

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
Der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Institut/Klinik für Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin
(Leiterin: Univ. Prof. Dr. med. vet. Martina Mosing, Dip ECVAA)

**Vergleichende Schmerzbewertung bei Pferden mit chronischen
orthopädischen Erkrankungen mittels PainTrace®-Gerät, validierter
Schmerzskala und Lahmheitserkennungs-App**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von
Claudia Walenta

Wien, im Mai, 2025

Betreuerin:

Dr. Stephanie von Ritgen, FTA, CVPP, CCRP, CVA

Abteilung für Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin

Departement für Kleintiere und Pferde

Veterinärmedizinische Universität Wien

Gutachterin:

Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Sabine Sykora

Universitätsklinik für Pferde

Departement für Kleintiere und Pferd

Veterinärmedizinische Universität Wien

Eigenständigkeitserklärung:

Hiermit erkläre ich, Claudia Walenta, dass bei der Erstellung dieser Arbeit keine anderen als die erwähnten Hilfsmittel und Literaturstellen einbezogen wurden, die entscheidenden Arbeiten selbst durchgeführt und alle zuarbeitend Tätigen mit ihrem Beitrag zur Arbeit angeführt wurden. Die zur Beurteilung vorgelegte Diplomarbeit wurde eigenständig verfasst und nicht an anderer Stelle eingereicht oder veröffentlicht.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich an jene bedanken, die mich bei der Umsetzung meiner Diplomarbeit tatkräftig unterstützt haben.

Mein Dank geht an meine Betreuerin Dr. Stephanie von Ritgen. Sie stand zu jedem Zeitpunkt mit Rat und Tat zur Seite und konnte mir bei jeden meiner fachlichen Problemen Aushilfe verschaffen.

Auch möchte ich mich bei meiner Familie danken, insbesondere meiner Mutter und meiner kleinen Schwester, welche mich immer wieder angefeuert haben, sowohl bei der Diplomarbeit als auch während des ganzen Studiums.

Ein großes Danke geht noch an meine beste Freundin, welche während des gesamten Studiums jeden Blödsinn mit mir mitgemacht hat. Auch bei der Diplomarbeit hat sie mich mit vollem Einsatz unterstützt und dafür bin ich ihr von Herzen dankbar.

Abstract

Die objektive Schmerzerkennung beim Pferd – insbesondere bei chronischen muskuloskelettalen Erkrankungen – ist grundlegend für eine gezielte Therapie. Aufgrund der individuell ausgeprägten und häufig nur subtile gezeigten Schmerzsymptome bleibt sie jedoch eine große Herausforderung. Ein allgemein anerkannter Goldstandard zur Schmerzevaluierung in der Pferdemedizin existiert bislang nicht.

Ziel dieser Studie war es, das PainTrace®-Gerät hinsichtlich seiner Eignung zur objektiven Erfassung chronischer Schmerzen bei Pferden zu untersuchen. Die Messergebnisse wurden mit etablierten Verfahren verglichen: dem Musculoskeletal Pain Scale (MPS), der AAEP-Lahmheitsskala sowie der Sleip®-App.

Es wurden 31 Pferde untersucht, davon 15 mit chronisch orthopädischen Erkrankungen (CS) und 16 ohne erkennbare Schmerzsymptome (NS). Die PainTrace®-Messungen erfolgten im Rahmen eines standardisierten Untersuchungsgangs. Analysiert wurden fünf Messzeitpunkte sowie zwei Differenzwerte (Δ SUE, Δ SLM).

Ein signifikanter Unterschied zwischen CS- und NS-Gruppe zeigte sich im Δ SUE-Wert (CS: $-6,53$; NS: $+2,95$; $p = 0,03$). Zudem bestand eine signifikante positive Korrelation zwischen dem MPS-Score und dem PainTrace®-Wert zu Beginn der Messung ($r = 0,35$; $p = 0,05$) sowie eine negative Korrelation zwischen MPS-Score und Δ SLM ($r = -0,43$; $p = 0,02$). Auch der AAEP-Score korrelierte negativ mit Δ SLM ($r = -0,46$; $p = 0,009$). Mit den Parametern der Sleip®-App ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge ($n = 11$; $p > 0,05$).

Die Ergebnisse zeigen, dass das PainTrace®-Gerät zwischen chronisch schmerzhaften und nicht-schmerzhaften Pferden unterscheiden kann. Besonders Differenzwerte über längere Zeiträume erscheinen dabei aussagekräftiger als Einzelmessungen. Für den routinemäßigen klinischen Einsatz sind jedoch weitere Studien mit größeren Stichproben sowie die Definition von Referenzwerten notwendig.

Abstract

Objective pain recognition in horses, especially for chronic musculoskeletal disorders, is essential for targeted therapy. However, due to the variable and often subtle nature of pain, it remains a significant clinical challenge. No universally accepted gold standard exists for pain assessment in equine medicine.

This study aimed to evaluate the PainTrace® device for objectively detecting chronic pain in horses. The results were compared with established tools: the Musculoskeletal Pain Scale (MPS), the AAEP lameness scale and the Sleip® app. Thirty-one horses were examined, including 15 with chronic orthopedic conditions (CS) and 16 without observable signs of pain (NS). PainTrace® measurements were performed as part of a standardized protocol, analyzing five time points and two difference values (Δ SUE, Δ SLM).

A significant difference in Δ SUE was found between CS and NS groups (CS: $-6,53$; NS: $+2,95$, $p = 0,03$). A significant positive correlation was observed between the MPS score and the initial PainTrace® value ($r = 0,35$, $p = 0,05$), and a significant negative correlation with Δ SLM ($r = -0,43$, $p = 0,02$). The AAEP score also correlated negatively with Δ SLM ($r = -0,43$, $p = 0,009$). No significant correlations were found for the Sleip® app parameters ($n = 11$, $p > 0,05$).

The findings suggest that the PainTrace® device can distinguish chronically painful from non-painful horses, with difference values over longer time periods providing more informative than single measurements. Further studies with larger sample sizes and defined reference value are needed for routine clinical use.

Abkürzungsverzeichnis

AAEP	American Association of Equine Practitioners
BE	Ende der Untersuchung
BLM	Ende der Messung
BnK	Nach der Kalibrierung
BS	Start der Messung
BSU	Start der Untersuchung
CS	Chronisch schmerzhafte Pferde
EPS	Equine Pain Scale
EQUUS-COMPASS	Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment
EQUUS-FAP	Equine Utrecht University for Facial Assessment
ETK	Ethik- und Tierschutzkommission
FAUs	Facial Action Units
HCPCPS	Horse Chronic Pain Composite Pain Scale
HCPS	Horse Chronic Pain Scale
IASP	International Association for the Study of Pain
KI	Künstliche Intelligenz
MPS	Musculoskeletal Pain Scale
NS	Nicht schmerzhafte Pferde
SP	Hautpotential
VAS	Visuelle Analogskala
Δ SLM	Baseline Start der Messung bis Baseline Ende der Messung
Δ SUE	Baseline Start der Untersuchung bis Baseline Ende der Untersuchung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung.....	1
2	Literaturübersicht.....	4
2.1	Unterschied chronischer vs. akuter Schmerz und dessen Einfluss auf die Lebensqualität von Pferden.....	4
2.2	Schmerzverhalten beim Pferd.....	5
2.3	Messung chronischer Schmerzen in der Pferdemedizin.....	6
2.3.1	Physiologische Parameter zur Schmerzbeurteilung.....	7
2.3.2	Schmerzskalen.....	7
2.3.3	Schmerzidentifikation anhand des Gesichtsausdruckes.....	10
2.4	Apparative Schmerzevaluierung.....	14
2.4.1	Hautpotential-Messung.....	14
2.4.2	PainTrace®-Gerät.....	15
2.5	Lahmheit und chronische Schmerzen.....	17
2.5.1	Lahmheitsskala der American Association of Equine Practitioners (AAEP).....	17
2.5.2	Digitale Systeme zur Bewegungsanalyse.....	18
3	Material und Methode.....	21
3.1	Studientiere.....	21
3.2	Schmerzevaluierung vor Messbeginn.....	22
3.3	Schmerzevaluierung mittels Messung mit dem PainTrace®-Gerät.....	22
3.3.1	Lokalisation der Messstelle.....	22
3.3.2	Vorbereiten der Messstelle.....	23
3.3.3	Messung mit dem PainTrace®-Gerät.....	24
3.3.4	Untersuchungsgang des Patienten während der Messung.....	24
3.4	Lahmheitsuntersuchung.....	25
3.4.1	Lahmheitsuntersuchung mit der AAEP-Lahmheitsskala.....	25
3.4.2	Lahmheitsuntersuchung mit der Sleip®-App.....	25
3.5	Darstellung und Auswertung der Daten.....	26
3.5.1	Datenverarbeitung der PainTrace®- und Sleip®-App-Daten.....	26
3.5.2	Statistik.....	27
4	Ergebnisse.....	27
4.1	Auswertung von Anzahl und Alter der evaluierten Pferde.....	27

4.2	Schmerzevaluierung mittels MPS und Lahmheitsuntersuchung mit der AAEP-Lahmheitsskala.....	28
4.3	Vergleich zwischen CS- und NS- mittels PainTrace®-Gerät.....	29
4.4	Korrelation zwischen MPS-Scores und den PainTrace®-Messwerten.....	31
4.5	Korrelation zwischen Sleip®-App und den PainTrace®-Messwerten.....	32
4.6	Korrelation zwischen AAEP und PainTrace®-Messzeitpunkten.....	33
5	Diskussion.....	35
6	Literaturverzeichnis.....	40
7	Abbildungsverzeichnis.....	47
8	Tabellenverzeichnis.....	49

1 Einleitung und Fragestellung

Muskuloskelettale Erkrankungen gehören, sowohl bei Pferden als auch beim Menschen, zu den häufigsten Ursache chronischer Schmerzen (1–8). Diese Erkrankungen beeinträchtigen nicht nur die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der betroffenen Tiere, sondern haben auch erhebliche Auswirkungen auf deren Lebensqualität. Besonders auffällig ist die hohe Prävalenz dieser Erkrankungen: Lahmheit, definiert als eine abnormale Gangart oder Bewegung aufgrund von Schmerzen im Bewegungsapparat, zählt zu den häufigsten gestellten Diagnosen (1–4, 9–12). Studien zeigen, dass Lahmheiten weit verbreitet sind, insbesondere bei älteren Pferden. Bereits 24 % der 4- bis 5-jährigen Reitpferde weisen moderate bis schwere orthopädische Befunde auf (12), während dieser Anteil bei Pferden über 15 Jahren auf 51 % und bei Pferden ab 30 Jahren sogar bis 77 % ansteigt. Zudem treten in diesen Altersgruppen häufig auch Ruheschmerzen auf (3–5, 11, 13).

