

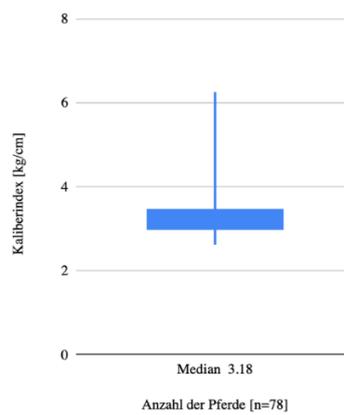


Abb. VI.1.7: Verteilung des Kaliberindex über die untersuchten Pferde.

VI.2. Ergebnisse der Pilotstudie - Einteilung nach vorgekommenen Lahmheitsgraden und Lokalisationen

Vor der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse ist zunächst zu erwähnen, dass es sich, wie im Titel dieser Arbeit erwähnt, um eine *Pilotstudie* handelt. Für die durchgeführten Untersuchungen standen also keine Vordaten zur Verfügung. Beim Prototyp des „Sensorbasiertes KI-Systems“ handelt es sich um ein innovatives Produkt, das erst am Anfang seiner Entwicklung steht und hoffentlich in der Zukunft eine Rolle in der Lahmheitsdiagnostik spielen wird.

Erstmals in der Geschichte der Lahmheitsdiagnostik kommt, soweit uns bekannt, ein Sensorbasiertes KI-System zum Einsatz, um gewonnene Sensordaten auszuwerten und vergleichbar zu machen. Es unterstützt die untersuchenden Veterinär:innen durch Integration der Daten, indem von der KI – wie im Methodenteil geschildert - eine Schätzung des Lahmheitsgrads erstellt wird. Die Untersuchenden könnten bei der zukünftigen Anwendung des Systems ihre Meinungen zur Lahmheit oder zum Lahmheitsgrad mit der Aussage der KI vergleichen und so ihre Einschätzung bestärken oder zu einer erneuten Untersuchung angeregt werden, wenn sie ohne Künstliche Intelligenz auf sich alleine gestellt und unsicher wären.

Nach der Digitalisierung und Auswertung der Beurteilungsdaten der Tierärzt:innen ergab sich die Einteilung in folgende Lahmheitsgrade (Durchschnitt von Untersucher:in 1, 2 und 3, hier R1/R2/R3)(Abb.VI.2.1).

Ergebnisse

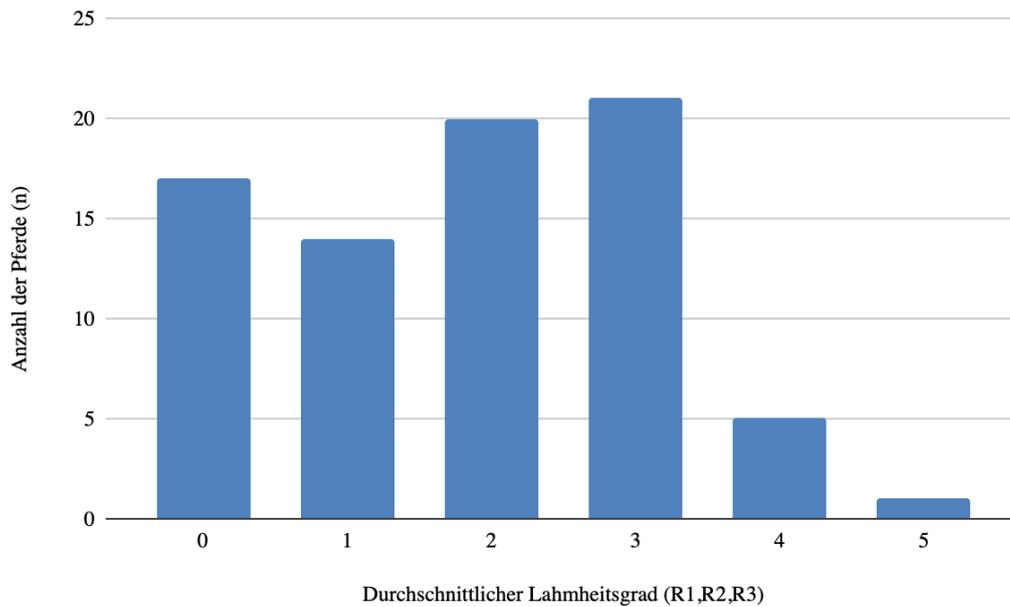


Abb. VI.2.1: Auftreten der fünf Lahmheitsgrade und Lahmfreiheit im Verhältnis zur Anzahl der Probanden.

Abb. VI.2.1 zeigt die Anzahl der Lahmheitsgrade im Verhältnis zur Anzahl der untersuchten Pferde. Von den insgesamt 78 Untersuchungen der Studie (mit 76 verschiedenen, aber 78 untersuchten Pferden) wurden 17 als nicht lahm, 14 mit Lahmheitsgrad 1 und 20 Equiden mit Grad 2 beurteilt. Das Diagramm lässt erkennen, dass der Lahmheitsgrad 3 am häufigsten vertreten war (21 Pferde), Lahmheitsgrad 4 am wenigsten (5 Pferde). Der Lahmheitsgrad 5 war nur einmal vertreten. Bei den wenigen Probanden mit Grad 4 aus unserer Studie handelt es sich um chronisch lahme Pferde. Sie gingen sehr stark lahm, konnten sich jedoch auch selbstständig und ohne Druck im Trab bewegen und deshalb zunächst an einer Lahmheitsuntersuchung teilnehmen. Teilweise wurden die Untersuchungen dieser Pferde dann verkürzt (z.B. nur eine Runde traben lassen), um ihnen weitere Belastungen zu ersparen. Bei der Trefferquoten-Evaluierung wurden sie anschließend ausgeschlossen. Das Pferd mit Lahmheitsgrad 5 litt an einem Hufabszess und wurde zur Diagnostik dessen einmal vorgeführt.

Bezüglich der Aufteilung der Lahmheiten auf die vier Gliedmaßen der Pferde lässt sich sagen, dass Hinterhandlahmheiten (19+17) vor den lahmfreien Pferden (16) am häufigsten vertreten sind. Es folgen die Vorderhandlahmheiten (9+8) und gemischten Lahmheiten (7+1+1), wobei keine Seitenpräferenz erkennbar ist. Bei den Untersuchungsvorbereitungen wurde eine ungefähr gleiche Anzahl in allen Gruppen angestrebt; es handelt sich jedoch um eine Feldstudie, bei der alle Pferde untersucht wurden, die uns von den Besitzer:innen vorgestellt wurden – unabhängig von der betroffenen Gliedmaße. Das erhöhte Vorkommen von linken Hinterhandlahmheiten ist demnach rein zufällig.

Über die Angaben der Besitzer:innen kann auch bei unseren Stichproben bestätigt werden, dass ein Großteil der Lahmheiten bei Pferden distal an den Gliedmaßen (d.h. Huf-, Kron-, Fesselgelenk/-bein oder Karpus/Tarsus) zu detektieren ist und nur wenige Problematiken proximal lokalisiert sind. Dies gilt sowohl für die Vorder- als auch für die Hintergliedmaßen. Eine Rasseprädisposition für eine bestimmte Lahmheit oder eine bestimmte Gliedmaße lässt sich erwartungsgemäß nicht erkennen.

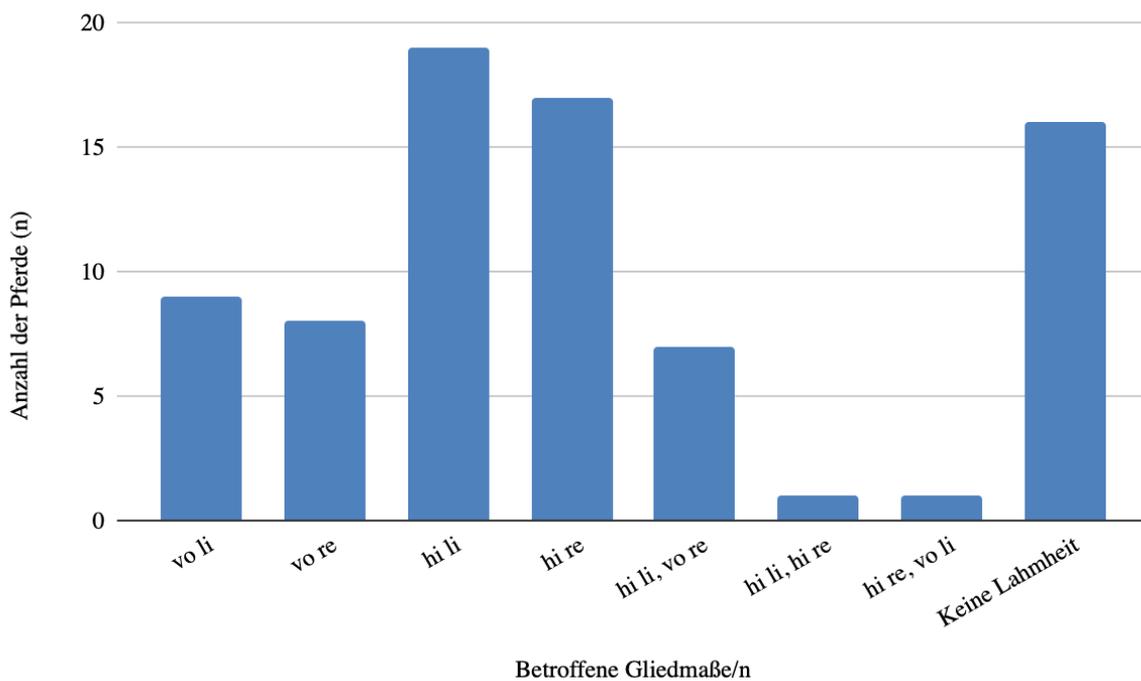


Abb. VI.2.2: Verteilung der Lokalisationen über die Probandengruppe.

Die Lahmheitsursachen reichen von chronischen Erkrankungen wie Arthrosen bis zu akuten Traumata oder Entzündungsprozessen. Details und die genaue Auflistung der vermutlichen oder bestätigten Lahmheitsursachen können der Gesamttabelle (s.o.) entnommen werden.

VI.3 Vergleich der Untersuchenden

VI.3.1 Einigkeit bezüglich des Lahmheitsgrades aller Durchgänge

Obwohl zwischen den Untersuchenden kein Austausch bezüglich der Fälle und der vergebenen Grade stattfand, konnte eine durchschnittliche Übereinstimmung von 80,6 % erreicht werden. Alle *drei* Tierärzt:innen waren sich in 56,8 % der Fälle einig. In 35,8 % der Untersuchungen waren sich *zwei* von drei Beurteilenden einig, während sich in 0,07 % der Fälle alle *drei* uneinig waren. Berechnet man aus den vergebenen Lahmheitsgraden je Untersucher:in ein Fleiss kappa ((n=3, (Rater 1,2,3), N=72 (Anzahl der Untersuchungen, Grad 0-3)) zur besseren Darstellung der Interrater-Reliabilität, erhält man ein Ergebnis von 0.47, was als moderate Übereinstimmung gewertet wird. Vergleicht man nur die zwei Videobewerter:innen, erhöht sich Fleiss`kappa auf 0.61 – eine substantielle Übereinstimmung.

Der Durchschnitt der Grade wurde für die grafische Darstellung im Folgenden jeweils auf- oder abgerundet (Fehler: max.0,5). Abb.VI.3.1.2 bildet der Vollständigkeit halber die exakte Zuteilung der vergebenen Lahmheitsgrade auch in 0,5er Schritten ab. Durch die letztendliche Rundung konnte am Ende ein einstelliger Lahmheitsgrad in die weitere Datenverarbeitung eingehen. In Abb. VI.3.1.1 wird deutlich, dass Untersucher:in 3 (R3), die Lahmheiten häufiger höher oder niedriger eingestuft hat als die beiden anderen Untersucher:innen - R1 und R2 - unabhängig vom Lahmheitsgrad der Pferde. Das Diagramm zeigt die Abweichungen vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersucher:in. R1 weicht in 23,5 % der Fälle vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad ab, R3 in 37,0 % der Fälle und R2 in 12,3 % der Untersuchungen. Die Länge der Balken zeigt die Höhe der jeweiligen Abweichung. Die Freiflächen auf der horizontalen Achse beschreiben Untersuchungen, bei denen sich alle Untersuchenden einig waren. Die Achse führt so alle 78 Einzeluntersuchungen auf.

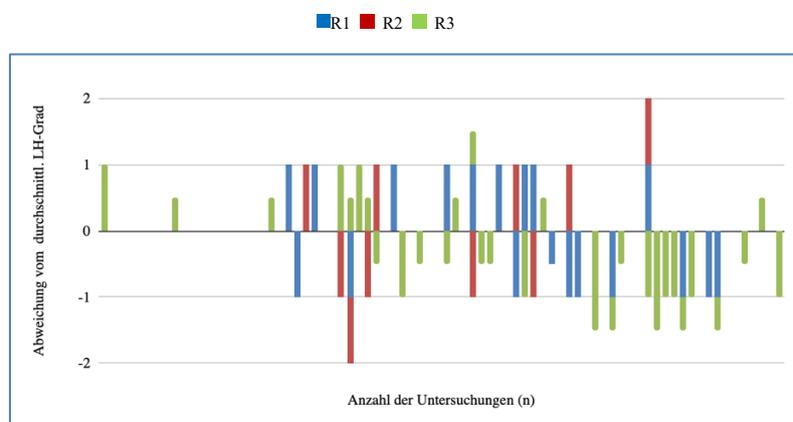


Abb. VI.3.1.1: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersucher:in.

Aus der vollständigen Tabelle (s.o.) kann die Einschätzungen des jeweils Untersuchenden mit der zugehörigen Identifikationsnummer der Pferde und der jeweils gerundete Lahmheitsgrad genauer entnommen werden. Abb.VI.3.1.2 verbildlicht, wie oft Untersuchende den jeweiligen Lahmheitsgrad vergeben haben und damit die Verteilung der Grade über die 78 Untersuchungen je Tierärzt:in. So vergab beispielsweise *Bewerter 1* 19 Mal den Lahmheitsgrad 0, elf Mal Lahmheitsgrad 1, 21x Lahmheitsgrad 2, ein Mal Lahmheitsgrad 2,5, 19x Lahmheitsgrad 3, sechs Mal Lahmheitsgrad 4 und ein Mal Lahmheitsgrad 5, usw.