Trotz der hohen Prävalenz muskuloskelettaler Erkrankungen wird ihr Einfluss als Schmerzursache häufig unterschätzt (2–4, 14–16). Dies zeigt sich insbesondere in der Diskrepanz zwischen der ungeübten Wahrnehmung der Pferdebesitzer und der professionellen tierärztlichen Diagnose von Lahmheiten. Eine Studie ergab, dass Besitzer lediglich bei 16 % der Pferde eine Lahmheit angaben, während Tierärzte in derselben Gruppe eine Lahmheitsprävalenz von 77 % diagnostizierten (11). Ähnliche Unterschiede wurden auch in objektiven Lahmheitsuntersuchungen beobachtet, bei denen sich zeigte, dass viele von ihren Besitzern als gesund eingeschätzte Trainingspferde Bewegungsasymmetrien aufwiesen (17, 18). Diese Diskrepanz zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektiven Befunden sind sowohl aus klinischer als auch aus tierschutzethischer Sicht problematisch, da sie oft zu einer unzureichenden Schmerztherapie führen.

Ein wesentlicher Grund für diese Problematik liegt in der subjektiven Natur des Schmerzerlebens. Während in der Humanmedizin Schmerzbewertung auf den Selbstauskünften der Patienten basiert, ist eine solche direkte Einschätzung bei Tieren, die sich verbal nicht mitteilen können, nicht möglich (19). Stattdessen erfolgt die Schmerzevaluierung bei Pferden hauptsächlich anhand physiologischer und verhaltensbasierter Parameter (20–26). Diese Methoden sind jedoch in vielen Fällen subjektiv und sind oft von der individuellen Interpretation des Beobachters abhängig (27).

Die bestehende Diskrepanz zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektiver Schmerzerkennung verdeutlicht die Notwendigkeit zuverlässigerer, objektiverer Messmethoden zur Schmerzevaluierung bei Pferden. Dies ist, wie bereits erwähnt, nicht nur aus klinischer Sicht relevant, sondern auch im Hinblick auf den Tierschutz von großer Bedeutung, da nur eine präzisere Schmerzerkennung eine gezielte und effektive Schmerztherapie ermöglicht. Um diese Subjektivität zu reduzieren, wurden verschiedene standardisierte, mittlerweile validierte Schmerzskalen entwickelt (5, 13, 26–29). Jede dieser Skalen weist spezifische Vor- und Nachteile auf, jedoch existiert bislang noch kein allgemein anerkannter Goldstandard für die Schmerzevaluierung in der Pferdemedizin.

In den letzten Jahren haben apparative Methoden zur Schmerzmessung und -bewertung zunehmend Bedeutung gewonnen. Eine vielversprechende Technik ist die Messung von Hautpotential (SP)-Unterschieden, die mit schmerzbedingten Veränderungen im autonomen Nervensystem korrelieren (30, 31). Studien zeigen, dass SP-Messungen mit dem subjektiven Schmerzempfinden des Menschen übereinstimmen und somit eine objektivere Schmerzbewertung ermöglichen (32, 33). Das PainTrace®-Gerät kann solche SP-Differenzen erfassen und wurde bereits bei Hunden zur objektiven Schmerzmessung eingesetzt (34). Eine ähnliche Problematik, wie in der Schmerzerkennung gibt es auch in der Lahmheitsdiagnostik.

Auch in der Lahmheitsdiagnostik kommen verschiedene subjektive Methoden zur Anwendung. Zwar sind Tierärztinnen und Tierärzte darauf geschult, asymmetrische Bewegungsmuster zu erkennen und daraus auf das Vorliegen einer Lahmheit zu schließen. Allerdings ist die Fähigkeit des menschlichen Auges zur Erfassung solcher Asymmetrien, sowohl in zeitlicher als auf räumlicher Hinsicht begrenzt, wie es Parker et al. 2009 zeigen konnte (35). Vor diesem Hintergrund wurde in den letzten Jahren viel in Richtung objektiven, apparativen Methoden zur Lahmheitserkennung geforscht. Besonders im Fokus standen kamerabasierte Verfahren, unter anderem solche, die auf der Nutzung von Smartphones beruhen (36, 37). Die SleipApp® stellt so eine Technologie dar. Sie verwendet ein Einzelkamerasystem und ein speziell für die Lahmheitserkennung beim Pferd trainiertes künstliche Intelligenz (KI)-System. Anhand der Analyse der Kopf- und Beckenbewegungen des Pferdes kann die App sowohl Lokalisation, als auch den Schweregrad der Lahmheit bestimmen (37).

Angesichts dieser Entwicklung ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, das PainTrace®-Gerät hinsichtlich seiner Eignung zur objektiven Erfassung von Schmerzen bei Pferden mit

chronischen Erkrankungen des Bewegungsapparates zu untersuchen. Um die Aussagekraft der gemessenen Werte besser einschätzen zu können, werden sie mit den Ergebnissen etablierter Verfahren verglichen: dem validierten Musculoskeletal Pain Scale (MPS), der Lahmheitsskala der American Association of Equine Practitioners (AAEP) sowie der Sleip®-App.

Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Wie effektiv und zuverlässig ist das PainTrace®-Gerät im Vergleich zur MPS-Schmerzskala und der Sleip®-App bei der Erkennung chronischer Schmerzen bei Pferden mit orthopädischen Erkrankungen?

Zur Beantwortung dieser Frage werden folgende Hypothesen überprüft:

1. Die Messwerte des PainTrace®-Geräts korrelieren signifikant mit den Ergebnissen der validierten Schmerzskala (MPS).
2. Die Messwerte des PainTrace®-Geräts korrelieren signifikant mit dem durch die Sleip-App ermittelten Lahmheitsgrad.

2 Literaturübersicht

2.1 Unterschied chronischer vs. akuter Schmerz und dessen Einfluss auf die Lebensqualität von Pferden

Schmerz wird laut der International Association for the Study of Pain (IASP) als ein unangenehmes Sinnes- oder Gefühlerlebnis, das mit einer tatsächlichen oder potenziellen Gewebeschädigung einhergeht oder einer solchen ähnelt, beschrieben. Vor allem die Unterscheidung zwischen akuten und chronischen Schmerzen ist in der Medizin essenziell, da beide Formen in sehr unterschiedlicher Weise die Lebensqualität von Pferden beeinflussen.

Akuter Schmerz tritt plötzlich auf und ist in der Regel durch einer scharfe, intensive Schmerzwahrnehmung gekennzeichnet. Er ist ein physiologisches Alarmsignal des Körpers, das auf eine unmittelbar drohende oder bereits eingetretene Schädigung hinweist. Diese Warnfunktion ist überlebenswichtig, da sie das Pferd dazu veranlasst, entsprechende Schutz- und/oder Abwehrmechanismen zu zeigen, um die Schädigung zu minimieren oder zu vermeiden. Die Dauer akuter Schmerz ist typischerweise begrenzt und korreliert meistens direkt mit der Heilungsdauer der zugrundeliegenden Verletzung bzw. Erkrankung. Er klingt in der Regel innerhalb von Minuten, maximal bis zu sechs Monate ab und verschwindet, sobald die zugrunde liegende Ursache behoben ist (38).

Chronischer Schmerz unterscheidet sich grundlegend von akuten Schmerzen. Seine Hauptmerkmale sind sein Andauern über einen längeren Zeitraum (definiert als länger als sechs Monate) oder sein immer wiederkehrendes Auftreten. Oftmals kann keine klar identifizierbare oder behandelbare Ursache für den chronischen Schmerz identifiziert werden (38). Im Gegensatz zum akuten Schmerz verliert chronischer Schmerz seine ursprüngliche Schutzfunktion und entwickelt sich in vielen Fällen zu einer eigenständigen Erkrankung. Die Pathophysiologie des chronischen Schmerzes ist komplex und beinhaltet neben peripheren und zentralen Sensibilisierungsmechanismen auch neuroplastische Veränderungen im Gehirn (39).

Die Auswirkungen chronischer Schmerzen auf die Lebensqualität von Pferden sind vielfältig und beeinträchtigen sowohl ihr physisches als auch ihr psychisches Wohlbefinden sowie ihre sozialen Interaktionen (40, 41). Chronische Schmerzen führen häufig zu

Bewegungseinschränkungen, Lahmheit, Steifheit und einer reduzierten Leistungsfähigkeit. Dies kann die Fähigkeit des Pferdes, sich frei zu bewegen, zu grasen, mit Artgenossen zu interagieren und seinen natürlichen Verhaltensweisen nachzugehen, erheblich einschränken. Kompensatorische Bewegungen aufgrund von Schmerzen können zu ungleichmäßiger Belastung der Gelenke und einer sekundären Überbelastung gesunder Gliedmaßen und anderen Körperbereichen führen (42). Anhaltender chronischer Schmerz verursacht bei Pferden aber auch Stress, Angst, Frustration, möglicherweise sogar Depressionen sowie Schlafstörungen (28). Chronischer Schmerz kann auch die sozialen Interaktionen von Pferden negativ beeinflussen. Schmerzhafte Tiere können aggressiver gegenüber ihren Artgenossen werden oder sich von der Herde isolieren, was ihre soziale Integration und ihr Wohlbefinden beeinträchtigt. Insbesondere die Mutter-Fohlen-Bindung kann durch chronische Schmerzen bei der Stute gestört werden (40).

Die frühzeitige Erkennung und eine umfassende, multimodale Behandlung chronischer Schmerzen sind unerlässlich, um diesen negativen Auswirkungen entgegenzuwirken und die Lebensqualität der Pferde nachhaltig zu erhalten oder bei Bedarf zu verbessern.

2.2 Schmerzverhalten beim Pferd

Pferde kommunizieren Schmerz primär über ihr Verhalten, teilweise auch mittels ihre Gesichtsmimik (22). Die Interpretation dieser Signale ist eine Herausforderung. Die evolutionäre Prädisposition des Pferdes als Fluchttiere hat dazu geführt, dass sie ihr Schmerzverhalten oft unterdrücken, oder nur in sehr subtiler Form zeigen, um keine Aufmerksamkeit potenzieller Raubtiere auf sich zu ziehen (43). Daher ist die primäre Reaktion eines Pferdes auf Schmerz, häufig der Versuch, diesen zu verbergen. Dies kann sich in einer reduzierten Aktivität, einer unphysiologischen Körperhaltung, aber auch in einer veränderten Mimik äußern. Wird dem Pferd jedoch die Möglichkeit der Flucht oder zur Vermeidung der Schmerzquelle genommen, kann es zu aggressiven Verhalten kommen. Die Intensität dieser Aggression kann variieren und in extremen Fällen, wie bereits erwähnt, zur Ablehnung des eigenen Fohlens durch eine schmerzgeplagte Mutterstute oder zur Entwicklung von Unreitbarkeit bis hin zu einer generellen Unhändlerbarkeit führen (40, 41). Generell muss man beim Pferd unspezifische und spezifische Schmerzverhaltensweisen unterscheiden. Unspezifische Schmerzverhaltensweisen deuten zwar auf das Vorhandensein von Schmerzen hin, geben aber meist keinen klaren Hinweis auf die Lokalisation der Schmerzquelle (22). Sie sind meist sehr subtil und können leicht mit Stress oder Unwohlsein verwechselt werden. Zu den unspezifischen Schmerzsymptomen gehören:

erhöhte Unruhe, Ängstlichkeit Angst, starre, angespannte Körperhaltung, verminderte Bewegungsaktivität, gesenkte Kopfhaltung, in sich gekehrter Blick und geweitete Nüstern (22, 44). Die spezifischen Schmerzverhaltensweisen hingegen geben meist konkretere Hinweise auf die Lokalisation des Schmerzes: so deuten etwa häufiges Wälzen, Schlagen oder Treten gegen den Bauch sowie der Blick zur Flanke typischerweise auf Abdominalschmerzen hin (22, 44). Schmerzen in den Gliedmaßen äußern sich häufig durch wiederholtes Gewichtsverlagern (Weight-Shifting), Schonhaltung, verminderte Belastung einzelner Gliedmaße oder durch Lahmheit unterschiedlichen Schweregrades (6, 22). Anzeichen für Zahnschmerzen können: Kopfschütteln, erschwertes oder einseitiges Kauen, Fressunlust oder sogar vollständigen Futterverweigerung sein (22, 45). Auch ist das Schmerzverhalten von Pferden nicht statisch, sondern wird durch eine Vielzahl an anderen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen Alter, Geschlecht, Umgebung, Rasse, aber auch individuelle Unterschiede im Temperament und in der Sensibilität führen dazu, dass manche Pferde bei gleicher Schmerzintensität deutlichere Verhaltensänderungen zeigen als andere. Manche Pferde zeigen bei gleichen Schmerzintensitionen weniger Schmerzverhalten als andere (25, 46, 47).

2.3 Messung chronischer Schmerzen in der Pferdemedizin

Die objektive und präzise Messung von Schmerzen, egal ob akut oder chronisch, stellt in der Pferdemedizin eine erhebliche Herausforderung dar, da Tiere ihre Schmerzen nicht verbal kommunizieren können. Chronische Schmerzen können sich in schleichenden Veränderungen des Verhaltens manifestieren, die leicht übersehen oder als altersbedingte Veränderungen abgetan werden können. Daher basiert die Schmerzevaluation überwiegend auf der Beobachtung und Interpretation von Ausdruck und Verhalten des Patienten (22, 25, 27). Diese Vorgehensweise erfordert eine umfangreiche Erfahrung des Untersuchers und ist stets mit einem gewissen Maß an Subjektivität verbunden (48, 49). In der Pferdemedizin werden daher oftmals auch verschiedene Methoden kombiniert, um eine präzise Diagnose und eine effektive Verlaufskontrolle zu ermöglichen. Zu den gängigsten Methoden, die derzeit in der Pferdemedizin verwendet werden, gehören:

1. Physiologische Parameter
2. Schmerzskalen
3. Bewegungsanalyse

2.3.1 Physiologische Parameter zur Schmerzbeurteilung

Physiologische Parameter wie Herzfrequenz, Atemfrequenz und Hormonspiegel werden häufig als Indikatoren für Schmerz herangezogen, da sie einfach zu messen sind und sich gut in Zahlen darstellen lassen. Allerdings zeigen viele Studien bewiesen, dass diese Parameter nur eine begrenzte Sensitivität und Spezifität in Bezug zu Schmerz aufweisen (22, 27, 47, 50, 51). So können auch Erkrankungen wie Herz- oder Lungenerkrankungen diese Werte beeinflussen, ohne dass ein Schmerzgeschehen vorliegt. Zudem können Faktoren wie Stress oder Aufregung auch eine Erhöhung der Werte bewirken, ohne dass das Pferd tatsächlich Schmerzen hat (27, 47).

2.3.2 Schmerzskalen

Eine optimale Schmerzskala sollte in der Lage sein, verschiedene Schmerzarten zu erfassen, eine schnelle und einfache Anwendung im klinischen Alltag zu ermöglichen und sowohl qualitative als auch quantitative Messungen zu liefern (22, 27). Das Ziel jeder dieser Skalen ist es, eine zuverlässige und aussagekräftige Beurteilung des Schmerzlevels bei Pferden zu ermöglichen. Die wissenschaftlich anerkannten Schmerzskalen beruhen überwiegend auf der Beobachtung des Verhaltens. Je nach Skala werden unterschiedliche Verhaltensaspekte hervorgehoben und gewichtet. Allerdings existiert bislang kein allgemein anerkannter „Goldstandard“ für die Schmerzskala zur Messung chronischer Schmerzen beim Pferd. Um eine möglichst objektive Beurteilung zu gewährleisten, sollte das Pferd in einer ruhigen Umgebung beobachtet werden, da Tiere, die sich beobachtet fühlen, oftmals versuchen, ihre Schmerzen zu verbergen (43). Derzeit sind zwei wissenschaftlich anerkannte Skalen zur Evaluierung chronischer Schmerzen beim Pferd verfügbar (52, 53).

2.3.2.1 Equine Musculoskeletal Pain Scale

Der Equine Musculoskeletal Pain Scale (MPS), auch in Wien bekannt als Pain/Discomfort Score, ist eine Schmerzskala, die zur objektiven Schmerzmessung bei Pferden, insbesondere solchen mit chronisch orthopädischen Schmerzen wie Osteoarthritis oder Hufrehe entwickelt wurde. Die MPS kombiniert verschiedene Verhaltensparameter, um eine umfassende Beurteilung des Schmerzlevels zu ermöglichen (52).

Zunächst wird das Verhalten des Pferdes aus der Distanz beobachtet, um die natürliche Verhaltensweise nicht zu beeinflussen. Während der Beobachtung wird auf sieben Kategorien geachtet: Allgemeinverhalten, Vorhandensein eines Schmerzgesichtes, Kopf-

Hals-Haltung, Gliedmaßenstellung, Gewichtsverlagerung (Weight-Shifting), Gewichtsverteilung auf alle Extremitäten und Lahmheit in Bewegung (Abb.1).