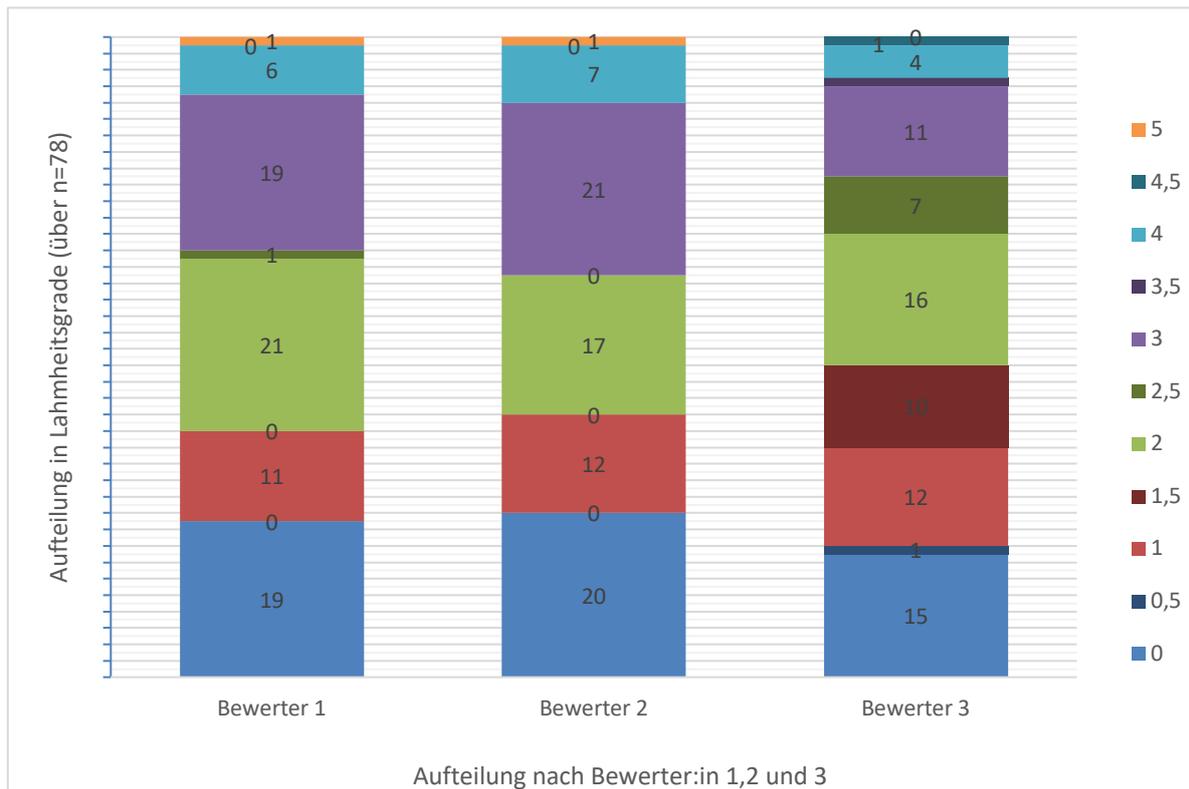


Abb. VI.3.1.2: Aufteilung der zugeteilten Lahmheitsgrade je Bewerter:in.

VI.3.2 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im rechts/links – Vergleich der Vordergliedmaßen

Wenn die Lahmheitsbeurteilungen der rechten Vordergliedmaßen (Abb. VI.3.1.3, n=8) mit der der linken Vordergliedmaßen (Abb. VI.3.1.4, n=9) verglichen werden, lässt sich feststellen, dass letztere eine höhere Abweichungsquote mit sich bringen. Bei den Lahmheiten an der vorderen rechten Gliedmaße, schätzt R3 die Lahmheit einmal etwas höher und einmal niedriger ein. R2 beurteilt eine Lahmheit mit einem höheren Lahmheitsgrad, während R1 zweimal niedriger einschätzt. Bei den vorne links lahmen Pferden weichen die Untersuchenden insgesamt öfter vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad ab. Es konnte keine Erklärung für die unterschiedliche Einigkeit der Untersucher:innen im rechts-links Vergleich gefunden werden.

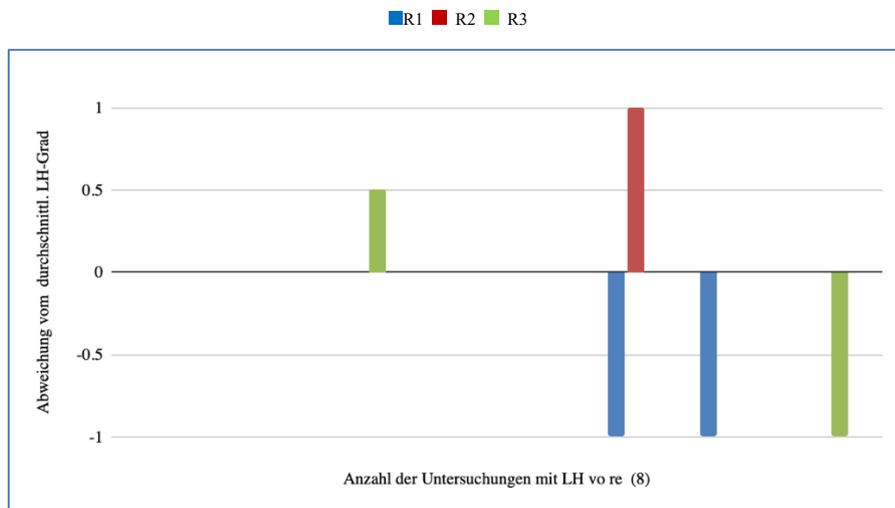


Abb. VI.3.1.3: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten vorne rechts.

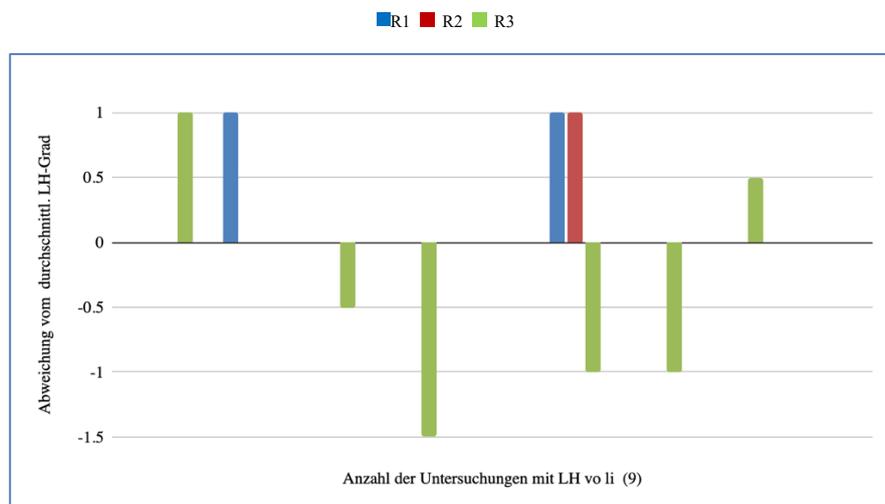


Abb. VI.3.1.4: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten vorne links.

VI.3.3 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im rechts/links-Vergleich der Hintergliedmaßen

Wenn der Fokus auf die Hinterhandlahmheiten gelegt wird, so lässt sich feststellen, dass die Einigkeit im rechts-links-Vergleich annähernd gleich bleibt und keine Seitenpräferenz erkennbar ist. Bei Lahmheiten hinten rechts zählt man 18 Abweichungen, hinten links 16.

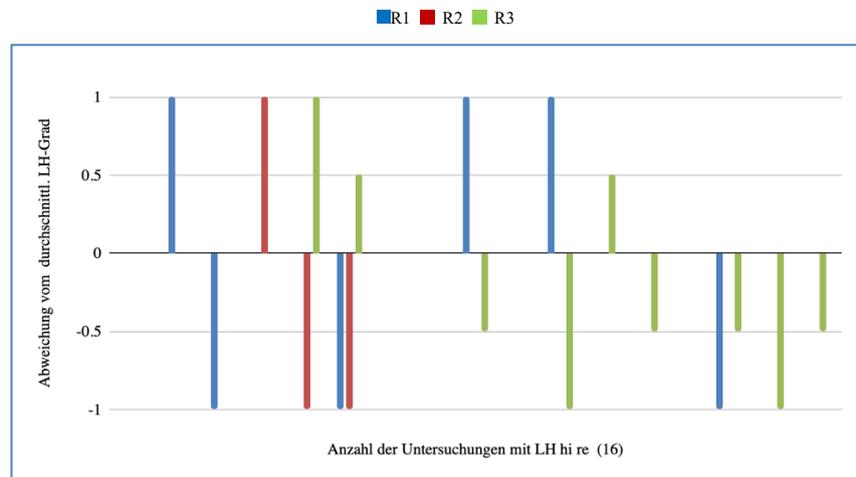


Abb. VI.3.3.1: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten hinten rechts.

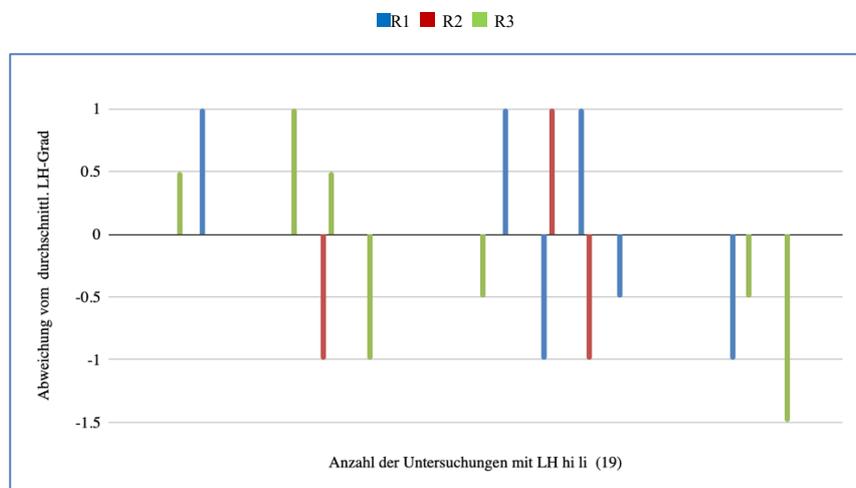


Abb. VI.3.3.2: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten hinten links.

VI.3.4 Einigkeit bezüglich Lahmheitsgraden im Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen

Vergleicht man - ausgenommen gemischter Lahmheiten - die Beurteilungen der Vordergliedmaßen (14 Abweichungen) mit den Beurteilungen der Hintergliedmaßen lässt sich feststellen, dass Hinterhandlahmheiten mit 34 Abweichungen von 36 Untersuchungen (Pferde mit Hinterhandlahmheiten) eine etwas geringere Einigkeit bei den Beobachter:innen auslösen.

Ergebnisse

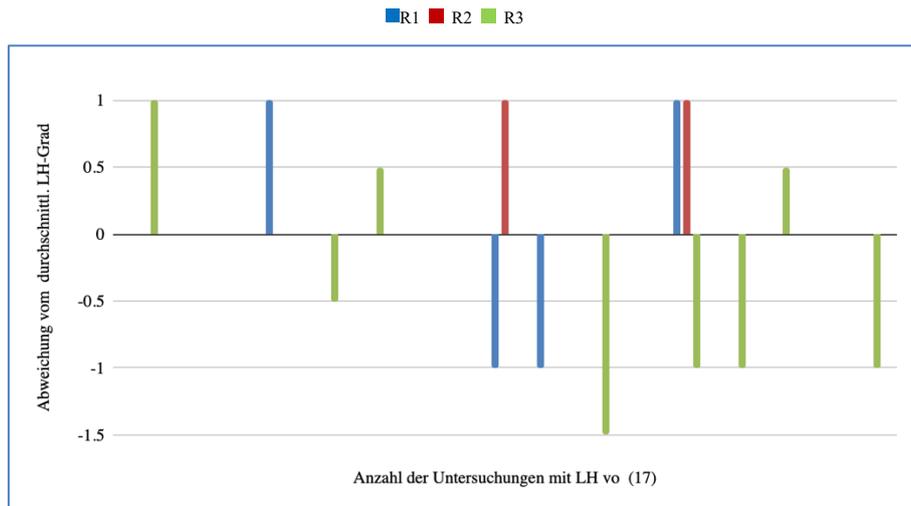


Abb. VI.3.4.1: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Vorderhandlahmheiten.

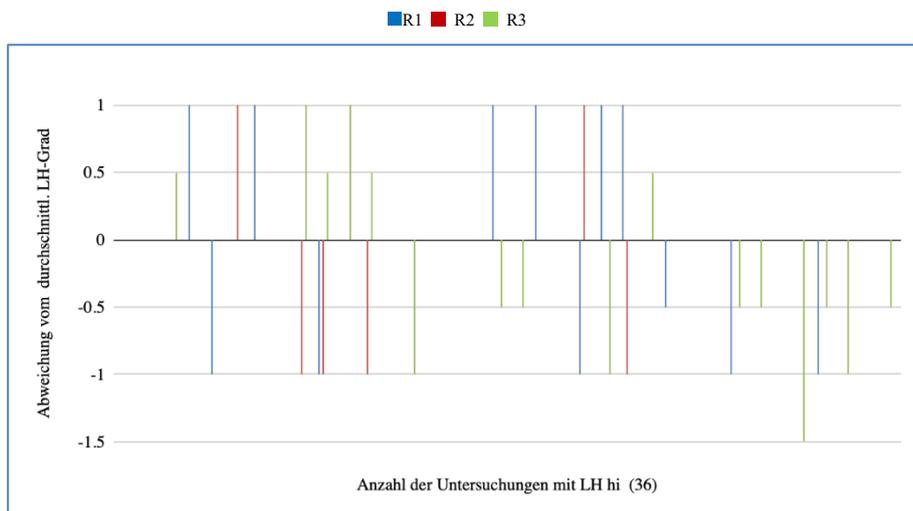


Abb. VI.3.4.2: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Hinterhandlahmheiten.

VI.3.5 Unterschiede in der Einigkeit bei höheren und niedrigeren Lahmheitsgraden

Werden die Untersuchungen in Lahmheitsgradgruppen (0=lahmfrei), (1-3=ggr.LH), (4-5=hgr.LH) eingeteilt, so wird deutlich, dass die Uneinigkeit bei den geringeren Lahmheitsgraden (Abb VI.3.5.2) höher ist. Bei lahmfreien Pferden (Abb.VI.3.5.1) und hgr. lahmen Pferden (Abb.VI.3.5.3) sind sich die Beobachter:innen indes nahezu immer einig.

Ergebnisse

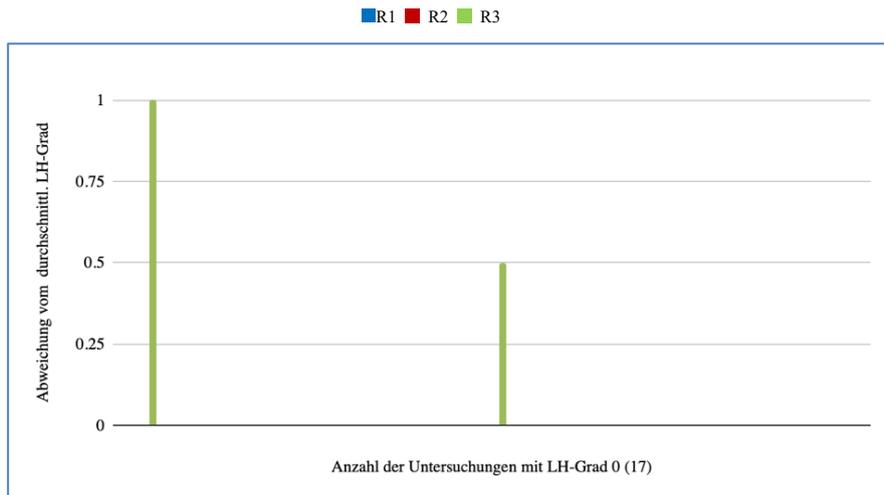


Abb. VI.3.5.1: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmfreiheit.

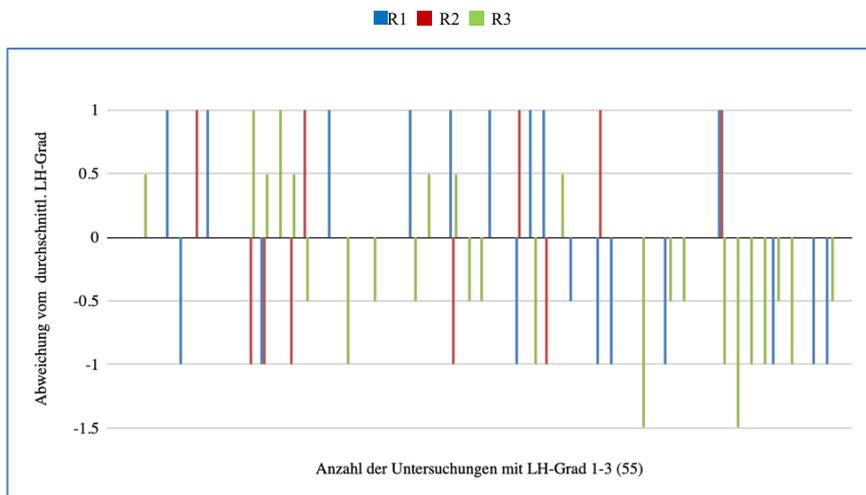


Abb. VI.3.5.2: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei geringgradigen Lahmheiten.

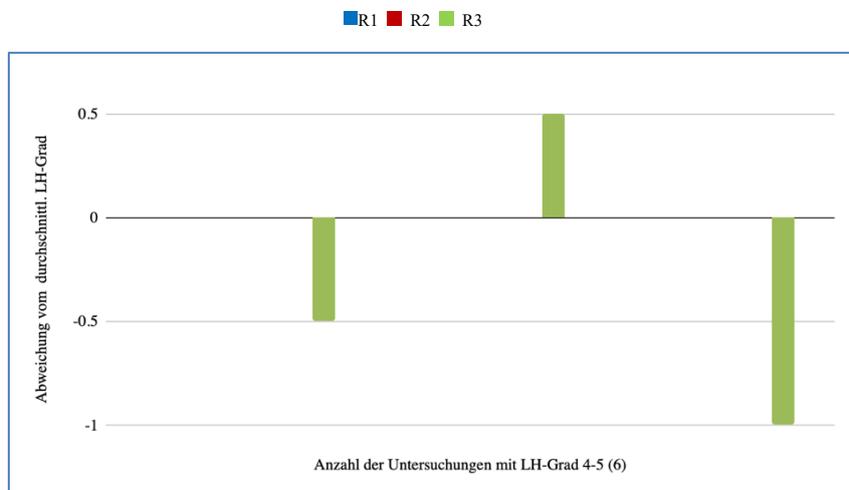


Abb. VI.3.5.3: Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei hochgradigen Lahmheiten.

VI.4 Vergleich der Untersuchenden mit der KI

VI.4.1 Auswertung der Sensordaten

Bei der Auswertung der Trefferquote des Sensorbasierten KI-Systems wurde in erster Instanz die Größe des Pferdes, das Gewicht des Pferdes und der Kaliberindex des Pferdes berücksichtigt. Ein nächster Versuch zur Ermittlung und Erhöhung der Trefferquote erfolgte ohne Berücksichtigung von Kenngrößen des Pferdes, während in zweiter Instanz alle drei Eigenschaften (Größe, Gewicht, Kaliberindex) miteinbezogen wurden.

Die vollständige Tabelle im Anhang gibt den jeweils zugeteilten Lahmheitsgrad des Sensorbasierten KI-Systems unter Berücksichtigung der jeweiligen Eigenschaft des Pferdes wieder. Folgende Tabelle fasst die Einschätzung des Systems, aufgeteilt nach Pferdetypen, verkürzt zusammen. Die Darstellung lässt anhand der letzten Spalte erkennen, dass die besten Ergebnisse mit den wenigsten Über- und Unterschätzungen unter Berücksichtigung aller drei Einflussgrößen erzielt werden können. Inkludiert sind 72 Untersuchungen, da sechs Pferde (wie bereits oben erwähnt) Lahmheitsgrad 4 oder 5 aufwiesen und hier nicht mehr aufgeführt sind. Zum Vergleich mit der Beurteilung der drei Tierärzt:innen wird deren durchschnittlich geschätzter Lahmheitsgrad und die geschätzten Grade des Systems im Anhang mitaufgeführt.

| Pferdetyp (n) | nach Größe | nach Gewicht | nach Kaliberindex | ohne | alle drei Einflussgrößen |
|---------------|--|--|--|--|--|
| Kaltbut (4) | 1x zu hoch 1x richtig 1x zu niedrig | 1x zu hoch 3x richtig | 1x zu hoch 3x richtig | 2x zu hoch 2x richtig | 1x zu hoch 3x richtig |
| Pony (3) | 2x richtig 1x zu niedrig | 3x richtig | 3x richtig | 1x zu hoch 2x zu niedrig | 3x richtig |
| Quarter (25) | 4x zu hoch 18x richtig 3x zu niedrig | 4x zu hoch 19x richtig 2x zu niedrig | 4x zu hoch 20x richtig 1x zu niedrig | 5x zu hoch 17x richtig 3x zu niedrig | 2x zu hoch 21x richtig 2x zu niedrig |
| Sonstige (15) | 1x zu hoch 13x richtig 1x zu niedrig | 13x richtig 2x zu niedrig | 1x zu hoch 12x richtig 2x zu niedrig | 11x richtig 4x zu niedrig | 14x richtig 1x zu niedrig |
| Vollblut (12) | 10x richtig 2x zu niedrig | 10x richtig 2x zu niedrig | 1x zu hoch 8x richtig 3x zu niedrig | 1x zu hoch 7x richtig 4x zu niedrig | 1x zu hoch 9x richtig 2x zu niedrig |

| | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Warmblut (13) | 2x zu hoch | 1x zu hoch | 1x zu hoch | 2x zu hoch | 1x zu hoch |
| | 9x richtig | 10x richtig | 12x richtig | 10x richtig | 12x richtig |
| | 2x zu niedrig | 2x zu niedrig | | 1x zu niedrig | |

Tab. VI.4.1: (Fehl-)Einschätzung (zu hoch, zu niedrig oder richtig) des Sensorbasierten KI-Systems mit und ohne Berücksichtigung der jeweiligen Eigenschaft des Pferdes mit einer Fehlerakzeptanz von 0,5. Alle 72 Pferde mit Lahmheitsgraden von 0-3.

Berechnet man auch für die von der KI vergebenen Lahmheitsgrade (unter Berücksichtigung von Größe, Gewicht, Kaliberindex und Beurteilung in zweiter Instanz) ein Fleiss'kappa ($n=4$, $N=72$), kommt man zu einem Ergebnis von 0.54. Dies wird laut kappa-Tabelle ebenso als moderat bewertet.

VI.4.2 Bestimmung der Trefferquote des vorgestellten Systems

Wenn man nun die Trefferquote des Systems berechnet, kommt man zu dem Schluss, dass die Berücksichtigung aller drei Kenngrößen in zweiter Instanz mit 86,1% Trefferquote (62 Treffer von 72 Untersuchungen) die beste KI-basierte Beurteilung des Lahmheitsgrades im Vergleich zu den Untersuchenden liefert. Dabei wurde auf- und abgerundet und eine Abweichung von 0,5 noch als Treffer berücksichtigt. Werden nur das Gewicht oder nur der Kaliberindex als Einflussgröße berücksichtigt, so senkt sich die Trefferquote der KI auf jeweils 80,5% (58 von 72). Das System liegt weiterhin in 73,6% der Fälle richtig (53 von 72), wenn nur das Gewicht des Pferdes beachtet wird und die Trefferquote senkt sich nochmals auf 68,0% (49 von 72), wenn keine Eigenschaften des Pferdes berücksichtigt werden. Das Gewicht und damit auch der Kaliberindex scheinen somit einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Bewegungsablauf und damit auf die Datengewinnung der Sensoren und die Datenauswertung der KI zu haben. Je mehr Kenngrößen des Pferdes bei der Lahmheitsgradbeurteilung berücksichtigt werden, um so genauer ist am Ende die Trefferquote der KI.

Erlaubt man einen Unterschied von einem Lahmheitsgrad (Fehler = 1) zwischen dem Ergebnis der KI und dem Durchschnitt der Untersuchenden, so erhöht sich die Trefferquote auf 94,4% unter Berücksichtigung aller drei Eigenschaften des Pferdes. Bei einem zugelassenen Fehler von 1,5 auf 95,8% und bei einem Unterschied von zwei Lahmheitsgraden letztendlich auf 100% Übereinstimmung (siehe Tabelle im Anhang). Tabelle VI.4.2 zeigt eine Zusammenfassung der Gesamtanzahl der Treffer des Sensorbasierten KI-Systems nach Pferdetypen gegliedert und unter Berücksichtigung aller Tiere mit Lahmheitsgrad 0 bis 3. Eine detaillierte Tabelle dazu findet sich im Anhang.

Ergebnisse

| Pferdetyp (n) | Treffer gesamt: | | | | |
|---------------|-----------------|--------------|-------------------|------|--------------------------|
| | nach Größe | nach Gewicht | nach Kaliberindex | ohne | alle drei Einflussgrößen |
| Kaltblut (4) | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Pony (3) | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Quarter (25) | 18 | 19 | 19 | 17 | 21 |
| Sonstige (15) | 13 | 13 | 12 | 11 | 14 |
| Vollblut (12) | 10 | 10 | 8 | 7 | 9 |
| Warmblut (13) | 9 | 10 | 12 | 10 | 12 |

Tab. VI.4.2: Trefferquote des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad und berücksichtigten Lahmheitsgraden von 0-3.

VII. Diskussion

Notwendigkeit und Anwendungsmöglichkeiten der elektronischen Lahmheitsdiagnostik für Veterinär:innen

Für die meisten orthopädisch-chirurgisch- und in einer Fahrpraxis tätigen Pferdemediziner:innen stellen Lahmheitsuntersuchungen seit langem einen großen Anteil der täglichen Arbeit dar. Es erscheint deshalb sinnvoll, bisherige Vorgehensweisen und die Vor- und Nachteile von neuen Möglichkeiten zu bewerten. Kritiker:innen der modernen, elektronisch-unterstützten Lahmheitsdiagnostik sind der festen Überzeugung, es sei bisher auch ohne Hilfsmittel möglich gewesen, Lahmheiten zu erkennen und zu behandeln und sehen deshalb keinen Zugewinn durch die neuesten Entwicklungen. Kenneth, Keegan und Kolleg:innen stellen fest, dass mit dieser Denkweise auch beispielsweise der Ultraschall, ein nunmehr unverzichtbares Hilfsmittel, niemals Einzug in die Medizin gehalten hätte (Kenneth, 2014). Nach Meinung der Autor:innen liege das Problem bei der Uneinigkeit der untersuchenden Veterinär:innen bezüglich Lokalisation und Grad der Lahmheiten. Keegan et al. fanden durch Blindstudien heraus, dass die Übereinstimmung zwischen „interobserver“ (das heißt beispielweise Interns und erfahrene Veterinär:innen im Vergleich) und „intraobserver“ (erfahrene Equidenmediziner:innen unter sich) gering ist, vor allem bei geringgradigen Lahmheiten. Das Ergebnis einer Studie in Bezug auf Übereinstimmung lautete „only marginally acceptable“ (Keegan et al., 2010).

Bereits Keegan et al. (2010) schlagen vor, insbesondere bei geringgradigen, gemischten oder überspringenden Lahmheiten *unterstützend* Inertialsensortechnik einzusetzen, die die Veterinär:innen aber gleichzeitig nicht ersetzt. Die Technik könnte aber hilfreich sein, wenn die Lahmheit für den Untersuchenden nicht eindeutig lokalisierbar ist oder sich nur als Taktfehler in der Bewegung zeigt. So können auch in der Lahmheitsuntersuchung noch unerfahrene Tierärzt:innen von Sensorsystemen profitieren. Alle Praktiker:innen legen zudem bei ihrer Adspektions-Untersuchung den Fokus auf eine andere Körperregion des Pferdes. Die Lokalisationen der Lahmheiten werden demnach abgeleitet aus der Bewegung der Hüfte oder des Kopfes, der Beobachtung des Raumgriffs oder der Fußungswinkel der einzelnen Gliedmaßen, was folglich oft zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Die elektronische und damit objektive Lahmheitsdiagnostik wäre also eine Möglichkeit, diese Unstimmigkeiten einzudämmen und einen Konsens zu schaffen. Sue Dyson (Dyson, 2011) sieht bei der konventionellen Lahmheitsdiagnostik durch Adspektion vor allem ein Problem bei der Voreingenommenheit der Beobachtenden. Die Erwartungen auf Besserung der Lahmheit, vor

allem nach selbst-durchgeführten diagnostischen Anästhesien, seien zu hoch und würden, wenn auch nur unbewusst, die Beurteilung beeinflussen. Dies könnte ebenfalls durch sensorgestützte Verfahren verhindert werden. Weiterhin stellten Keegan und sein Team in einer Studie fest, dass Sensorsysteme Lahmheiten zu einem früheren Zeitpunkt erkennen können als untersuchende Veterinär:innen (McCracken et al., 2012) und schlussfolgerten daraus einen weiteren Pluspunkt der modernen Technik. Die sensorgestützte Lahmheitserfassung könnte in Zukunft auch einen großen Fortschritt in der kurativen Pferdemedizin darstellen, da beispielsweise geringgradige Verletzungen an den Knochen, Muskeln oder Sehnen frühzeitig erkannt und behandelt und Verschlechterungen vermieden werden könnten. Ein weiterer Vorteil der Sensorsysteme liegt sicher auch darin, dass Beugeproben zukünftig quantifiziert und die Auswirkungen von Nervenblocks objektiv erfasst werden könnten. Außerdem erhofft man sich, kompensatorische und subtile (nur unter dem Reiter sichtbare) Lahmheiten besser diagnostizieren zu können, welche nach wie vor am Schwierigsten zu beurteilen sind.