Falls das Pferd sich während der Beobachtung nicht bewegt, wird es im anschließend für eine kurze Strecke geführt. Jedes Verhalten wird mit 0, 2 oder 4 Punkten bewertet. Die Werte der einzelnen Parameter werden dann summiert, wobei ein maximaler Wert von 26 erreicht werden kann. Eine Gesamtsumme von ≤ 3 ist, deutet darauf hin, dass das Pferd schmerzfrei ist. Werte zwischen 4–8 weisen auf geringgradiger Schmerzen hin, während der Wert von über 8 Punkte auf mittelgradige bis hochgradige Schmerzen hinweist (52).

vetmeduni
vienna 

Discomfort / Pain score®

To be completed while observing the horse (in its stall, paddock,...) from a distance! Horse: _____ Date: _____

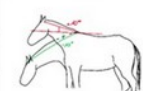
Demeanor (0-2 points)	Bright, alert and responsive: interested in and attentive to surroundings, ears move inquisitively, appropriate interactions with and responses to environmental stimuli e.g., ears moving in response to noises	0
	Quiet, alert and responsive: appropriate interactions with and responses to environmental stimuli	0
	Dozing/sleeping: standing quietly, head may be low, eyelids and lips may droop, response to environmental stimuli can be delayed	0
	Depressed/withdrawn: eyes open but dull and unfocused gaze, standing motionless, ears not moving, indifferent and unresponsive to environmental stimuli	2
Pain face (0-4 points)	 No pain face: the muzzle, nostrils, chewing muscles and muscles above the eye are relaxed, the nostrils are elongated comma-shaped	0
	Signs of a pain face are present (e.g., dilated nostrils, tense muscles above the eyes, tense chewing muscles, ears flattened, lips pressed together) but disappear in response to the presence of humans or other environmental stimuli (e.g., noise)	2
	Signs of a pain face are present and do not disappear in response to the presence of humans or other environmental stimuli (e.g., noise)	4
Head/neck posture (0-2 points)	 Head (using the base of the ears as point of reference) is at the same height as the withers or slightly above/below (angle 0 +/- 10°)	0
	Head is held high, clearly (angle > 10°) above the withers	2
	Head is held low, clearly (angle > 10°) below the withers	2
Limb Posture (add all applicable points, 0-6 points)	 Weight bearing on all 4 limbs, the horse stands in a rectangle with its forelimbs and hindlimbs parallel to each other and all 4 cannon bones (MCIII and MTIII) visually appr. vertical to the ground (looking at the horse from the side), may rest/cock a hindlimb (may switch rested hindlimb occasionally)	0
	 Forelimbs are not parallel to each other (looking at the horse from the side) but the hooves are placed more than one hoof length (10-15cm) apart	2
	 Hindlimbs are not parallel to each other (looking at the horse from the side) but the hooves are placed more than two hoof lengths (20-30cm) apart	2
	 Both front cannon bones are not vertical (appr. 90°) to the ground, the forelimbs are camped out (placed in front of the vertical) or camped under (placed behind the vertical)	2
	 Both rear cannon bones are not vertical (appr. 90°) to the ground, the hindlimbs are camped under (placed in front of the vertical) or camped out (placed behind the vertical)	2
weight shifting (0-4 points)	No weight shifting	0
	Weight shifting from one limb to another (fore- or hindlimbs) 2- 4 x/ in 2 minutes (weight shifting by moving hooves or lateral movement of head/neck)	2
	Frequent weight shifting from one limb to another (fore- or hindlimbs) > 4 x/ 2min	4
weight bearing (0-4 points)	 Weight bearing on all 4 limbs, may rest/cock a hindlimb (may switch rested hindlimb occasionally)	0
	 Repeated lifting of a limb for a few seconds	4
	 One limb is only minimally weight bearing or non- weight bearing	4
Lameness at the walk (0-4 points, assess only if the horse is moving without being prompted)	Horse does not move → lameness cannot be assessed	NA
	Normal movement, no lameness evident	0
	Stiff gait, slow, decreased range of motion, no clear lameness, (may be lame when turning)	2
	Clearly lame	4

Abbildung 1: Equine Musculoskeletal Pain Scale nach Auer et al. (2024) (52)

2.3.2.2 Horse Chronic Pain Scale (HCPS)

Die HCPS wurde entwickelt, um chronische Schmerzen bei Pferden objektiv beurteilen zu können, insbesondere bei Erkrankungen wie Osteoarthritis, chronischer Hufrehe und Zahnproblemen. Die HCPS kombiniert zwei Bewertungsinstrumente miteinander: die Horse Chronic Pain Composite Pain Scale (HPCPCS), die vor allem auf Verhaltensparametern basiert und die Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP), die Mimik des Pferdes zur Schmerzevaluierung nutzt. Insgesamt werden die Pferde anhand von 15 verschiedenen Kategorien bewertet: Allgemeinverhalten, Körperhaltung, Gewichtsverteilung auf alle vier Extremitäten, Gewichtsverlagerung (Weight-Shifting), Kopfhaltung, Appetit, Verhaltensänderungen gegenüber anderen Tieren der Gruppe, Body Condition Score, Muskulatur (Epaxial-, Gesäß-, Oberschenkel- und Halsmuskel), Reaktion auf Beobachter, Druckstellen auf der Haut, Schmerzreaktion bei Palpation des Rückens, Karotten/Apfeltest, Bewegung (Abb.2).

Jede dieser Kategorie wird auf einer Skala von 0 bis 3 bewertet, wobei 0 für keine Schmerzen und 3 für starke Schmerzen steht. Die einzelnen Punkte aus den verschiedenen Kategorien werden summiert, um einen Gesamtwert zu berechnen, der den Schmerzlevel des Pferdes widerspiegelt – je höher der Gesamtwert, desto schmerzhafter der Patient (53).

1. General appearance	Score	8. Body Condition Score (BCS, scale 1–5, derived from Brooke Hospital)	
Alert and/or is interacting with mate/group	0	Normal BCS (3/5)	0
Mildly depressed and/or restless and/or decreased interaction with group mate/group	1	Increased or decreased BCS (2/5 or 4/5)	1
Moderately depressed and/or aggressive or no reaction mate/group	2		
Severely depressed (not responding to very clear and obvious signals like movement or sound)	3	Severely increased or decreased BCS (1/5 or 5/5)	3
2. Body posture	Score	9. Muscles (epaxial, gluteal, hamstring and cervical muscles)	Score
Quietly standing and/or one hind leg resting	0	Symmetric muscles, no muscle loss	0
Slightly tucked up abdomen	1	Mild muscle loss	1
Extremely tucked up abdomen and/or hunched back and/or stretching limbs/body and/or mild muscle tremors	2	Moderate muscle loss	2
Extremely tucked up abdomen and/or hunched back and/or stretching limbs/body and extreme muscle tremors	3	Obvious (a)symmetric muscle loss	3
3. Weight distribution	Score	10. Reaction to observer(s)	Score
Normal weight distribution (including resting a hindlimb)	0	Reaction to observer(s) and ear movements towards observer	0
Less weight on one leg and/or body displaced slightly backwards	1	Mild decreased reaction or ear movements to observer(s)	1
Less weight on one leg, with only the tip on the ground	2	Moderate decreased reaction or ear movements to observer(s)	2
One leg obviously lifted and/or body obviously displaced backwards	3	No reaction or ear movements to observer(s)	3
4. Weight shifting of front and hind limbs	Score	11. Pressure sores on skin	Score
Not seen	0	No pressure sores on skin	0
Mild weight shifting	1	Mild pressure sores on skin	1
Moderate weight shifting	2	Moderate pressure sores on skin	2
Severe weight shifting	3	Severe pressure sores on skin	3
5. Head carriage	Score	12. Pain reaction to palpation of the back	Score
Ear base above withers or eats/drinks (from the ground)	0	No reaction to deep palpation	0
Ear base at level of the withers	1	Mild reaction to superficial palpation	1
Ear base below the withers	2	Moderate reaction to superficial palpation	2

Abbildung 2: HCPS nach van Loon et al. (2021) (53)

2.3.3 Schmerzidentifikation anhand des Gesichtsausdruckes

Gesichtsbasierte Schmerzska­len bieten im Vergleich zu verhaltensbasierten Methoden mehrere Vorteile: sie sind schneller anzuwenden, leichter zu erlernen und ermöglichen eine Schmerzbeurteilung ohne dass eine direkte Interaktion mit dem Tier notwendig ist. Beim Menschen wurde gezeigt, dass sich Schmerz auch dann im Gesicht bzw. in der Mimik zeigt,

wenn er bewusst unterdrückt wird (54, 55). Dieses Erkenntnis hat zur Entwicklung ähnlicher schmerzassoziierter Gesichtsskalen auch bei verschiedenen Tierarten geführt, darunter Maus, Ratte, Hase, Katze und auch Pferd (56–60). Bei Pferden konnte in mehreren Studien nachgewiesen werden, dass Schmerzen zu typischen Veränderungen im Gesichtsausdruck führen. Dieses sogenannte „Schmerzgesicht“ betrifft unter anderem die Ohrstellung, bzw. -haltung, den Muskeltonus der Augenpartie und Kaumuskulatur, sowie die Form von Nüstern und Maul. Diese Merkmale liefern Hinweise darauf, ob ein Pferd Schmerzen hat und wie stark deren Intensität ist (22, 27, 56). Die Auswertung solcher Gesichtsausdrücke erfordert jedoch Erfahrung und kann durch verschiedenste äußere Einflüsse beeinflusst werden (27).

Gesichtsbasierte Schmerzmerkmale können allein oder in Kombination mit verhaltensbasierten Schmerzskaleten verwendet werden. Sie sind auch bereits in verschiedenen validierten Schmerzerfassungsinstrumenten integriert, wie z.B. in die Equine Pain Scale (EPS) oder die Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) (61).