Ebenso überzeugend erscheint der Faktor „Datensammlungskapazität“ zu sein, da die Sensoren in der Lage sind, Bewegungen mit 50 Hz oder mehr zu erfassen. Außerdem schaffen Abtastraten von beispielsweise 50 Hz eine zeitliche Auflösung der Abtastungen von 20ms, wodurch zum Beispiel für die zeitliche Bestimmung von Fuß-Grund-Kontakt relevante Informationen entstehen können. Das menschliche Auge leistet ca. 15-20 Hz und kann damit nur 15-20 Eindrücke pro Sekunden sammeln. Die vergleichsweise hohen Abtastraten von Sensoren stellen somit Informationen zur Verfügung, die dem menschlichen Auge sonst verborgen bleiben würden. Auch hinsichtlich der Skalenauflösung stellen technische Messsysteme einen Vorteil dar, da auch kleinere Bewegungsveränderungen und kurz andauernde Auffälligkeiten erfasst werden könnten. Die geringe Größe von modernen Inertialsensoren ermöglicht zudem die Untersuchung im gewohnten und natürlichen Umfeld und damit unverfälschte Ergebnisse im Vergleich zu Untersuchungen in Laborumgebungen. Weiterhin kommt die Einfachheit der Anwendung im Feld hinzu. Die Sensoren können schnell angebracht werden, wie beispielsweise bei Equinosis® an Kopf, Rumpf und Vordergliedmaße mit Hilfe von Klebepads oder, wie bei der hier untersuchten Technik, mit Hilfe von Befestigung der Sensoren an vier Untersuchungsgamaschen. In der Regel werden die Sensoren (nach wenigen Gewöhnungsschritten) von den untersuchten Pferden gut toleriert. Selbst Pferde, die keine Gamaschen oder anderen Beinschutz gewöhnt waren, ließen sich problemlos ausstatten und schon nach einigen Gewöhnungsschritten stellte sich augenscheinlich das vorherige Gangbild wieder ein. Das Sensorbasierte KI-System oder andere Sensordiagnostik können grundsätzlich also bei jedem Pferd Anwendung finden, unabhängig davon, ob die Besitzer:innen zu einem

Klinikaufenthalt des Pferdes gewillt sind oder nicht, ein Pferdeanhänger zum Transport dorthin zur Verfügung steht etc. Die Technik ist allgemein als nicht-invasiv anerkannt und die Untersuchungen sind beliebig oft repetierbar (Kenneth, 2014).

Chancen und Grenzen der Sensor-basierten Methoden

Wie bereits bei der Vorstellung der jeweiligen Systeme beschrieben, bringt jeder Ansatz spezifische Vorteile, aber auch Nachteile mit sich, die im Folgenden vergleichend dargestellt werden sollen.

Beim EquuSense® -System erscheint der Vorteil vor allem in der Nutzbarkeit für die Forschung zu liegen. Da, laut Hersteller, nicht nur Ankaufsuntersuchungen und Lahmheitsuntersuchungen besser durchgeführt, sondern auch Einblicke in die Biomechanik der Bewegung und in die Bewegungsanalyse gewonnen werden könnten, sei das System von großem Wert für wissenschaftliche Belange. Auch im Hinblick auf die Ausbildung von Veterinärmedizinierenden, deren Diagnostik durch Zuhilfenahme der Technik präzisiert werden könne, ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten.

Nachteilig aus praktischer Sicht erscheint, dass einige Sensoren, sei es mittels Hufglocken, Gamaschen oder Klebestreifen am Pferd angebracht werden müssen, was möglicherweise zeitintensiver ist, im Vergleich zu anderen Messsystemen mit nur wenigen Sensoren. Es wurden aber zum EquuSense® - System im Speziellen keine Studien veröffentlicht, die z.B. die Übereinstimmung mit Expert:innenmeinungen verifizieren, wie es beispielsweise beim Equinosis®-System/Lameness Locator® der Fall ist. Das Equimetrix®- System benötigt nur einen Sensor, der an einem Bauchgurt befestigt ist und somit in kurzer Zeit anzubringen ist. Das System werde vor allem für Routineuntersuchungen und klinische Versuche genutzt, außerdem könnten Verletzungspausen der Pferde besser überwacht und der Rückkehrzeitpunkt in den Wettkampf bestimmt werden. Es wird gezielt dafür geworben, dass es beispielsweise auch möglich sei, mittels Equimetrix® Jährlinge je nach Potential auszusortieren; jedoch erscheint es fraglich, ob eine derartige Untersuchung bei Jährlingen und nicht angerittenen Pferden möglich ist, die den Gurt vermutlich nicht problemlos dulden. Somit könnten Untersuchungsergebnisse negativ beeinflusst werden. Der Einfachheit der Sensoranbringung steht der mögliche Informationsverlust weiterer Sensoren entgegen. Da nur ein Sensor genutzt wird, ist fraglich, ob damit alle wichtigen Parameter zuverlässig gewonnen werden können und nicht, durch den Verzicht auf weitere Sensoren, Informationen für die Bewertung verloren gehen, die jedoch in der ganzheitlichen Betrachtung der Bewegung durch Veterinär:innen wichtig sind.

Der Lameness Locator®, jetzt Equinosis®, ist das wohl am meisten untersuchte Sensorsystem mit zahlreichen Studien, die vor allem von Keegan selbst veröffentlicht wurden. Dieses System soll zur Unterstützung von Lahmheitsuntersuchungen dienen und wird nicht dahingehend beschrieben, als könne es die tierärztliche Untersuchung gänzlich ersetzen. Es wird, je nach Vorliebe der jeweiligen Tierärzt:innen, bei einfachen Lahmheiten als auch bei Ankaufsuntersuchungen genutzt, um rechtliche Sicherheit zu bieten. Einen Vorteil dieses Systems stellt sicherlich die kommerzielle Verfügbarkeit dar, so dass jede:r Tierärzt:in ein Untersuchungsset erwerben kann. Weiterhin verspricht das System Echtzeitdateninterpretation und, wie auf dem Leipziger Tierärztekongress im Januar 2018 von Eickemeyer® demonstriert, einfache Handhabung und gute Toleranz der untersuchten Patient:innen. Nachteilig ist hierbei der verhältnismäßig - abhängig von der Nutzungshäufigkeit - hohe Anschaffungspreis (ca. 15000 \$). Der finanzielle Aspekt kann mit den anderen Systemen nicht verglichen werden, da es in diesem Feld üblich ist, Preise erst auf Anfrage abzugeben. Weiterhin müssen auch Einweisungen und Fortbildungen abgehalten werden, um das Klinik- oder Praxispersonal mit dem System und seiner Anwendung vertraut zu machen, was wiederum zeitintensiv sein könnte. Eine Instruktion müsste aber auch bei allen anderen Systemen stattfinden und stellt somit keinen Nachteil explizit dieses Systems dar. Keegan selbst kritisiert aber die Problematik einer „multiple limb lameness“. Bei der Schwierigkeit der Diagnose einer mehrfachen Lahmheit an verschiedenen Gliedmaßen, gerät auch das Equinosis® - System an seine Grenzen und liefert teils keine eindeutigen Ergebnisse.

Das EquiGait® - System punktet mit einem Angebot verschiedener Sensorkpakete, die ein breites Spektrum an Untersuchungen ermöglichen. Kein anderes der oben genannten Systeme ermöglicht eine Inspektion und Beurteilung von Rückenbewegungen des Pferdes und eine Qualifizierung von Pferd – Reiter – Interaktionen. Dies stellt sicherlich einen Fortschritt in der Equidenmedizin und im Reitsport dar. EquiGait Ltd. wirbt weiterhin gezielt mit der Nicht-Anbringung der Sensoren an den Gliedmaßen, da so eine Beeinflussung des Gangbilds ausgeschlossen werden könne. Jedoch fehlen auch bei diesem System unterstützende Studien und deren Ergebnisse.

Das Qhorse® - System wird damit beworben, neben wechselnden Lahmheiten auch Stütz- und Hangbeinlahmheiten differenzieren und anzeigen zu können. Zu dieser Aussage konnte kein stichhaltiger Beweis in Form von Untersuchungsergebnissen in einem Artikel gefunden werden. Einschränkend ist, dass das Qhorse®-System nicht im Feld verwendet werden kann, weil die Kameras in einer Reithalle fix vorinstalliert und nicht transportabel sind. Patienten müssen daher in einer bestimmten ausgestatteten Reithalle vorgeführt werden.

Das Sensorbasierte KI-System aus Erlangen punktet mit der Einfachheit der Anwendung. Innerhalb von maximal 15 Minuten, natürlich je nach Kooperativität der Patienten, ist eine vollständige Untersuchung möglich. Die Auf- und Abbauzeiten des Equipments betragen circa fünf Minuten. Die Sensoren sind durch eine Farbmarkierung auch für ungeschulte Helfer:innen leicht anzubringen und die Standard-HKM-Gamaschen wurden von den Pferden gut toleriert. Finanziell kann das neue System konkurrieren, da sich die Herstellungskosten des Sensorbasierten KI-Systems im zweistelligen Euro-Bereich bewegen. Hinzu kommen noch die Softwareentwicklungskosten. Die in der Studie eingesetzten Videokameras sind für die reguläre Nutzung des Systems nicht notwendig. Ein wesentliches Merkmal und ein wissenschaftlicher Zugewinn des Sensorbasierten KI-Systems ist der Einsatz von KI bei der Dateninterpretation. Durch die KI-Algorithmen werden nicht nur Daten visuell bereitgestellt, wie in den verglichenen Systemen, sondern eine quantifizierte Aussage abgegeben über das Vorhandensein einer Lahmheit und den Lahmheitsgrad in der AAEP-Skala. Die untersuchten Pferde können somit untereinander verglichen werden und durch Rückmeldung bzw. Eingabe der Einschätzung der Untersuchenden bei zukünftigen Untersuchungen könnte das KI-System weiter lernen und zunehmend genauere Schätzungen liefern. Die dynamische Lernfunktion wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht erprobt. Theoretisch wäre auch möglich, dass das Sensorsystem von den Untersucher:innen falsch lernt, d.h. nicht der Wahrheit entsprechende Grade von den Tierärzt:innen ermittelt wurden, die dem System aber als Anhaltspunkt dienen. Dies wurde versucht zu umgehen, in dem drei unabhängige Untersuchende hinzugezogen wurden. Je mehr Gutachter:innen zur Verfügung stehen, umso genauer kann dem System ein „richtiger“ Lahmheitsgrad vorgegeben werden um es weiter zu trainieren.

Als Nachteil lässt sich auch anführen, dass die Trefferquote des Systems hinsichtlich einer (Nicht-) Lahmheit bisher „nur“ bei maximal 86,1% liegt und durch weitere Untersuchungen und Weiterentwicklung der Software noch verbessert werden könnte. Ziel eines Lahmheitserkennungssystems sollte ein max. Fehler von 1.0 Bewertungspunkten bei 100% aller für das System zugelassenen Pferde sein, um die Behandelnden effektiv zu unterstützen. In der hier durchgeführten Untersuchung konnte bei einem tolerierten Fehler von 1.0 Bewertungspunkten, (d.h. das System schätzt die Lahmheit um einen Lahmheitsgrad zu hoch oder zu niedrig ein), eine Übereinstimmung von „nur“ 94,4% erreicht werden. Um 100% Übereinstimmung zu erreichen, muss derzeit noch ein Fehler von 2.0 Bewertungspunkten toleriert werden. Dieses Ergebnis lässt sich aber relativieren, indem man den durchschnittlichen maximalen Fehler des Systems betrachtet. Dieser liegt bei 0.83 und verdeutlicht, dass die

Lahmheiten im Durchschnitt „nur“ 0.83 Grad über- oder unterschätzt werden, was wiederum ein tolerables Ergebnis darstellt. Das Sensorbasierte KI-System ist derzeit kommerziell nicht erhältlich und die in der Validierungsstudie verwendeten Sensoren lieferten keine Ergebnisse in Echtzeit. Eine Echtzeit-Diagnose wäre aber zukünftig durch drahtlose Sensoren zu bewerkstelligen. Beim Vergleich mit dem Q-Horse® - System können das Sensorbasierte KI-System als auch das Equinosis® - Produkt mit der Anwendungsmöglichkeit im Feld punkten, was für durchschnittliche Pferdebesitzer:innen von enormer Bedeutung ist. Höchstwahrscheinlich arbeiten mehr Tierärzt:innen, für die ein System zur Unterstützung der Lahmheitsdiagnostik in Frage kommt, in Fahrpraxen und sind darauf angewiesen, Lahmheitsuntersuchungen an den jeweiligen Ställen durchführen zu können. Dies kann als einer der Haupt-Motivationsgründe für eine Weiterentwicklung des neuen Systems gesehen werden.

Ein Druckplattenverfahren, wie in Kapitel IV.7.1 beschrieben, bringt den Nachteil mit sich, dass sein Aufbau und seine Durchführung wesentlich komplizierter und zeitaufwändiger ist als ein modernes Sensorsystem. Außerdem ist eine Anwendung im Feld nicht vorgesehen und benachteiligt wiederum Pferdebesitzer:innen, die keinen stationären Aufenthalt ihres Tieres ermöglichen können – sei es aus finanziellen oder organisatorischen Gründen.

Wenn man jedoch das Equinosis® - System mit dem Sensorbasierten KI-System vergleicht, lässt sich sagen, dass der Vorteil zugunsten Letzterem unserer Meinung nach einerseits in der Einfachheit der Anbringung der Sensoren, andererseits in der KI-basierten Quantifizierung der Lahmheit liegt. Zukünftig könnten weitere KI-Funktionen, wie die Lokalisation von Lahmheiten oder deren Veränderungen, zu einem Fortschritt führen. Weiterhin werden die vier Beinsensoren von den Probanden sehr gut toleriert und irritieren Pferde vielleicht sogar weniger als Kruppen- oder Genicksensoren. Abschließend lässt sich sagen, dass es sich bei dem Sensorbasierten KI-System um ein Zukunftsprodukt handelt, an dem noch weiter geforscht und gearbeitet werden muss. Es gilt in den nächsten Monaten, weitere Interessent:innen bzw. Pferdebesitzer:innen zu finden, die ihre Tiere für Lahmheitsuntersuchungen zur Verfügung stellen, um die Fallzahl und damit die Trefferquote des Systems zu erhöhen.

Es kann zusammengefasst werden, dass die Wahl des Systems sowohl vom Untersuchungsziel, der Anwendungshäufigkeit und der geplanten Örtlichkeit als auch von persönlichen Präferenzen und lokaler Verfügbarkeit abhängt. Eine wesentliche Einschränkung ist, dass von den meisten Sensorsystemen keine Daten von Testläufen vorliegen. Es waren keine Studien zu finden, die die tatsächliche Trefferquote der Systeme beweisen würden, was beim neu vorgestellten System in 72 Fällen (exkl. LH-Grad 4 und 5) mit einer automatisierten

Lahmheitsschätzung getestet wurde. Bei Keegan et al. wurden in einigen Studien das „inter- und intraobserver agreement“ beschrieben, im direkten Vergleich des Sensorsystems mit menschlichen Expert:innen nur aber in einer Studie (McCracken et al., 2012). Somit sind auch wegen unzureichender Datenlage und fehlender Erfolgsquoten keine quantifizierbaren Vergleiche der Sensorsysteme möglich.

Ein Sensorsystem wird also immer eine unterstützende Diagnostikmöglichkeit bleiben und eine:n erfahrene:n Veterinär:in nicht ersetzen können und müssen. Tatsächlich ist nur ein Mensch in der Lage, alle Unwägbarkeiten und Fehlritte einzuschätzen, die ein Fluchttier Pferd als Patient mit sich bringt und es würde trotz einer KI schwierig werden, ein Sensorsystem alle Eventualitäten zu „lehren“.