2.3.3.1 Horse Grimace Scale

Die HGS wurde von 2014 von Dalla Costa et al. entwickelt und ist ein standardisiertes Instrument zur objektiven Beurteilung des „Pferde-Schmerzgesichtes“. Auf Basis von Videoaufnahmen von Pferden vor und nach Kastration wurden sechs sogenannte „Facial Action Units“ (FAUs) identifiziert, die sich bei Schmerz signifikant veränderten (Abb.3):

1. Steif zurückgelegte Ohren
2. Muskelspannung oberhalb der Augen
3. Angespannte, teils geschlossene Augenlider
4. Angespannte, hervortretende Kaumuskeln
5. Angespannte Nüstern mit abgeflachtem Nasenprofil
6. Angespannte Maulpartie mit hervortretendem Kinn

Jeder dieser FAUs wird mit 0 (nicht vorhanden) oder 2 (deutlich vorhanden) bewertet, so dass ein Gesamtscore zwischen 0 (kein Schmerz) und 12 (hochgradiger Schmerz) resultiert. Die Skala wurde bereits validiert und zeigt signifikante Unterschiede zwischen der prä- und postoperativen Phase, sowie vor und nach der Gabe von Analgetika (26).



Abbildung 3: Horse Grimace Scale von Dalla Costa et al. (2014) (26)

2.3.3.2 Equine Pain Face

Das „Equine Pain Face“ wurde 2015 von Gleerup, et al. beschrieben. Es basiert auf charakteristischen mimischen Veränderungen, die bei schmerzhaften Zuständen beobachtet werden können. Dazu zählen (Abb.4): niedrig gehaltene bzw. nach hinten gerichteten Ohren mit leichter Außenrotation, eine angespannte Augenmuskulatur mit typischem dreieckigem Winkel des oberen Augenlids und sichtbarer Sklera, ein abwesender in sich gekehrter Blick, erweiterte und kantig wirkende Nüstern sowie ein angespanntes, eckig erscheinendes Maul. Auch ein erhöhter Muskeltonus der Kaumuskulatur ist auffällig, in besondere des M. masseter. Diese Veränderungen sind dynamisch und können je nach Reaktion des Pferdes auf seine Umgebung variieren, sind aber auch in Anwesenheit eines Beobachters gut zu erkennen (56).

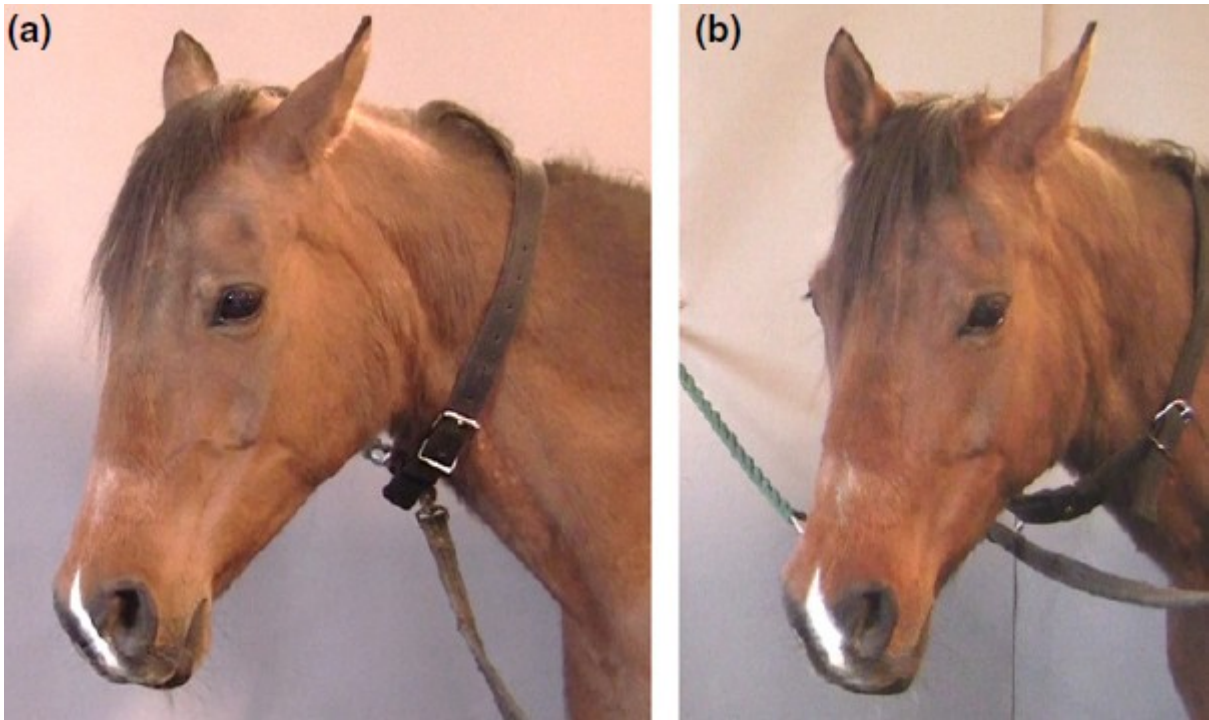


Abbildung 4: Pferd mit Pain Face (a) im Vergleich zu einem nichtschmerzhaften Pferd (b) (56)

2.3.3.3 Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP)

Die EQUUS-FAP wurde an der Universität Utrecht entwickelt und berücksichtigt neun Gesichtsausdrucks- und Verhaltensparameter zur Schmerzerkennung. Bewertet werden (Abb.5):

1. Kopfhaltung/-bewegung
2. Augenöffnung
3. Fokus/Aufmerksamkeit
4. Nasenform/-spannung
5. Mundwinkel/Lippenstellung
6. Muskeltonus Kopf
7. Flehmen und/oder Gähnen
8. Zähneknirschen und/oder Stöhnen
9. Ohrenstellung

Jeder der Parameter wird auf einer Skala von 0 bis 2 bewertet, so dass ein maximaler Gesamtscore von 18 Punkten (hochgradige Schmerzen) möglich ist. Auch diese Skala wurde validiert und zeigt eine gute Eignung auch zur Beurteilung chronischer Schmerzzuständen (61).

Score sheet of the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP).

Data	Categories	Score
Head	Normal head movement/interested in environment	0
	Less movement	1
	No movement	2
Eyelids	Opened, sclera can be seen in case of eye/head movement	0
	More opened eyes or tightening of eyelids. An edge of the sclera can be seen 50% of the time	1
	Obviously more opened eyes or obvious tightening of eyelids. Sclera can be seen >50% of the time	2
Focus	Focussed on environment	0
	Less focussed on environment	1
	Not focussed on environment	2
Nostrils	Relaxed	0
	A bit more opened	1
	Obviously more opened, nostril flaring and possibly audible breathing	2
Corners mouth/lips	Relaxed	0
	Lifted slightly	1
	Obviously lifted	2
Muscle tone head	No fasciculations	0
	Mild fasciculations	1
	Obvious fasciculations	2
Flehming and/or yawning	Not seen	0
	Seen	2
Teeth grinding and/or moaning	Not heard	0
	Heard	2
Ears	Position: Orientation towards sound/clear response with both ears or ear closest to source	0
	Delayed/reduced response to sounds	1
	Position: backwards/no response to sounds	2
Total		.../18

Abbildung 5: Equine Utrecht University Scale für Facial Assessment of Pain von van Loon et al. (2017) (61)

2.4 Apparative Schmerzevaluierung

In der Tiermedizin wird Schmerz bisher vor allem durch die Beobachtung des Tierverhaltens erkannt. Inzwischen werden aber auch vermehrt technische Hilfsmittel wie Sensoren und Videoanalysen versuchsweise eingesetzt (52, 62–64). In der Humanmedizin sind solche Schmerzmonitore, die zum Beispiel Herzfrequenzvariabilität oder Hautleitfähigkeit messen, bereits gut erforscht und werden häufig genutzt. In der Tiermedizin steckt diese Technik noch in den Anfängen, und es gibt bisher kaum solcher Geräte, die wissenschaftlich überprüft wurden.

2.4.1 Hautpotential-Messung

Schmerz beeinflusst das vegetative Nervensystem, ins besonders das Gleichgewicht zwischenführt Sympathikus- und Parasympathikus-Tonus (31, 65). Bei länger anhaltenden und intensiven Schmerzen, die ausreichend stark sind, um Barorezeptoren zu aktivieren, kommt es zu einer erhöhten bzw. verstärkten parasympathischen Aktivität. Diese Aktivierung löst schmerzlindernden Mechanismen aus und beeinflusst unter anderem die Aktivität von Schweißdrüsen, was wiederum die Leitfähigkeit der Haut verändert (66). Durch die Messung des SP, lässt sich die Aktivität des sympathischen und parasympathischen Nervensystems erfassen (67). Hierfür werden zwei Elektroden an unterschiedlichen Stellen auf der Hautoberfläche angebracht. Zwischen diesen Elektroden entsteht eine Spannungsdifferenz, ohne dass ein externer Stromstimulus erforderlich ist – die Haut selbst

fungiert als elektrischer Leiter (67) . Diese Spannungswerte können dann genutzt werden, um eine asymmetrische Verteilung der vegetativen Aktivität zwischen der rechten und linken Körperseite sichtbar zu machen. Im physiologischen Zustand überwiegt typischerweise der Sympathikustonus, was sich in positiven SP-Werten äußert. Bei Schmerz hingegen nimmt der Einfluss des Parasympathikus zu, was zu negativere SP-Werten führt (67) .

2.4.2 PainTrace®-Gerät

Das PainTrace®-Gerät (BioTracerIT, Philadelphia, USA) wurde entwickelt, um Schmerz durch Messung des Hautpotenzials objektiv erkennen bzw. messen zu können. Auch beim PainTrace®-Gerät werden zwei Elektroden, jeweils eine auf der rechten und eine auf der linken Körperseite, angebracht und über ein Kabel mit dem Gerät verbunden. Die erfassten Daten werden in Echtzeit an eine App übertragen, und die von einem Detektor gemessenen SP-Daten werden mit Hilfe einer speziellen Software, dann grafisch dargestellt (67) .