Diskussion der angewandten Untersuchungsmethodik

Es wäre zukünftig anzudenken, zusätzliche (also mehr als drei) Tierärzt:innen zu akquirieren, die bereit wären, sich die Lahmheitsuntersuchungen auf den Videos anzusehen und den subjektiven Lahmheitsgrad zu bestimmen. Somit könnte die Einschätzung des Lahmheitsgrades noch präzisiert werden und ein immer genauerer durchschnittlicher Lahmheitsgrad entstehen. Eine Lokalisation der Veränderung wäre ein weiteres Alleinstellungsmerkmal der „4-Sensor-Technik“ im Hinblick auf andere, bereits erhältliche Lahmheitsdetektorsysteme und würde einen großen Fortschritt in der modernen Lahmheitsdiagnostik bedeuten. Sollte sich diese Eingrenzungsmöglichkeit bei weitergehenden Untersuchungen in der Zukunft bestätigen, dann könnten mit Hilfe des Sensorbasierten KI-Systems Röntgenbilder gespart, CT-Aufnahmen verringert und zum Scheitern verurteilte Therapieansätze vermieden werden. Interessant wäre aber vor allem auch die Nutzung des Sensorbasierten KI-Systems für Reiter:innen, wenn man die Trefferquote einmal unberücksichtigt lässt und von der ursprünglich gedachten Indikation des Systems zur Lahmheitsdiagnostik für die Tierärzteschaft absieht. Da das neu entwickelte System mit Asymmetrien zwischen den vier Gliedmaßen und deren Raumgriff in der Bewegung arbeitet, könnten die Sensoren dafür genutzt werden, z.B. eine angeborene oder erworbene Schiefe des Pferdes zu detektieren und den Reiter:innen oder Trainer:innen aufzuzeigen. Dies wäre nicht nur für Trainingszwecke interessant, sondern auch zur Wettkampfvorbereitung, zur Schiefenkorrektur oder für Physiotherapeut:innen und Hufschmied:innen.

Diskussion der Einigkeit von Untersuchenden

Beim Vergleich von Berufseinsteigern (Interns, Assistenztierärzt:innen etc.) und erfahrenen Tierärzt:innen wird davon ausgegangen, dass die Übereinstimmung der Lahmheitsgrade gering sein könnte – und die Ergebnisse von Keegan et al.s Untersuchungen sind daher nicht verwunderlich. Viel bemerkenswerter ist, dass auch das „intraobserver agreement“ nicht die erwarteten 80%-100 % erreicht. Es wird deutlich, dass bezüglich der Einteilung in Lahmheitsgrade, auch bei Expert:innen noch Verbesserungsbedarf besteht und ein objektives System demnach sinnvoll sein könnte. Für alle Vorderhandlahmheiten lag die Übereinstimmung in einer Studie Keegans unter Expert:innen bei 22%-26% höher als der Zufall (Keegan et al., 2010) und bei Hinterhandlahmheiten bei 14%-19%, wobei vollständige Lahmheitsuntersuchungen die Übereinstimmung zwischen mehreren Beobachtenden im Vergleich zur Videobeobachtung erhöhen. Uneinigkeit herrscht eher bei geringgradigen Lahmheiten und Keegan et al. (2010) führen aus, dass der aktuelle Standard der subjektiven Lahmheitsuntersuchungen für Lahmheitsgrade unter 1,5 nicht akzeptabel sei. Bei Graden über 1,5 herrschten in einer Studie über 93,1 % Einigkeit, bei niedrigeren Graden sind es 61,9 %. (Keegan et al., 2010). Ähnliche Ergebnisse liefern laut Keegan et al. auch Studien an Hunden und Rindern. Oft herrscht bei erfahrenen Tierärzt:innen nicht nur Uneinigkeit bezüglich des Grades der Lahmheit, sondern auch über die betroffene Gliedmaße. Durch Vorführen der Pferde an der Longe oder Durchführung von Beugeproben im Vergleich zum Vortraben auf gerader Linie bessert sich die Übereinstimmung nicht (Keegan et al., 2010). „Live“-Beurteilungen im Vergleich zu Videobeurteilungen führen jedoch zu höherer Einigkeit. Hinterhand-Lahmheiten können aber auch mit den aktuell verfügbaren Sensorsystemen schwerer detektiert werden als Vorderhand-Unregelmäßigkeiten (Kenneth, 2014) und somit ist auch die Sensordiagnostik, ebenso wie die subjektive Beurteilung, nicht unfehlbar.

In der vorliegenden Studie konnte eine durchschnittliche Übereinstimmung von 80,6 % erreicht werden. Alle *drei* Tierärzt:innen waren sich in 56,8 % der Fälle einig. In 35,8 % der Untersuchungen waren sich *zwei* von drei Beurteilenden einig, während sich in 0,07 % der Fälle alle *drei* uneinig waren. Die grundsätzlich erwartete 80-100%ige Übereinstimmung wurde folglich sogar erreicht. Das Fleiss'kappa zur besseren Darstellung der Interrater-Reliabilität beträgt 0.47, was als moderate Übereinstimmung zu werten ist. Der mittlere maximale Fehler beträgt bei den menschlichen Gutachter:innen 0.49 und macht deutlich, dass durchschnittlich Fehleinschätzungen von „nur“ einem halben Grad passieren. Vergleicht man diesen Wert mit dem Ergebnis der KI (0.83), lässt sich feststellen, dass die Fehler nicht weit voneinander

entfernt sind und somit möglicherweise ein System erschaffen wurde, das Durchführung der Untersuchungen und Übereinstimmung mit den Ratern zusammenbringt. Errechnet man ein Fleiss' Kappa für die zwei Video-Bewerter:innen allein, erhält man ein Ergebnis von 0.61, was als substantielle Übereinstimmung gilt. Dieses Ergebnis lässt Rückschlüsse darauf zu, dass die Art der Präsentation (live-Beurteilung oder Videobegutachtung) einen Einfluss auf die Bewertung hat. Es könnten also eventuell *noch* bessere Einigkeiten erzielt werden, wenn mehrere Tierärzt:innen live oder mehrere Videobewerter:innen zur Verfügung stünden.

Was den Vergleich der Vorder- mit den Hintergliedmaßen betrifft, so kann in unserer Studie ebenfalls Keegans Theorie bestätigt werden, dass Hinterhandlahmheiten schwerer zu detektieren sind. Eine Abweichung in 34 von 36 Fällen bei Hinterhandlahmheiten steht einer Abweichung von 14 von 36 Fällen bei Vorderhandlahmheiten gegenüber.

Beachtet man nur das „interrater-agreement“ zwischen den Tierärzt:innen und somit die unterschiedlichen Einschätzungen der Gutachter:innen, so fällt auf, dass Bewerber:in 3 immer etwas niedriger oder höher beurteilt als die anderen beiden. Die Ursache der abweichenden Bewertungen ist unbekannt, bestätigt jedoch die in der Literatur beschriebene Subjektivität von Lahmheitsuntersuchungen. Es könnte einerseits daran liegen, dass diese:r Beurteilende strenger und/oder genauer ist als die anderen beiden, andererseits kann es auch der Fall sein, dass er oder sie die AAEP-Skala anders interpretiert, oder eigene Lahmheitsgrade aus der Erfahrung heraus vergeben hat. Insgesamt aber lässt sich sagen, dass die Einigkeit der drei Beurteilenden sehr hoch war, obwohl die Bewertungen in zeitlichem Abstand und ohne die Anwesenheit der jeweils anderen Tierärzt:innen erfolgt sind. Für die wenigen unterschiedlichen Trefferquoten der Bewerber:innen im rechts-links-Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen kann keine Ursache gefunden werden. Die Tatsache, dass Vorderhandlahmheiten im Vergleich zu Hinterhandlahmheiten jedoch öfter richtig eingeschätzt werden, deckt sich mit den Aussagen vieler Mediziner:innen und der Literatur, weil Vorderhandlahmheiten u.a. wegen des starken Kopfnickens besser und eindeutiger zu beurteilen seien. Auch verwundert nicht, dass die Einigkeit bei hochgradig lahmen und nicht lahmen Pferden hoch ist und die Schwierigkeit wohl bei der Beurteilung von mittelgradig lahmen Pferden liegt, wo nicht immer eindeutig zu sehen ist, welche Gliedmaße weniger belastet wird und welcher Lahmheitsgrad dann tatsächlich vergeben werden muss. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Literatur und der Aussage Keegans und bekräftigt den Bedarf für objektive Lahmheitsdiagnostik, die unterstützend zum Einsatz kommen sollte, v.a. wenn Unklarheit herrscht.

Zur Beurteilung Einigkeit zwischen KI und Untersuchenden in unserer Studie ist die Kenntnis von Gewicht, Widerristhöhe und Kaliberindex von Bedeutung, da die Einbeziehung dieser

Kenngößen die Trefferquote des Systems deutlich verbessern; vermutlich, weil sie auch den Bewegungsablauf stark beeinflussen. Erwartungsgemäß liefert die Berücksichtigung aller drei Eigenschaften die besten Ergebnisse bei der Auswertung (62 Treffer von 72 Untersuchungen, 86,1%) im Vergleich zur Auswertung der Ergebnisse mit einzelnen Größen oder ohne Berücksichtigung von Kenngößen (49-58 Treffer von 72 Untersuchungen, max. 80,5%), weil die Sensoren umso genauer arbeiten können, je besser die Umweltbedingungen definiert sind. Größe, Gewicht und Kaliberindex definieren die Proportionen eines Pferdes gut und erleichtern eine Gruppierung der Probanden bzw. die Einteilung neu hinzugekommener Testpferde. Es verwundert deshalb nicht, dass die Berücksichtigung nur einer Kenngröße zu einer niedrigeren Trefferquote des Systems führt, wobei „nur Gewicht“ zu einer höheren Quote führt als „nur Größe“. Der Grund hierfür ist fraglich. Die zu erwartende niedrigste Trefferquote mit 68,0% wird erreicht, wenn keine Kenngößen der Pferde berücksichtigt werden. Das Fleiss' kappa für die KI beträgt 0.54 und verdeutlicht, dass das System sowohl unter Berücksichtigung von Größe, Gewicht und Kaliberindex, als auch in zweiter Instanz moderat übereinstimmt. Dazu muss jedoch erwähnt werden, dass KI4 (also die Ergebnisse der KI in zweiter Instanz) immer mit mindestens einem andern KI-Ergebnis übereinstimmt, weil er per definitionem von ihnen abhängt.

Vergleicht man also das „interrater-agreement“ der drei Gutachter:innen mit dem des Sensorbasierten KI-Systems, wird deutlich, dass sich aus den Daten des Systems erstens sogar ein ggr. höheres Fleiss' kappa (0.54) errechnen lässt als für die menschlichen Beurteilenden (0.47) und zweitens für beide Methoden aber gleichzeitig eine ähnliche Übereinstimmung (moderates Ergebnis) nachzuweisen ist. Beide stellen ein durchaus annehmbares Ergebnis dar und die Übereinstimmung der kappa-Werte zeigt einmal mehr, dass das Sensorbasierte KI-System unterstützend zur menschlichen Diagnostik zum Einsatz kommen kann. Mit Ergebnissen aus vorangegangenen Studien zu Konkurrenzprodukten kann an dieser Stelle nicht verglichen werden, da dabei auf die Berechnung von Fleiss' kappa verzichtet wurde.

Durchführung der Untersuchungen

Der Großteil der Lahmheitsuntersuchungen ist völlig komplikationslos verlaufen und so konnten viele wirklich repräsentative Ergebnisse gewonnen werden. Jedoch lässt sich nicht von der Hand weisen, dass wir im gesamten Untersuchungszeitraum auch mit einigen Problemstellungen konfrontiert wurden, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Die wohl größte Schwierigkeit stellten die Umweltbedingungen und äußeren Einflüsse dar, die einige Untersuchungen verkompliziert und verlängert haben. Witterungseinflüsse und das

häufige Nicht-Vorhandensein von Reithallen bzw. trockenen und nicht gefrorenen Böden schränkten manche Lahmheitsuntersuchungen und deren Auswertungen ein. Die Sensoren können ohne umfangreiche Vordaten nicht unterscheiden, ob ein unregelmäßiges Gangbild oder eine veränderte Gliedmaßenbewegung einer Lahmheit oder einer ungeeigneten Bodenbeschaffenheit geschuldet ist. Eine zusätzliche Standardisierung der Bodenbeschaffenheit für die Longiertätigkeit wäre für zukünftige Untersuchungen empfehlenswert. Während der Untersuchungen in der vorliegenden Feldstudie wurde bereits eine Standardisierung der Umgebung erwogen, jedoch hat sich herausgestellt, dass die örtlichen Gegebenheiten hochgradig variierten und selbst ebene Wege nicht überall verfügbar waren. So musste man sich des Öfteren mit der geeignetsten und nicht optimalen Lösung zufriedengeben. Diese Fehlerquelle wäre nach Meinung der Autorin nur zu verringern, wenn man auf eine Feldstudie verzichtet und die Pferde zu einem Ort bringen lässt, wo standardisierte Bedingungen geschaffen werden und jedem Pferd das gleiche Umfeld geboten wird. Jedoch hat der Transport und die spezifischen Gegebenheiten einer Testeinrichtung andere Risiken. Beispielsweise könnte durch die spezifischen Umstände eine Bias in den Sensordaten erzeugt werden.

Ein weiteres Problem stellte in einigen Fällen das Temperament der Probanden und deren Nicht-Gehorsam dar. Viele Pferde wurden wegen chronischer Beschwerden schon des Längeren nicht mehr bewegt und waren dementsprechend übermütig bei der Untersuchung oder es handelte sich um Jungpferde oder auch Ältere, die (noch) wenig Erziehung bekommen hatten oder keine Longenarbeit kannten. Die Besitzer:innen hatten oft Mühe, ihre Pferde (auf Kommando) Gangarten wechseln zu lassen, sie auf einem Zirkel zu halten oder nicht durchgehen zu lassen, was die Untersuchungen langwieriger und die Auswertung komplizierter werden ließ. Derartige Ausreißer und Ungehorsam wurden immer auf den Untersuchungsbögen notiert, um sie bei der Auswertung berücksichtigen zu können. Bei zwei Pferden führten die genannten Probleme zum Ausschluss aus der Studie, da die Sensordaten nicht auswertbar waren. Eine Verbesserung dieser Problematik gestaltet sich erwartungsgemäß schwierig, da man hochgradig lahme Pferde nicht vor der Untersuchung auslasten kann, um ein Durchgehen zu vermeiden. Weiterhin ist es wohl auch schlecht möglich, ungehorsame Pferde als Probanden von vorne herein auszuschließen, da kaum Besitzer:innen von ihrem Pferd zugeben werden, dass es grundsätzlich ungehorsam sei. Man könnte lediglich zu den Probanden-Bedingungen hinzufügen, dass Mindestkenntnisse an Longierarbeit und sicherer Tempowechsel für die Teilnahme erforderlich sind. Bei zukünftigen Lahmheitsuntersuchungen sollte wegen der Repräsentativität auch darauf geachtet werden, mehr Pony-Probanden mit in die Studie

aufzunehmen und dafür perfekt an die Größe angepasste Gamaschen anzuschaffen. Die hier verwendeten Standardgamaschen deckten einen großen Bereich an Pferdegrößen ab und es konnten gültige Daten gewonnen werden. Sie kamen aber bei Kaltblütern und einem Pony an ihre Grenzen bezüglich der Passform und Elastizität der Gummizüge.