Wie bereits beschrieben, überwiegt im schmerzfreien Zustand überwiegend die Aktivität des Sympathikus was zu positiven SP-Werten und Basislinie im Graphen führt. Akute Schmerzen zeigen sich typischerweise in Form von negativen Ausschlägen (Peaks) im Graphen. Bei chronischen Schmerzen hingegen verschiebt sich das Gleichgewicht des autonomen Nervensystems zugunsten des Parasympathikus, wodurch die SP-Werte negativ werden, was mit einem kontinuierlichen Abfall der Baseline oder einer generell negativen Baseline im Graphen assoziiert ist (67) . Laut Hersteller lassen sowohl die Höhe der negativen Peaks als auch der Verlauf der Baseline Rückschlüsse auf die Schmerzintensität zu (Abb.6-8).

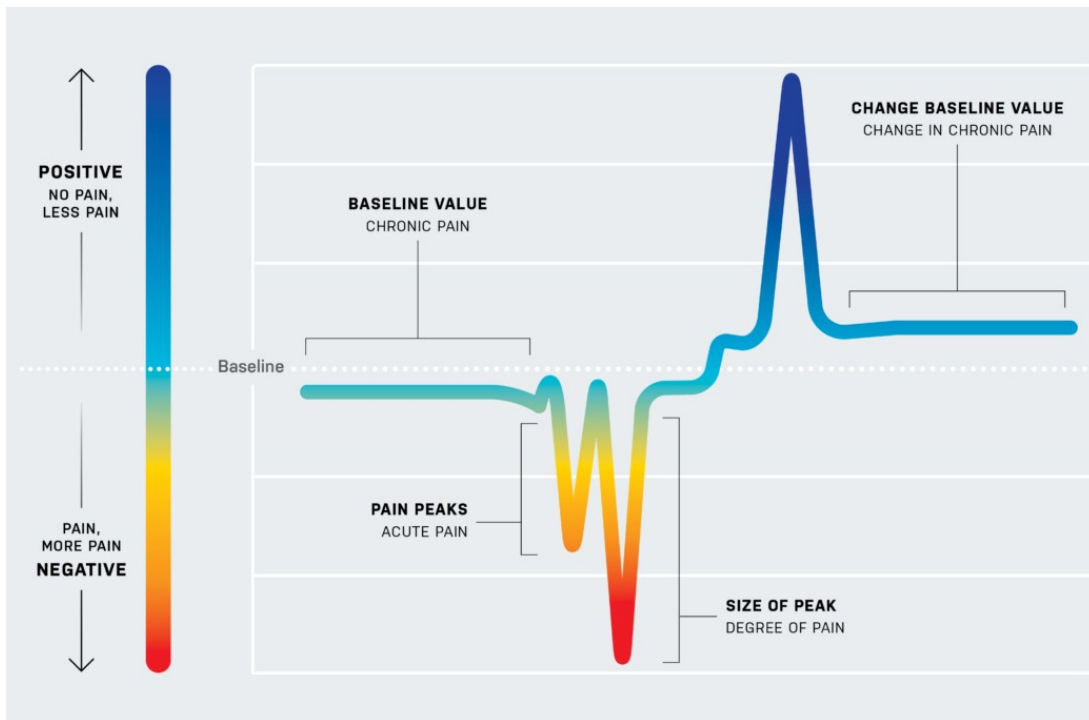


Abbildung 6: Beispiel einer graphischen Darstellung einer Messung mit dem PainTrace®-Gerät. Ein positiver Ausschlag weist in der Regel nicht auf Schmerz hin, sondern kann durch emotionale Zustände wie Angst, Aufregung oder Freude verursacht werden. Ein negativer Ausschlag spricht für akuten Schmerz, während eine dauerhaft negative Baseline auf chronische Schmerzen hindeuten kann (68).

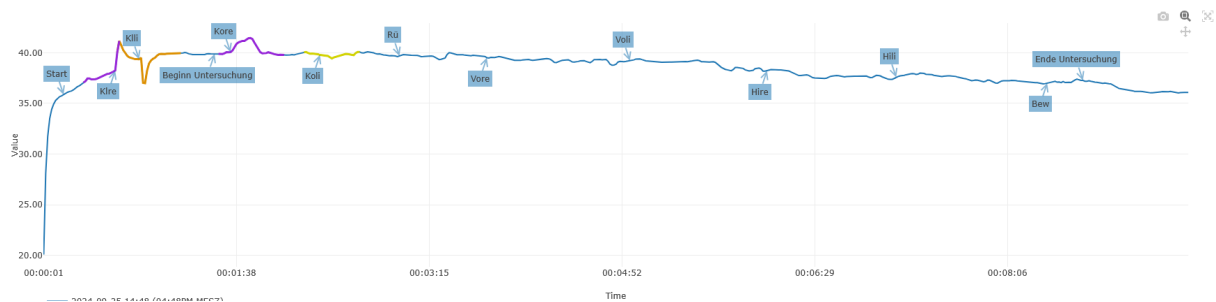


Abbildung 7: Beispiel einer PainTrace®-Messung eines nicht schmerzhaften Pferdes: positive Basislinie bereits zu Messbeginn und im weiteren Verlauf keine negativen Ausschläge bzw. Peaks, die auf akuten Schmerz hindeuten würden

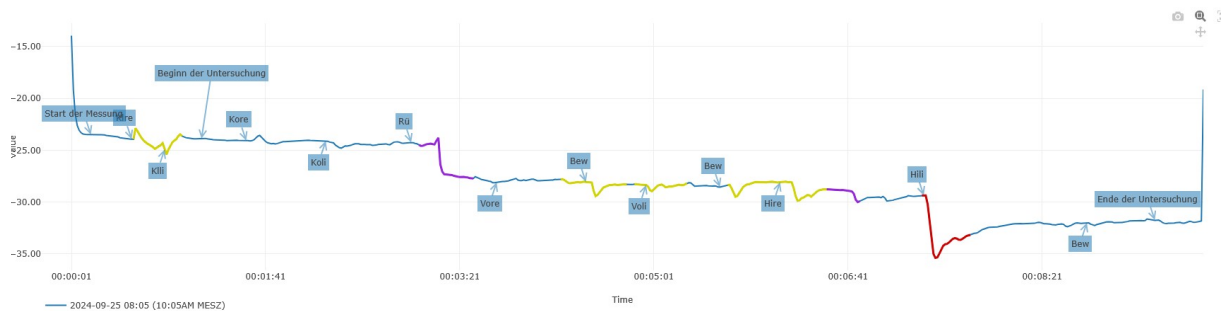


Abbildung 8: Beispiel einer PainTrace®-Messung eines chronisch schmerzhaften Pferdes: negative Basislinie bereits zu Beginn der Messung mit weiterem Abfall im Verlauf der weiteren Untersuchung, inklusive eines akuten Schmerzpeaks (rot) bei der Manipulation der linken Hintergliedmaße

Das PainTrace®-Gerät wurde bei verschiedenen Tierarten sowie beim Menschen eingesetzt, um akute und chronische Schmerzen sowie die Wirkung von Schmerzmitteln zu erfassen. Beim Menschen zeigen die Messergebnisse von PainTrace® eine enge Übereinstimmung mit den subjektiven Schmerzangaben auf der visuellen Analogskala (VAS, 1–10) (69). Bei Hunden und Pferden mit akuten Schmerzen ist dieser Zusammenhang bisher nicht eindeutig belegt und bedarf weiterer Studien bzw. Validierung (67, 70).

2.5 Lahmheit und chronische Schmerzen

Lahmheit ist weltweit das häufigste klinische Anzeichen von Schmerzen im Bewegungsapparat bei Pferden (1–8). Die frühzeitige Erkennung chronischer Lahmheiten ist entscheidend für eine gezielte Schmerztherapie, jedoch ist sie vor allem bei gering- bis mittelgradigen Schmerzen bzw. daraus resultierenden Lahmheiten oft schwierig. Besonders problematisch ist dabei, die bereits erwähnte, unzureichende Wahrnehmung durch PferdebesitzerInnen. In einer Studie von Irland et al. (11) gaben lediglich 16% der BesitzerInnen eine Lahmheit ihres Pferdes an, während TierärztInnen bei derselben Gruppe Pferde eine Lahmheitsprävalenz von 77% diagnostizierten (11). Zur Beurteilung von Lahmheiten stehen verschiedene Skalen zur Verfügung, wobei nur eine international offiziell anerkannt ist: die Lahmheitsskala der American Association of Equine Practitioners (AAEP). Wie auch bei der Schmerzbewertung basiert deren Anwendung jedoch auf visueller Beobachtung und somit auf subjektiver Einschätzung (71).

2.5.1 Lahmheitsskala der American Association of Equine Practitioners (AAEP)

Die AAEP-Lahmheitsskala dient dazu Lahmheiten bei Pferden systematisch zu erkennen und einzuteilen (71). Die Skala umfasst sechs Lahmheitsgrade (0–5), wobei Grad 0

bedeutet, dass keine Lahmheit sichtbar ist – egal unter welchen Bedingungen. Grad 5 ist die stärkste Form der Lahmheit und beschreibt ein Pferd, dass sein Bein kaum oder gar nicht belastet – weder in Bewegung noch in Ruhe (Abb.9). Die AAEP-Skala wird weltweit eingesetzt und ist eine gute standardisierte Orientierungshilfe im Praxisalltag. Allerdings hat sie auch Schwächen: Sie unterscheidet nicht zwischen verschiedenen Gangarten und berücksichtigt auch keine äußeren Einflüsse wie Bodenbeschaffenheit oder die Bewegungsrichtung (z.B. Longieren) (71) .