Probleme bei der Auswertung der Daten

Es lässt sich sagen, dass die Trefferquote des Systems sicher verbessert werden könnte, wenn noch mehr Studienteilnehmer:innen mit verschiedenen Lahmheitsgraden miteinbezogen werden, da die Varianz bezüglich der Größe, des Alters und der Pferderasse hoch ist. Da es sich jedoch um eine Feldstudie handelt, wurden alle anfallenden Teilnehmer:innen mit in die Studie aufgenommen, unberücksichtigt deren Rasse, Größe etc.

Eine Herausforderung bei der Datenauswertung war demnach das Festlegen der Merkmale und Schätzmethodik. Welches Bein mit welchem Bein schematisch verglichen werden sollte und welche Sensordaten genutzt werden müssen, um bestmögliche Aussagen gewinnen zu können, wurde in verschiedenen Ansätzen vom Lehrstuhl für Digital Health um Professor Oliver Amft getestet. Letztendlich stellte sich die Beurteilung jedes einzelnen Beines im Vergleich von nicht-lahmen mit lahmen Pferden als am Aussagekräftigsten dar. Auch kann nur spekuliert werden, warum die verschiedenen Algorithmen bei der KI basierten Messung in einigen wenigen Fällen bei demselben Pferd stark voneinander abweichen was den zugeteilten Lahmheitsgrad betrifft. Meist kann man den Grund dafür in der Tabelle bei den bekannten Lahmheitsursachen finden, weil die Pferde beispielsweise neurologische Erkrankungen haben, die das komplette Gangbild verändern oder es sich um Tiere handelt, die multipel lahm sind. Es wären auch anatomische Ursachen als Grund für die Diskrepanz denkbar, da die Sensoren z.B. angeborenen Beckenschiefstand, ungleich steil stehende Hufe oder Zehenschleifen nicht richtig einordnen können oder positiver gesehen mit in die Lahmheitsbeurteilung miteinbeziehen – was ein menschlicher Untersuchender wahrscheinlich ausblenden würde. Daher kann in diesem Zusammenhang nicht beantwortet werden, ob die KI in diesen Fällen einfach genauer analysiert oder überreagiert. Sicher kann jedoch statuiert werden, dass das System bei Lahmheitsgraden 4 und 5 ungenauer wird und die Trefferquote unter Einbeziehung hoher Lahmheitsgrade laut Berechnungsversuch sinkt. Dies liegt aller Vermutung nach an dem stark veränderten Gangbild, das ein Pferd mit starker Lahmheit zeigt und das die Sensoren nicht mehr korrekt analysieren können. Des Weiteren ist bei Pferden mit derart hochgradigen Lahmheiten keine vollständige Lahmheitsuntersuchung mehr möglich und den Sensoren fehlen so wertvolle Informationen für eine korrekte Einstufung.

Praktikabilität des Sensorbasierten KI-Systems, Chancen und Zukunftsausblick

Nach Abschluss der oben beschriebenen Lahmheitsuntersuchungen lässt sich sagen, dass das Sensorbasierte KI-System durchaus praktikabel und anwenderfreundlich ist - wenn auch (noch) nicht völlig uneingeschränkt. Wie in den Grafiken oben ersichtlich, konnten dank der vorhandenen Gummizüge an den Gamaschen sowohl ein Pony, als auch Shire Horses mit dem gleichen System untersucht werden, ohne dass aufgrund der unterschiedlichen Größen ein zweites Gamaschenpaket nötig wurde. Weiterhin wird vor Ort nur eine Steckdose für die Sensor-Ladestation benötigt, die in jedem Stall vorhanden war; die notwendigen baulichen Voraussetzungen im Stall sind also als gering einzustufen. Lediglich die Vorführungsfläche, auch abhängig von der Witterung, muss bei zukünftigen Untersuchungen genauer präzisiert und standardisiert werden, um Sensorungenauigkeiten aufgrund unterschiedlicher Bodenverhältnisse zu vermeiden. So sollte es als gegeben angesehen werden, dass Lahmheitsuntersuchungen an der Longe bei Bodenfrost oder Dauerregen nur in Reithallen mit entsprechend rutschfestem Untergrund oder überdachten Roundpens o.Ä. durchgeführt werden. Auf Untersuchungen auf Weiden oder (an)gefrorenen, überfluteten Reitplätzen sollte verzichtet werden, da diese wegen der nötigen Ausgleichsbewegungen das Gangbild des Pferdes verfälschen und die Sensoraufnahmen somit als uneindeutig einzustufen sind. Um zusätzliche Verfälschungen zu vermeiden, ist es außerdem ratsam, „ungeeignete“ Pferde, das heißt Tiere, die aufgrund ihres Alters oder Trainingszustandes nicht mit den Vorführmethoden vertraut sind, grundsätzlich von dieser Art der Lahmheitsdiagnostik auszuschließen.

Eine große Chance dieser innovativen Methode ist neben der Wiederholbarkeit mit Sicherheit die Ausbaubarkeit der Untersuchungen. Dies betrifft einerseits die Teilnehmerzahl, da eine Erhöhung der Fallzahl der Genauigkeit des Systems zuträglich wäre; andererseits kann das vorhandene Sensor- und Gamaschensystem ohne große technische und finanzielle Aufwendungen weiter ausgestattet werden. Wir denken hierbei konkret an eine Umwandlung der verwendeten Shimmer®-Sensoren in „Bluetooth-fähige“ Sensoren, die Daten in Echtzeit auf Smartphones, Laptops oder andere Bluetooth-fähige Geräte übertragen könnten und somit eine sofortige Beurteilung möglich machen würden. Auch könnte man das verwendete Kamerasystem bzw. die Kameraführung noch verbessern, indem man beispielsweise Kameras verwendet, die auf Leisten aufgebracht werden und sich parallel zu der Vorführstrecke bewegen können. Alternativ könnten die verwendeten Kameras auch gegen Action-Cams wie zum Beispiel eine GoPro® ausgetauscht werden. Diese sind dazu geeignet, bewegte Objekte filmen zu können und sie sind außerdem mit einem Bildstabilisator ausgestattet, der die Bewegungsunschärfe reduziert. Dadurch könnte nicht nur die Bildschärfe, sondern folglich

auch die Beurteilbarkeit der Aufnahmen für eine Lahmheitsgradbewertung durch nicht anwesende Tierärzt:innen deutlich erhöht werden. Außerdem gäbe es am Ende der Untersuchungen noch andere Präsentationsmöglichkeiten für die Ergebnisse als unsere Darstellung in EKG-ähnlichen Graphen, die noch interpretiert werden müssen und einiger Erfahrung bedürfen. Dafür müsste in Zukunft eine passende Software und/oder eine App entworfen werden, die die Sensorergebnisse in Echtzeit auswertet und den Lahmheitsgrad der jeweiligen Beine, beispielsweise in Form eines Diagramms oder einer Tabelle, auf dem Bildschirm darstellt. Somit wären die Ergebnisse auch für unerfahrenere Untersuchende auswertbar und für die Tierbesitzer:innen verständlich. Mit wenigen Verbesserungen könnte den praktizierenden Tierärzt:innen oder anderen Anwender:innen in kurzer Zeit ein konkurrenzfähiges Produkt präsentiert werden, das wie der Lameness Locator®/Equinosis® von Eickemeyer® von einer Firma kommerziell vertrieben werden kann.

Zusammenfassend lässt sich am Ende sagen, dass die Inertialsensortechnik große Chancen für die Tiermedizin im Allgemeinen bringt. So könnte beispielsweise die Dokumentation erleichtert und Krankenakten genauer geführt werden, sowie Behandlungserfolge dokumentiert und sogar mit Kolleg:innen - ob national oder international - besprochen und verglichen werden. Außerdem könnte die Technik auch rechtlich von Nutzen sein, beispielsweise bei Klagen im Hinblick auf Ankaufsuntersuchungen. Am Tag der Ankaufsuntersuchung kann ein eindeutiges Ergebnis der Untersuchung präsentiert werden, das in das Behandlungsprotokoll mit einfließt und auf das nach Jahren zurückgegriffen werden kann, sollte es zu einem Rechtsstreit kommen.

Die größten Vorteile in der Praxis bestehen vermutlich bei der Beurteilung von diagnostischen Anästhesien (Vorher-Nachher-Messung) und bei der Einschätzung von Lahmfreiheit vor Turnieren und Rennen, um gegebenenfalls Trainings anzupassen und um Verletzungen im Wettkampf durch Frühdiagnostik vorzubeugen. Der größte Nachteil der aktuell erhältlichen Sensortechnologie ist jedoch ihr Anschaffungspreis, der (zwar geringe) Mehraufwand bei der Untersuchung, sowie die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Aufgrund von geringen Patientenzahlen kann daher nicht in jeder Praxis ein Mehrwert durch Sensorsysteme erwartet werden.

VIII. Zusammenfassung

Ziel

Ziel dieser Pilotstudie ist es, eine neue Möglichkeit der Sensordiagnostik mit Sensoranbringung an den vier Gliedmaßen vorzustellen und deren Trefferquote zu verifizieren, so dass am Ende ein Prototyp präsentiert werden kann. Zu Beginn der Arbeit wird die subjektive Lahmheitsuntersuchung durch Veterinär:innen der objektiven Lahmheitsdiagnostik mittels technischer Hilfsmittel gegenübergestellt und Vor- und Nachteile aufgezeigt. Im Anschluss daran werden vorhandene Sensor- und andere Diagnostiksysteme, die weltweit im Einsatz sind, aufgelistet und deren Praktikabilität, Kosten und Nutzen aufgezeigt, bevor auf das hier untersuchte Sensorbasierte KI-System näher eingegangen wird. In der vorliegenden Feldstudie soll anhand der durchgeführten Untersuchungen einerseits ein interrater-agreement zwischen drei Veterinär:innen, andererseits ein interrater-agreement zwischen drei Veterinär:innen und Künstlicher Intelligenz bestimmt werden.

Methode

Um aussagekräftige Ergebnisse der Trefferquote zu erlangen, wurden insgesamt 78 Lahmheitsuntersuchungen von lahmen und nicht lahmen Pferden und Ponys unterschiedlicher Rasse und Größe sowie unterschiedlichen Geschlechts und Alters mit Hilfe eines statistischen, musterbasierten Verfahrens und unterstützender Videoanalyse durchgeführt. Dabei wurden Inertialsensoren, befestigt in handelsüblichen Gamaschen, an den vier Gliedmaßen angebracht und eine vollständige Lahmheitsuntersuchung im Schritt und Trab durchgeführt, die von einer Tierärztin vor Ort und zwei Tierärzt:innen per Videoaufnahme unabhängig begutachtet und bewertet wurden. Die Daten der drei untersuchenden Tierärzt:innen bezüglich Betroffenheit der Gliedmaße und Lahmheitsgrad dienten einerseits der Bestimmung eines „interrater-agreements“ unter den Veterinär:innen, andererseits dem Sensorsystem als Referenzwert und der Weiterentwicklung einer KI. Die Sensordaten wurden mit eigens darauf zugeschnittener Software am Lehrstuhl für Digital Health um Professor Dr. Oliver Amft ausgewertet.

Ergebnisse

Nach der Auswertung der Daten und dem Festlegen von geeigneten Datenmerkmalen kommt die Studie zu dem Schluss, dass das „interrater agreement“ zwischen den menschlichen Gutachter:innen mit 80,6% Übereinstimmung hoch ist, obwohl die Beurteilenden nicht gleichzeitig untersucht haben und nur eine Person direkt vor Ort beurteilt hat. Untersucht man die Trefferquote des Sensorbasierten KI-Systems und damit das „interrater-agreement“ zwischen Mensch und KI bezüglich der richtigen Bestimmung des jeweiligen Lahmheitsgrades (0-3), kommt man zu einem Ergebnis zwischen 68,0% und 86,1% ohne oder mit Berücksichtigung von drei verschiedenen Kenngrößen der untersuchten Pferde – Größe, Gewicht und Kaliberindex der Tiere.

Ein Vergleich mit anderen, bereits vorhandenen Systemen, stellte sich aufgrund Datenmangels zur Quantifizierung der Leistungsfähigkeit dieser Systeme als sehr schwierig heraus, weshalb keine Verbesserung der modernen Lahmheitsdiagnostik bewiesen werden kann.

Schlussfolgerung

Abschließend lässt sich sagen, dass das untersuchte System vielversprechende Ergebnisse liefern konnte, die es mit Hilfe weiterer Lahmheitsuntersuchungen zukünftig noch auszubauen und zu präzisieren gilt. Ein Alleinstellungsmerkmal des untersuchten Sensorbasierten KI-Systems ist sicherlich die Tatsache, dass erstmals eine Quantifizierung der Leistungsfähigkeit eines Systems in Prozent erfolgt, wobei KI unterstützend zum Einsatz kommt und die Anwendung der Sensoren an den vier Gliedmaßen im Vergleich zu Kopf- oder Beckensensoren ungleich einfacher ist und vermutlich auch besser toleriert wird.

Wichtig zu erwähnen ist außerdem, dass es sich bei dem vorgestellten System um einen Prototyp handelt, der noch in seiner Entwicklung begriffen ist, so dass zukünftig eventuell auch Aussagen zur Lokalisation der Veränderung möglich sind und damit beispielsweise eine Einschränkung von Röntgenaufnahmen bewirkt werden kann. Um derartige Ergebnisse zu produzieren, werden weitere Lahmheitsuntersuchungen zur Vergrößerung des Datenpools nötig sein.

IX. Summary

Objectives

The aim of this pilot study is to present a new possibility of sensor diagnostics with sensors fixed on the four legs of the horse and to verify the hit rate to be able to introduce a new prototype. At the beginning of the present study a subjective lameness examination by a vet is opposed to objective lameness diagnostics with technical assistance naming advantages and disadvantages. Furthermore, sensor- and other diagnostic systems are listed, illustrating their practicability, costs and benefit, before the focus is put on the new Sensorbasiertes KI-System. On the one hand the present field study aims to find out an interrater-agreement between the three examiners, on the other hand we want to present an interrater-agreement between human - and Artificial Intelligence.

Methods

To gain significant results of the hit rate, a total of 78 lameness examinations of lame and not lame horses and ponies of different breed, height, gender and age were proceeded by means of a statistical, pattern-based approach and supporting video analysis. For that purpose, inertial sensors, fixed on commercial tendon boots, were attached to the four equine legs and a complete lameness examination in trot and walk, watched and evaluated by a vet live and two vets via video-examination independently, was performed. The data of the vets concerning the affected leg and the lameness grade served the sensor system as a reference value and the AI for development. The data of the sensors was analysed by a custom-made software from the Chair of Digital Health headed by Professor Dr. Oliver Amft.

Results

After the evaluation of the data and the fixation of suitable data features the study concludes that the interrater agreement between the three human raters is high with 80,6% of agreement, although the vets didn't rate the horses the same time and only one vet rated the horses live at their stables.

Concerning the hit rate of the sensor-based KI-system in relation to the different lameness grades (0-3) and therefore the interrater-agreement between human and the AI, the results

end up between 68,0% and 86,1% with or without the inclusion of the three characteristics of the horses examined – like height, weight and caliber index.

A comparison with other existing systems turns out to be difficult because of the lack of data concerning the quantification of efficiency of the other systems. An improvement in modern lameness diagnostics can therefore not be evidenced.

Conclusion

All in all, the examined system provides promising results, which must be progressed and specified by further lameness examinations. A unique selling point of the Sensorbasiertes KI-System surely is the fact that for the first time a quantification of efficiency in percentage of a system was being conducted where AI was being used. Furthermore, it is unique that sensors are attached to the four legs of a horse instead of neck and pelvis for example, which is easier and probably better tolerated.

Besides, it is important to mention that the presented sensor system is a prototype, which must be seen still in progress. In the future, the system might be able to recognize not only the lame leg and lameness grade, but also the localisation of the lameness, which could for example limit the use of radiographs. To achieve these goals, further lameness examinations must be performed to enlarge the data pool. They are already being planned.

X. Literaturverzeichnis

Adams, O. R., et al. (2008). Adams' Lahmheit bei Pferden, Schaper.

Baumgartner, W. (2014) Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere, Parey

Baxter, G. M. (2011). Adams and Stashak's Lameness in Horses, Wiley.

Brehm, W., et al. (2016). Handbuch Pferdepraxis: Begründet von Olof Dietz und Bernhard Huskamp, Enke.

Buchner, H. F., Back, W., & Clayton, H. (2013). Gait adaptation in lameness. BACK, W.; CLAYTON, H. Equine locomotion. St. Louis: Saunder Elsevier, 175-197.

Chateau, H., et al. (2009). "Design and validation of a dynamometric horseshoe for the measurement of three-dimensional ground reaction force on a moving horse." J Biomech 42(3): 336-340.

Corbin, Isabelle (2004), Inaugural-Dissertation zum Thema : „ Kinematische Analyse des Bewegungsablaufes bei Pferden mit Gliedmaßenfehlstellungen und deren Behandlung durch Beschlagskorrekturen“, corbini_ws04(1).pdf

Dyson, S. (2011). "Can lameness be graded reliably?" Equine Vet J 43(4): 379-382.

Dyson, S. J., & Ross, M. W. (2011). Diagnosis and Management of Lameness in the Horse. WB Saunders Company.

Fugazzola, M., Akute Lahmheit in der Außenpraxis-Sorgfaltspflicht und diagnostische Möglichkeiten, pferde spiegel 2017; 20(03): 98-106

Hanbücken, F. W., et al. (2014). PferdeSkills: Arbeitstechniken in der Pferdepraxis, Schattauer.

<http://www.duden.de> , März 2017

<http://www.equigait.co.uk> , 20.06.2017, 15.08.2019

<http://www.equimetrix.com>, 12.06.2017, 01.09.2019

<http://www.equinosis.com>, 15.06.2017, 05.07.2017, 15.09.2019

<http://www.equusys.com>, 15.06.2017, 16.08.2019
<http://www.equusys.com/solutions/forvetsprofessionals.html>
<http://www.equusys.com/faqs.html>,
<http://www.equusys.com/solutions/forresearchteaching.html>

<http://www.qualysis.com>, 13.06.2017, 05.08.2019

Keegan, K. G., et al. (2001). "Signal decomposition method of evaluating head movement to measure induced forelimb lameness in horses trotting on a treadmill." Equine Vet J **33**(5): 446-451.

Keegan, K. G. (2007). "Evidence-based lameness detection and quantification." Vet Clin North Am Equine Pract **23**(2): 403-423.

Keegan, K. G. (2011). "Gait Analysis for the Quantification of Lameness." 245-251.

Keegan, K. G., et al. (2010). "Repeatability of subjective evaluation of lameness in horses." Equine Vet J **42**(2): 92-97.

Kenneth, M., (,The Lameness Locator: Weird science or industry breakthrough? Learn how this new technology sees what the human eye can't"
Sep 01, 2014 By Kenneth Marcella, DVM, DVM360 MAGAZINE;
<http://veterinarynews.dvm360.com/lameness-locator-weird-science-or-industry-breakthrough?pageID=2>), 10.03.2017

Litzke, L. F. and B. Rau (2012). Der Huf: Lehrbuch des Hufbeschlages begründet von Hermann Ruthe, Enke.

McCracken, M. J., et al. (2012). "Comparison of an inertial sensor system of lameness quantification with subjective lameness evaluation." Equine Vet J **44**(6): 652-656.

Oxford Languages Dictionary, google.de, 2021, Stichwort "kinetics"

Ross, M.R. and Dyson, S.J. (2003) Diagnosis and Management of Lameness in Horses. Publ. Sanders, Elsevier Science, USA.

Ross, M. W. and S. J. Dyson (2010). Diagnosis and Management of Lameness in the Horse - E-Book, Elsevier Health Sciences.

Stoiser, O. B. Athens Reitschule: Xenophons" Reitkunst" unter hippologischen Aspekten/vorgelegt von Olivia Brigitte Stoiser (Doctoral dissertation, Karl-Franzens-Universität Graz), (2017).

XI. Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abb. IV.5.1 | Übersichtsbeugeprobe rechte Hinterhand. | 7 |
| Abb. IV.5.2 | Proximale Beugeprobe linke Vorderhand. | 7 |
| Abb. IV.6.1 | Schemazeichnung des Vorderbeins von palmar, Kennzeichnung der Kanülenpositionen zur tiefen Palmarnervenanästhesie 1 und 2 sowie zur mittleren Palmarnervenanästhesie. | 9 |
| Abb. IV.6.2 | Schemazeichnung des rechten Vorderbeins von medial mit skizzierten Griffelbein und Kanülenpositionen der tiefen und hohen Vierpunkt-Anästhesie. | 9 |
| Abb. IV.6.3 | Schemazeichnung der Injektionsstellen für die Anästhesie des Nervus plantaris, rechte Hintergliedmaße, Ansicht von plantar. | 9 |
| Abb. IV.6.4 | Schemazeichnung der Injektionsstellen für die Anästhesie des Nervus tibialis und fibularis, beide Hintergliedmaßen, Ansicht von links lateral. | 9 |
| Abb. IV.6.5 | Übersicht zur Abfolge einer tierärztlichen Lahmheitsuntersuchung. | 10 |
| Abb. IV.7.1.1 | Schematisches Verhältnis von Lahmheitsgrad und vertikalen GRF (eigene Grafik nach Keegan). | 11 |
| Abb. IV.7.1.2 | Illustratives Bild eines kommerziell erhältlichen Hufschuhs ohne technische Ausstattung aus https://www.kraemer.at/Pferd/Gamaschen-Bandagen-Hufschuhe/Hufschuhe-Krankenschuhe (zur Wiederverwendung gekennzeichnet). | 12 |
| Abb. IV.7.4 | EquuSys ® - Sensoren an den lateralen Hufwänden, den Metatarsalia, den Oberschenkeln, am Kopf, am Widerrist und am Rumpf (Beispiel), (ursprüngliche Pferdezeichnung aus https://www.google.com/search?q=Pferd+zeichnung&client=firefox-b&tbm=isch&source=ln&tbs=sur:fc&sa=X&ved=0ahUKEWj2y4nH54_eAhU SEVAKHfT7BLgQpwUIHg&biw=1280&bih=593&dpr=1.5#imgrc=-deX5gQOlr9FM); zur Wiederverwendung gekennzeichnet). | 19 |
| Abb. IV.7.5 | Schemazeichnung der Sensorposition beim Equimetrix ®-System. | 20 |
| Abb. IV.7.6 | Schemazeichnung der Sensorpositionen beim Equinosis ® - System. | 22 |
| Abb. IV.7.7 | Schemazeichnung der Sensorpositionen beim EquiGait ® - System. | 24 |
| Abb. IV.7.8 | Schemazeichnung der Sensorpositionen beim Qualysis ® - System. | 25 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------------|--|----|
| Abb.V.1.1 | Beispielhafte dreidimensionale Darstellung (x-,y-z-Achse) der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, Übersicht, Accelerometer LN stellt die rauscharme Beschleunigung (+/- 2g) dar, Accelerometer WR die Beschleunigung mit weitem Aufnahmebereich (+/- 8g). | 28 |
| Abb.V.1.2 | Beispielhafte Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, im Schritt auf dem Zirkel, linker Hand, Ausschnitt. | 29 |
| Abb.V.1.3 | Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, Trab auf gerader Strecke, einfache Strecke, vergrößerter Ausschnitt. | 29 |
| Abb.V.1.4 | Darstellung der Beschleunigung, der Rotation und des Magnetfelds, im Trab auf gerader Strecke, weiter vergrößerter Ausschnitt. | 30 |
| Abb. V.2.1 | Eingesetzte Inertialsensoreinheiten (Modell: Shimmer) (rot) an der Ladestation. | 31 |
| Abb. V.2.2 | Eingesetzte Gamasche für das rechte Vorderbein des Pferdes mit Sensortasche (rot). | 31 |
| Abb. V.2.3,1-3 | Rot-gekennzeichnete Gamasche der rechten Vorderhand mit Position und Befestigung des Sensors. | 32 |
| Abb.V.3 | Kamerapositionen während der Aufnahme auf der geraden Strecke und rechts die Kameraposition an der Longe (links herum). | 33 |
| Abb. VI.1.2 | Verteilung der untersuchten Pferde nach Geschlecht. | 43 |
| Abb.VI.1.3 | Altersverteilung der Probanden. | 43 |
| Abb.VI.1.4 | Einteilung in Pferdetypen. | 44 |
| Abb.VI.1.5 | Gewichtsverteilung der untersuchten Pferde/Ponys. | 45 |
| Abb VI.1.6 | Verteilung der Widerristhöhe über die Probandengruppe. | 45 |
| Abb.VI.1.7 | Verteilung des Kaliberindex über die untersuchten Pferde. | 45 |
| Abb VI.2.1 | Auftreten der fünf Lahmheitsgrade und Lahmfreiheit im Verhältnis zur Anzahl der Probanden. | 47 |
| Abb.VI.2.2 | Verteilung der Lokalisationen über die Probandengruppe. | 48 |
| Abb.VI.3.1.1 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersucher:in. | 49 |
| Abb.VI.3.1.2 | Aufteilung der zugeteilten Lahmheitsgrade je Untersucher:in. | 50 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abb.VI.3.1.3 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten vorne rechts. | 51 |
| Abb. VI.3.1.4 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten vorne links. | 51 |
| Abb.VI.3.3.1 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten hinten rechts. | 52 |
| Abb.VI.3.3.2 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmheiten hinten links. | 52 |
| Abb.VI.3.4.1 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Vorderhandlahmheiten. | 53 |
| Abb.VI.3.4.2 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Hinterhandlahmheiten. | 53 |
| Abb.VI.3.5.1 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei Lahmfreiheit. | 54 |
| Abb.VI.3.5.2 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei geringgradigen Lahmheiten. | 54 |
| Abb VI.3.5.3 | Abweichung vom durchschnittlichen Lahmheitsgrad je Untersuchenden bei hochgradigen Lahmheiten. | 54 |

XII. Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Tab. IV.3 | Tabelle zur Einteilung in fünf Lahmheitsgrade nach AAEP..... | 3 |
| Tab. IV.7.9 | Tabellarische Zusammenfassung der fünf derzeit verwendeten und im Fließtext beschriebenen Inertialsensoren-systeme. | 26 |
| Tab. V.4 | Beispiele von Merkmalen, die zur Schätzleistung für den Lahmheitsgrad führten; WR: Weitbereichsbeschleunigung, LN: lineare Beschleunigung, vl: vorne links, hl: hinten links, vo re: vorne rechts. | 35 |
| Tab. VI.1.1 | Übersicht über alle Patientendaten. | 39 |
| Tab. VI.4.1 | (Fehl-)Einschätzung (zu hoch, zu niedrig oder richtig) des Sensorbasierten KI-Systems mit und ohne Berücksichtigung der jeweiligen Eigenschaft des Pferdes mit einer Fehlerakzeptanz von 0,5. Alle 72 Pferde mit Lahmheitsgraden von 0-3. | 55 |
| Tab. VI.4.2 | Trefferquote des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad und berücksichtigten Lahmheitsgraden von 0-3. | 57 |
| Tab. XIII.2.1 | Detaillierte Darstellung der vergebenen Lahmheitsgrade durch die Tierärzt:innen, geordnet nach Lahmheitsgraden. | 86 |
| Tab. XIII.2.2 | Tabellarisch aufgeführte, vergebene Lahmheitsgrade des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad, sortiert nach Pferdetypen. | 88 |
| Tab. XIII.2.3 | Detaillierte, tabellarisch aufgeführte Trefferquote des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad, sortiert nach Pferdetypen | 90 |

XIII. Anhang

XIII.1 Studienprotokoll und Einverständniserklärung

Protokoll Aufnahmen

Name des Pferdes: _____

Name des Besitzers/der Besitzerin: _____

Pferderasse: _____

Geburtsdatum/Geburtsjahr: _____

Stute/Wallach/Hengst? _____

Stockmaß ca.? _____

Gewicht ca.? _____

Lahmheit eindeutig/immer sichtbar ? _____

Diagnostizierte Lahmheit – ja/nein? _____

Wo diagnostiziert und mit Hilfe welcher Methoden? Palpation/Diagn.
Anästhesie/MRT/CT/Rö etc.

Diagnose: _____

Umgebung der Lahmheitsuntersuchung ? Bodenbeschaffenheit?/gerade Strecke vorhanden?
etc.

Vorkommnisse während der Aufnahmen ? Technische Störungen/Unwilligkeit des Pferdes
etc.

Anhang

Zeitprotokoll:

1. Schritt auf gerader Linie: Zeit: _____
2. Trab auf gerader Linie: Zeit: _____
3. Trab rechts herum auf dem Zirkel: _____
4. Trab links herum auf dem Zirkel: _____
5. Schritt links herum: _____
6. Schritt rechts herum: _____

Lahmheitsgrad: 0 1 2 3 4 5

Einverständniserklärung

Technische Anforderungen

- Die Daten werden explizit für die Lahmheitsuntersuchungen gesammelt. Die Bedingungen (Ort, Gangart, Sensoren, Sensorpositionen) werden für alle teilnehmenden Pferde gleich sein.
- Die Sensorsysteme werden an den Gamaschen befestigt
- Das IMU (inertial measurement unit) zeichnet Daten bei 50Hz auf

Bewertung Vor- und Nachteile

Auf eine ethische Bewertung der Versuchsreihe kann verzichtet werden, da die teilnehmenden Pferde weder physischen noch psychischen Schaden erleiden werden. Die Lahmheit und damit die Schmerzen sind bereits vorhanden und die Belastung beim Vorführen muss für eine Diagnose auch bei einer subjektiven Lahmheitsuntersuchung in Kauf genommen werden. Allerdings müssen die Probanden körperlich (außer der Lahmheit) gesund sein. Der Untersucher als auch der/die Tierbesitzer/in haben jederzeit die Möglichkeit, die Aufnahmen vorzeitig abubrechen. Die Daten der teilnehmenden Pferde werden vertraulich behandelt, erscheinen in der Arbeit nur anonym als IDs und sind für Dritte nicht zugänglich.