Grade 1 lameness is difficult to observe and not consistently apparent regardless of circumstances (such as weight carrying, circling, inclines, hard surfaces).

Grade 2 lameness is difficult to observe at a walk or trotting a straight line but is consistently apparent under certain circumstances (such as weight carrying, circling, inclines, hard surfaces).

Grade 3 lameness is consistently observable at a trot under all circumstances.

Grade 4 lameness is obvious lameness with marked nodding, hitching or shortened stride.

Grade 5 lameness is characterised by minimal weightbearing in motion or at rest and the inability to move

Abbildung 9: AAEP-Lahmheitsgrade nach Keegan S. et al. (71)

2.5.2 Digitale Systeme zur Bewegungsanalyse

Da die visuelle Beurteilung von Lahmheiten – also nur die reine Beobachtung – oft subjektiv ist, gibt es inzwischen technische Hilfsmittel, die Bewegungen objektiv erfassen. Obwohl Tierärzt/innen geschult sind, auch leichte Asymmetrien zu erkennen, ist das menschliche Auge nicht immer genug. Gerade bei kleinen Veränderungen oder bei Pferden, die nur zeitweise lahmen, kann das zu Fehleinschätzungen führen. Eine Studie von Parkes et al. (2009) zeigt, dass viele, vor allem subtile Lahmheiten übersehen werden (35). Moderne Verfahren wie Videoanalysen oder Druckmessplatten können solche Bewegungen besser und genauer erfassen (36, 37, 72) .

2.5.2.1 Sleip®-App

Ein aktuelles Beispiel für eine digitale Anwendung ist die Sleip®-App (Company Sleip AI, Stockholm, Schweden). Sie wurde speziell dafür entwickelt, Lahmheiten bei Pferden mit Hilfe einer KI objektiv zu erkennen (73). Dabei wird das Pferd mit der Kamera eines Smartphones oder Tablets im Trab gefilmt – entweder auf gerader Linie oder an der Longe. Das KI-System der App erkennt automatisch, in welche Richtung sich das Pferd bewegt (zur Kamera hin oder von ihr weg) und analysiert anhand der Kopf- und Beckenbewegungen die

Lokalisation und den Schweregrad der Lahmheit. Die Durchführung der Untersuchung ist einfach. Das Pferd sollte mindestens zwei Mal eine Strecke von 30 Metern im Trab laufen (Abb. 10).



Abbildung 10: Beispiel einer korrekten Aufnahme mittels Sleip®-App

Die Auswertung dauert nur weniger Minuten und die Ergebnisse werden in übersichtlicher Form als Kurven, Zahlenwerte und Diagramme dargestellt (Abb.11) (73) .

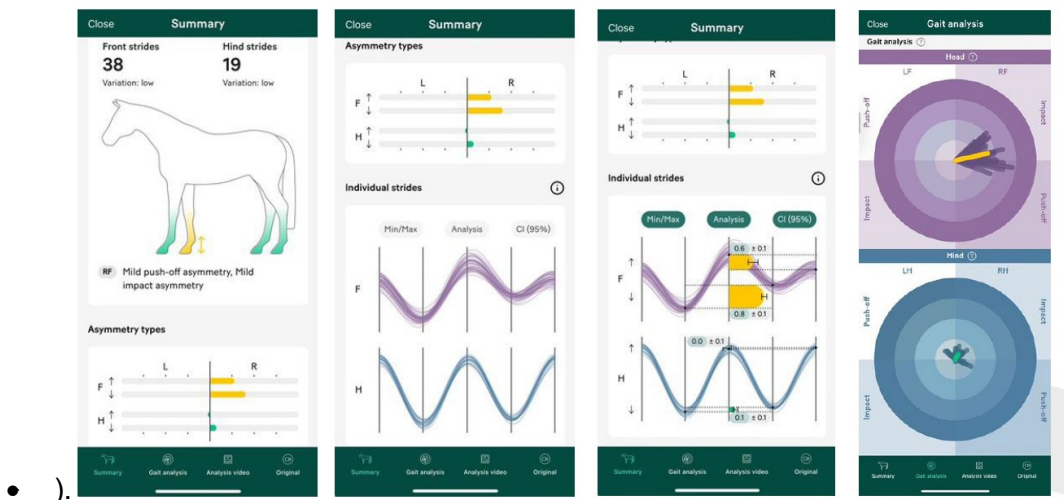


Abbildung 11: Beispiel einer Lahmheitsanalyse mit der Sleipr®App (73) oben links ist die Anzahl der Schritte angegeben, die für die Datenanalyse verwendet wurden - in diesem Beispiel sind das 38 Schritte für die Vorderbeine und 19 für die Hinterbeine. In der darunterliegenden Grafik zeigen die violetten Linien die Auf- und Abbewegung des Kopfes (für die Vorderbeine), die blauen Linien zeigen die Bewegung der Hüfthöcker (für die Hinterbeine). Mit Hilfe der Linien kann die App genau erkennen, ob eine Lahmheit vorliegt und wie stark sie ist. Die Farben der Beine zeigen an, ob eine Lahmheit vorhanden und wenn ja, wie stark ausgeprägt sie ist: grün = lahmfrei, grau = geringgradig, gelb = geringgradig-mittelgradig, orange = mittelgradig-hochgradig und rot = hochgradig. Die Pfeile an den Beinen zeigen, in welcher Bewegungsphase das Problem liegt: (↑) bedeutet eine Störung beim Abstoßen der Gliedmaße vom Boden, (↓) bedeutet eine Störung beim Aufsetzen, (↑↓) bedeutet, dass sowohl Abstoßen als auch das Aufsetzen betroffen sind.

Ein großer Vorteil der App ist ihre einfache Handhabung – sie kann überall mit dem Handy genutzt werden und liefert schnell Ergebnisse. Allerdings kann sie nur den Trab auswerten. Wenn ein Pferd nicht traben kann oder sich nicht vortraben bzw. longieren lässt, kann diese App nicht zur Lahmheitsdiagnostik verwendet werden.

3 Material und Methode

Das Studienprotokoll wurde von der Ethik- und Tierschutzkommission (ETK) genehmigt und die Tiere wurden nach ausführlicher Erläuterung der Studie sowie schriftlicher Zustimmung der Besitzer rekrutiert.

3.1 Studientiere

Insgesamt wurden 31 Pferde in die Studie eingeschlossen. Basierend auf dem Vorbericht, der Schmerzevaluierung (siehe 4.2), sowie der Lahmheitsuntersuchung (siehe 4.4.1) vor Messbeginn erfolgte eine Einteilung in 2 Gruppen: chronisch schmerzhaft (CS) (n=15) und nicht schmerzhaft (NS) (n=16).

Die Ein- und Ausschlusskriterien für die NS und CS-Gruppe sind aus Tab. 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien der unterschiedlichen Studiengruppen

Gruppe	Kriterientyp	Kriterien
Chronisch schmerzhaft (CS)	Einschluss	Tierärztlich diagnostizierte chronisch-orthopädische Erkrankung (z.B. Arthrose, Hufrehe, Spat) Alter > 5 Jahre
Chronisch schmerzhaft (CS)	Ausschluss	Erkrankungen, die die Schmerzwahrnehmung verfälschen könnten (z.B. neurologische Erkrankungen, akute Infektionen, usw.) Trächtigkeit und Laktation
Nicht schmerzhaft (NS)	Einschluss	Hinweise auf orthopädische Erkrankungen im Vorbericht AAEP = 0
Nicht schmerzhaft (NS)	Ausschluss	Alter > 20 Jahre

		AAEP > Grad 0
--	--	---------------

3.2 Schmerzevaluierung vor Messbeginn

Zur Erfassung des Schmerzstatus der Pferde erfolgt eine Beobachtung in einer ungestörten Umgebung, vorzugsweise in der Box oder am Paddock und am besten vor jeglicher Manipulation. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe des MPS (siehe Abschnitt 3.3.2.1.).

3.3 Schmerzevaluierung mittels Messung mit dem PainTrace®-Gerät

3.3.1 Lokalisation der Messstelle

Die Elektroden zur Messung mit dem PainTrace®-Gerät werden seitlich am Hals des Pferdes über den Querfortsätzen des zweiten Halswirbels, etwas oberhalb der Austrittsstelle des *N. cervicalis II*, positioniert. Die exakte Platzierung der Elektroden wird mithilfe zweier Palpationsmethoden ermittelt, wobei je nach Pferd eine oder beide Methoden verwendet werden. Bei der ersten Methode wird der ventrale Rand des Atlasflügels palpiert und der Finger leicht nach caudal geführt, bis eine leichte Vertiefung, welche sich leicht ventral des *M. cleidomastoideus*, tastbar ist. Situationsabhängig muss der Hals des Pferdes zur Seite gedreht werden, um die Stelle besser palpieren zu können. Bei der zweiten Methode wird die flache Hand mit dem Daumen in kranialer Richtung entlang der Unterkieferkante liegend, die Finger nach oben zeigend, platziert. Bei größeren Pferden liegt der Ringfinger auf Höhe der korrekten Messstelle, bei kleineren Pferden v.a. Ponys eher auf Höhe des Mittelfingers (Abb.12).