Ziel dieser weiterführenden Studie (Voruntersuchung durch Iadh Aboud) ist es, die Anzahl der teilnehmenden Tiere zu erhöhen und somit eine verlässlichere Aussage zu bekommen, ob und inwiefern Lahmheiten von Sensoren diagnostiziert werden können. Es sollen Möglichkeiten und Grenzen im Bereich der Lahmheitsdiagnostik mit einer kleinen Anzahl Sensoren und einfacher Anbringung aufgezeigt werden.

Auf Nachfrage kann der jeweilige Pferdebesitzer über die Ergebnisse der Sensor-Untersuchung informiert werden und erhält Zugang zu den gesammelten Daten seines Pferdes.

Technische Probleme

Die verwendeten Messgeräte wurden auf Sicherheit geprüft; daher ist das Risiko einer technischen Störung gering. Sie ist dennoch nicht vollständig auszuschließen.

Bei einer Störung eines Sensors, kann die Aufzeichnung unvollständig, fehlerhaft oder gänzlich fehlend sein. Es besteht jedoch in keinem Fall eine Gefahr für die Gesundheit des Pferdes.

Datenschutz

Alle Pferde werden mit einer fortlaufenden Nummer (anonym) codiert. Die Daten werden in einem Server gespeichert, dann verarbeitet und analysiert. Nur autorisierte Personen haben Zugriff auf die aufgezeichneten Daten.

Unterschrift

Durch ihre Unterschrift gestatten die Pferdebesitzer/innen, dass die anonymisierten Daten für die nachfolgende Analyse verwendet und anonym veröffentlicht werden dürfen.

Wenn Bild- oder Videomaterial aufgezeichnet wird, dann darf das Material für die Analyse und Veröffentlichung verwendet werden.

Studienleiter/in, Tierarzt/-ärztin

Besitzer/-in

XIII.2 Detaillierte tabellarische Übersicht über die Untersuchungsergebnisse

1. Detaillierte Darstellung der vergebenen Lahmheitsgrade durch die Tierärzt:innen, geordnet nach Lahmheitsgraden

| Nummer des Pferdes | Rater 1 Livebeurteilung | Rater 2 Videobeurteilung | Rater 3 Videobeurteilung | Durchschnitt Lahmheitsgrad | Auf-/Abgerundeter Durchschnitt |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0.33 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0.5 | 0.17 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 |
| 19 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 |
| 20 | 1 | 1 | 1.5 | 1.17 | 1 |
| 21 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 |
| 22 | 2 | 1 | 1 | 1.33 | 1 |
| 23 | 0 | 1 | 1 | 0.67 | 1 |
| 24 | 1 | 2 | 1 | 1.33 | 1 |
| 25 | 2 | 1 | 1 | 1.33 | 1 |
| 26 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 |
| 27 | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 |
| 28 | 1 | 0 | 2 | 1.00 | 1 |
| 29 | 0 | 0 | 1.5 | 0.50 | 1 |
| 30 | 1 | 1 | 2 | 1.33 | 1 |
| 31 | 1 | 0 | 1.5 | 0.83 | 1 |
| 32 | 2 | 3 | 1.5 | 2.17 | 2 |
| 33 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |
| 34 | 3 | 2 | 2 | 2.33 | 2 |
| 35 | 2 | 2 | 1 | 1.67 | 2 |
| 36 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |
| 37 | 2 | 2 | 1.5 | 1.83 | 2 |
| 38 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |
| 39 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |

Anhang

| Nummer des Pferdes | Rater 1 Livebeurteilung | Rater 2 Videobeurteilung | Rater 3 Videobeurteilung | Durchschnitt Lahmheitsgrad | Auf- /Abgerundeter Durchschnitt |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| 40 | 3 | 2 | 1.5 | 2.17 | 2 |
| 41 | 2 | 2 | 2.5 | 2.17 | 2 |
| 42 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |
| 43 | 3 | 1 | 2.5 | 2.17 | 2 |
| 44 | 2 | 2 | 1.5 | 1.83 | 2 |
| 45 | 2 | 2 | 1.5 | 1.83 | 2 |
| 46 | 3 | 2 | 2 | 2.33 | 2 |
| 47 | 2 | 2 | 2 | 2.00 | 2 |
| 48 | 1 | 3 | 2 | 2.00 | 2 |
| 49 | 3 | 2 | 1 | 2.00 | 2 |
| 50 | 3 | 1 | 2 | 2.00 | 2 |
| 51 | 2 | 2 | 2.5 | 2.17 | 2 |
| 52 | 2.5 | 3 | 3 | 2.83 | 3 |
| 53 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 54 | 2 | 4 | 3 | 3.00 | 3 |
| 55 | 2 | 3 | 3 | 2.67 | 3 |
| 56 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 57 | 3 | 3 | 1.5 | 2.50 | 3 |
| 58 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 59 | 2 | 3 | 2.5 | 2.50 | 3 |
| 60 | 3 | 3 | 2.5 | 2.83 | 3 |
| 61 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 62 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 63 | 4 | 4 | 2 | 3.33 | 3 |
| 64 | 3 | 3 | 1.5 | 2.50 | 3 |
| 65 | 3 | 3 | 2 | 2.67 | 3 |
| 66 | 3 | 3 | 2 | 2.67 | 3 |
| 67 | 2 | 3 | 2.5 | 2.50 | 3 |
| 68 | 3 | 3 | 2 | 2.67 | 3 |
| 69 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 70 | 2 | 3 | 3 | 2.67 | 3 |
| 71 | 2 | 3 | 2.5 | 2.50 | 3 |
| 72 | 3 | 3 | 3 | 3.00 | 3 |
| 73 | 4 | 4 | 4 | 4.00 | 4 |
| 74 | 4 | 4 | 3.5 | 3.83 | 4 |
| 75 | 4 | 4 | 4 | 4.00 | 4 |
| 76 | 4 | 4 | 4.5 | 4.17 | 4 |
| 77 | 4 | 4 | 4 | 4.00 | 4 |
| 78 | 5 | 5 | 4 | 4.67 | 5 |

Tab. XIII.2.1 Detaillierte Darstellung der vergebenen Lahmheitsgrade durch die Tierärzt:innen, geordnet nach Lahmheitsgraden.

2. Detailliert aufgeführte Trefferquote des Sensorbasierten KI-Systems

| Nummer | Pferdetyp | nach Höhe | nach Gewicht | nach Kaliberindex | ohne | alle drei Einflussgrößen | LH-Grad TÄ |
|--------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------|--------------------------|------------|
| 1 | Kaltblut | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1.00 |
| 2 | Kaltblut | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.17 |
| 3 | Kaltblut | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.33 |
| 4 | Kaltblut | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.33 |
| 5 | Pony | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1.00 |
| 6 | Pony | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.00 |
| 7 | Pony | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.67 |
| 8 | Quarter | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0.00 |
| 9 | Quarter | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0.00 |
| 10 | Quarter | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0.00 |
| 11 | Quarter | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 12 | Quarter | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0.00 |
| 13 | Quarter | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 |
| 14 | Quarter | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0.00 |
| 15 | Quarter | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 16 | Quarter | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.17 |
| 17 | Quarter | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0.33 |
| 18 | Quarter | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.67 |
| 19 | Quarter | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.83 |
| 20 | Quarter | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1.00 |
| 21 | Quarter | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1.33 |
| 22 | Quarter | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.33 |
| 23 | Quarter | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.67 |
| 24 | Quarter | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.83 |
| 25 | Quarter | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.83 |
| 26 | Quarter | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.17 |
| 27 | Quarter | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.50 |
| 28 | Quarter | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.50 |
| 29 | Quarter | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2.83 |
| 30 | Quarter | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |
| 31 | Quarter | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3.00 |
| 32 | Quarter | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3.00 |
| 33 | Sonstige | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 34 | Sonstige | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.50 |
| 35 | Sonstige | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.00 |
| 36 | Sonstige | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.83 |
| 37 | Sonstige | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.00 |
| 38 | Sonstige | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.00 |
| 39 | Sonstige | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.00 |
| 40 | Sonstige | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2.17 |

Anhang

| Nummer | Pferdetyp | nach Höhe | nach Gewicht | nach Kaliberindex | ohne | alle drei Einflussgrößen | LH-Grad TÄ |
|--------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------|--------------------------|------------|
| 41 | Sonstige | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2.50 |
| 42 | Sonstige | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2.50 |
| 43 | Sonstige | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.67 |
| 44 | Sonstige | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.67 |
| 45 | Sonstige | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3.00 |
| 46 | Sonstige | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.33 |
| 47 | Sonstige* | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 |
| 48 | Vollblut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 49 | Vollblut | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0.00 |
| 50 | Vollblut | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 1.00 |
| 51 | Vollblut | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2.00 |
| 52 | Vollblut | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2.00 |
| 53 | Vollblut | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.17 |
| 54 | Vollblut | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.50 |
| 55 | Vollblut | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.67 |
| 56 | Vollblut | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2.67 |
| 57 | Vollblut | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2.83 |
| 58 | Vollblut | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |
| 59 | Vollblut | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |
| 60 | Warmblut | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 61 | Warmblut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 62 | Warmblut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 63 | Warmblut | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.00 |
| 64 | Warmblut | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1.33 |
| 65 | Warmblut | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.00 |
| 66 | Warmblut | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2.00 |
| 67 | Warmblut | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2.00 |
| 68 | Warmblut | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2.17 |
| 69 | Warmblut | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.17 |
| 70 | Warmblut | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2.33 |
| 71 | Warmblut | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |
| 72 | Warmblut | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |

Tab. XIII.2.2 Tabellarisch aufgeführte, vergebene Lahmheitsgrade des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad, sortiert nach Pferdetypen.

Anhang

| Nummer | Pferdetyp | Ø LH-Grad TÄ | nach Größe | nach Gewicht | nach Kaliberin dex | ohne | alle drei Einflussgrößen |
|--------|-----------|-----------------|---------------|-----------------|--------------------------|------|-----------------------------|
| 1 | Kaltblut | 1.00 | | 1 | 1 | | 1 |
| 2 | Kaltblut | 1.17 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | Kaltblut | 1.33 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Kaltblut | 2.33 | 1 | | | | |
| 5 | Pony | 1.00 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 6 | Pony | 2.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Pony | 2.67 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Quarter | 0.00 | | 1 | | 1 | 1 |
| 9 | Quarter | 0.00 | 1 | 1 | | | 1 |
| 10 | Quarter | 0.00 | 1 | | 1 | | 1 |
| 11 | Quarter | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | Quarter | 0.00 | | | | 1 | |
| 13 | Quarter | 0.00 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 14 | Quarter | 0.00 | | 1 | 1 | | |
| 15 | Quarter | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | Quarter | 0.17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | Quarter | 0.33 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 18 | Quarter | 0.67 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | Quarter | 0.83 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 20 | Quarter | 1.00 | 1 | | 1 | | 1 |
| 21 | Quarter | 1.33 | 1 | | | | |
| 22 | Quarter | 1.33 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | Quarter | 1.67 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | Quarter | 1.83 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | Quarter | 1.83 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 26 | Quarter | 2.17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | Quarter | 2.50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 28 | Quarter | 2.50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 29 | Quarter | 2.83 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 30 | Quarter | 3.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 31 | Quarter | 3.00 | | | 1 | 1 | |
| 32 | Quarter | 3.00 | | 1 | 1 | | 1 |
| 33 | Sonstige | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 34 | Sonstige | 0.50 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 35 | Sonstige | 1.00 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 36 | Sonstige | 1.83 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 37 | Sonstige | 2.00 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 38 | Sonstige | 2.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 39 | Sonstige | 2.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 40 | Sonstige | 2.17 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 41 | Sonstige | 2.50 | 1 | | | 1 | |

Anhang

| Nummer | Pferdetyp | Ø LH-Grad TÄ | nach Größe | nach Gewicht | nach Kaliberin dex | ohne | alle drei Einflussgrößen |
|--------|-----------|-----------------|---------------|-----------------|--------------------------|------|-----------------------------|
| 42 | Sonstige | 2.50 | 1 | | 1 | | 1 |
| 43 | Sonstige | 2.67 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 44 | Sonstige | 2.67 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | Sonstige | 3.00 | 1 | 1 | | | 1 |
| 46 | Sonstige | 3.33 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 47 | Sonstige | 0.00 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 48 | Vollblut | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 49 | Vollblut | 0.00 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 50 | Vollblut | 1.00 | 1 | 1 | | | |
| 51 | Vollblut | 2.00 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 52 | Vollblut | 2.00 | 1 | | | 1 | |
| 53 | Vollblut | 2.17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 54 | Vollblut | 2.50 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 55 | Vollblut | 2.67 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 56 | Vollblut | 2.67 | 1 | 1 | | | 1 |
| 57 | Vollblut | 2.83 | 1 | | | | |
| 58 | Vollblut | 3.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 59 | Vollblut | 3.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 60 | Warmblut | 0.00 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 61 | Warmblut | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 62 | Warmblut | 0.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 63 | Warmblut | 1.00 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 64 | Warmblut | 1.33 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 65 | Warmblut | 2.00 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 66 | Warmblut | 2.00 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 67 | Warmblut | 2.00 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 68 | Warmblut | 2.17 | | | 1 | 1 | |
| 69 | Warmblut | 2.17 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 70 | Warmblut | 2.33 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 71 | Warmblut | 3.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 72 | Warmblut | 3.00 | 1 | | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | |
|-------------------|----|----|----|----|----|
| Treffer (gesamt): | 53 | 58 | 58 | 49 | 62 |
|-------------------|----|----|----|----|----|

Tab. XIII.2.3 Detaillierte, tabellarisch aufgeführte Trefferquote des Systems ohne und unter Berücksichtigung von Eigenschaften des Pferdes mit einer zugelassenen Abweichung von 0,5 Grad, sortiert nach Pferdetypen

XIII.3 Danksagung

Mein Dank gilt zuerst Herrn Professor Dr. Hartmut Gerhards für die Freiheit bei der Themenwahl, für die Durchsicht und Unterstützung.

Weiterhin muss hier besonders Professor Dr. Oliver Amft, mein externer Mentor, und sein Team um Luis I. Lopera G. erwähnt werden, die mich vor allem von technischer Seite her immer unterstützt haben, wenn es Probleme gab und von denen ich zu jeder Tages- und Nachtzeit Antworten auf meine Fragen bekam. Herzlichen Dank für die gute Zusammenarbeit!

Besten Dank auch an Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für Ihre uneigennützig Unterstützung, die Videogespräche und Ihre Zeit – Ihr Engagement war bemerkenswert!

Danke an Severin Bernhart, der die Lahmheitsuntersuchungen mit mir als Kameramann durchgeführt und die Daten von den Sensoren jeweils auf den PC übertragen hat. Danke für diese technische Unterstützung!

Ebenfalls möchte ich mich bei Andrea Rossmair und Christa Schwandtner für die Vorführung der Probanden bedanken!

Danke Ela für die Durchsicht der Arbeit und für deine langjährige Freundschaft!

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern und Mario danken, die mir das Studium und die Promotion ermöglicht haben und mich zu dem gemacht haben, was ich heute bin.