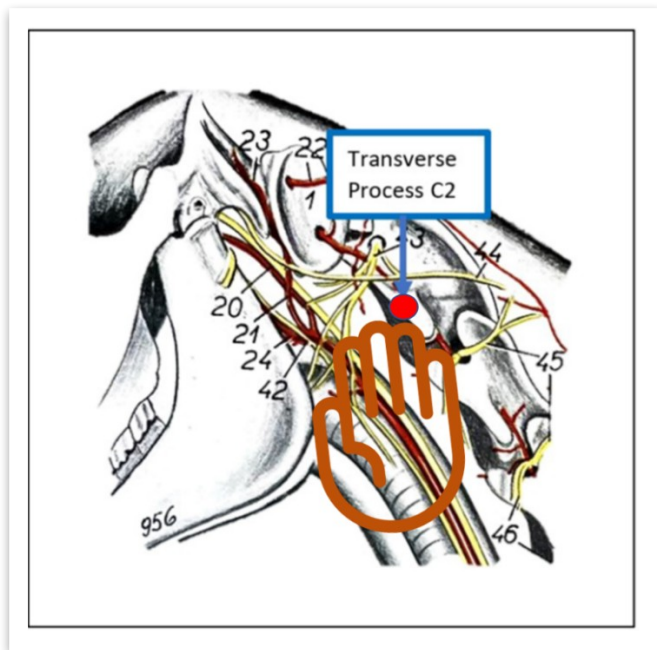


Abbildung 12: Messstelle für die Elektroden adaptiert nach Popesko (76)

3.3.2 Vorbereiten der Messstelle

Vor dem Anbringen der Elektrode wurde die geeignete Stelle noch vorbereitet. Dafür wurde eine Fläche von 3 x 5 cm an der palperten Stelle ausrasiert. Anschließend erfolgt eine gründliche Reinigung mit Ethanol ($\geq 70\%$, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland) um Schmutz, Fett, Schweiß und Haarreste zu entfernen. Nachdem Trocknen der Stelle wird auf jeder Seite des Pferdehalses eine Elektrode (Neonatal/Pediatric Solid Gel Electrode™, Philips Medical Systems, Best, Niederlande) mithilfe eines Klebesprays (Skin-Adhesive Spray™, Covertus BV, Cuijk, Niederlande) angebracht, wobei darauf geachtet wird, dass die Elektroden auf der gleichen Höhe positioniert werden. Das PainTrace®-Gerät wird mit einer Tasche und um Hals des Pferdes befestigt und über Snap-Kabel mit den Elektroden verbunden, das rote Kabel für wird an der rechten und ein schwarzes Kabel an der linken Elektrode angebracht (Abb.13).



Abbildung 13: Beispiel für die korrekte Platzierung der Elektroden für die Messung mit dem PainTrace®-Gerät

Nach Abschluss der Messung werden die Elektroden entfernt. Die zurückgebliebenen Kleberesten werden mit Leukotape®Remover (BSN medical GmbH, Hamburg, Deutschland) entfernt und die Haut mit Dexpanthenol-Salbe (Bepanthen®-Wund- und Heilsalbe, Bayer Austria GmbH, Wien, Österreich) behandelt, um die Haut zu beruhigen und zu fetten.

3.3.3 Messung mit dem PainTrace®-Gerät

Während der Messung werden die Daten des PainTrace®-Gerät in Echtzeit an die PainTrace®-iPad- App übertragen, mittels Software verarbeitet und dort als Grafik angezeigt und abgespeichert. Im Graphen schaut man sich die Ausgangs- bzw. Basislinie (= Baseline), die Ausschläge während der Untersuchung und die Fläche unter der Kurve an, um die Ergebnisse zu beurteilen. Um eine korrekte Messung sicherzustellen, wird zunächst eine stabile Baseline ermittelt. Dafür wird für etwa 30 Sekunden gemessen, wobei das Pferd so ruhig wie möglich stehen soll. Anschließend erfolgt die Kalibrierung des Gerätes, indem für

jeweils 2 Sekunden Druck auf die rechte und dann auf die linke Elektrode ausgeübt wird. In der PainTrace®-App sollte bei der rechten Elektrode ein positiver, bei der linken Elektrode ein negativer Ausschlag zu sehen sein (Abb.14). Sollte dies nicht der Fall sein, wird der Sitz der Elektroden kontrolliert und gegeben falls korrigiert. Nach der Kalibrierung und einer Wartezeit von mindestens ≥ 1 Minute, um eine Stabilisierung der Baseline zu gewährleisten, bevor man mit der eigentlichen Messung beginnt.

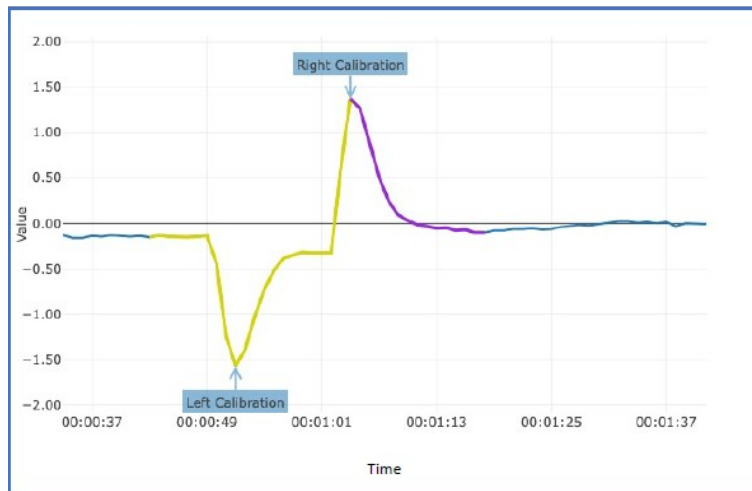


Abbildung 14: Kalibrierung des PainTrace-Gerätes (70)

3.3.4 Untersuchungsgang des Patienten während der Messung

Nach der Kalibrierung des Gerätes erfolgt die Untersuchung des Patienten in einer standardisierten Abfolge: Zunächst wird der Hals des Pferdes einmal nach links gebogen und kurz in dieser Stellung gehalten, anschließend wird der gleiche Vorgang nach rechts wiederholt. Darauf wird die Wirbelsäule des Pferdes mit leichtem Druck durchpalpiert. Im nächsten Schritt werden alle vier Gliedmaßen nacheinander für mindestens 30 Sekunden gebeugt, beginnend mit der Vordergliedmaße links, gefolgt von der Vordergliedmaße rechts, dann der Hintergliedmaße links und schließlich der Hintergliedmaße rechts. Zum Schluss wird das Pferd 2 Runden in Schritt in enger Wendung geführt. Zwischen den einzelnen Manipulationen wird immer eine Ruhephase von etwa 30–60 Sekunden eingehalten, um eine Stabilisierung zu ermöglichen. Wird während einer Manipulation Stress, Abwehr oder Schmerzen beim Pferd erkannt, wird die Messung sofort abgebrochen und nicht wiederholt.

3.4 Lahmheitsuntersuchung

3.4.1 Lahmheitsuntersuchung mit der AAEP-Lahmheitsskala

Für die Lahmheitsuntersuchung mittels der AAEP-Lahmheitsskala wird das Pferd in Bewegung begutachtet. Dazu wird es von einer Person über eine gerade, ebene Strecke zunächst im Schritt und anschließend, wenn möglich, im Trab vorgeführt. Die Person, welche das Pferd führt, muss darauf achten, die Kopfbewegung des Pferdes nicht zu stören, bzw. zu beeinflussen. Die Lahmheiten werden dann in sechs Grade unterteilt, Grad 0 bedeutet, dass keine Lahmheit zu erkennen ist und Grad 5 beschreibt eine hochgradige Lahmheit bedeutet. Eine detaillierte Beschreibung der AAEP-Lahmheitsskala ist in Abschnitt 3.5.1. zu finden.

3.4.2 Lahmheitsuntersuchung mit der Sleip®-App

Für die Lahmheitsuntersuchung mit der Sleip®-App wird ein Video des trabenden Patienten aufgenommen. Dazu wird das Pferd von einer Person geführt und über eine gerade, flache und gut beleuchteten Strecke von 30m geführt. Dabei muss auch hier darauf geachtet werden, dass die Person, die das Pferd führt, dessen Kopfbewegung nicht stört bzw. nicht beeinflusst, um eine gute auswertbare Aufnahme zu ermöglichen. Zuerst trabt das Pferd von der Kamera weg, die direkt hinter dem Pferd positioniert ist. Danach wird das Pferd wieder in gerader Linie zurück zur Kamera getrabt. Eine detaillierte Beschreibung der Sleip®-App ist in Abschnitt 3.5.2. zu finden. Zu den wichtigsten von der Sleip®-App zusätzlich erhobenen Rohdaten gehören noch:

- die maximale vertikale Amplitude des Kopfes beim Aufsetzen (impact) und Abfußen (pushoff) der linken und rechten Vordergliedmaße (head-impact, head-pushoff),

sowie die maximale Amplitude des Beckens beim Aufsetzen und Abfußen der linken und rechten Hintergliedmaße (hind-impact, hind-pushoff).

3.5 Darstellung und Auswertung der Daten

3.5.1 Datenverarbeitung der PainTrace®- und Sleip®-App-Daten

Die Daten, die das PainTrace®-Gerät sammelt, werden wie bereit beschrieben kabellos per Bluetooth an die PainTrace®-App für iOS übertragen. Dort werden sie als Diagramme angezeigt, die nach abgeschlossener Messung dann für die weitere Analysen verwendet werden.

Für die Studie werden unter anderem die Baseline-Werte zu bestimmten Messpunkten analysiert und interpretiert. Im nachfolgenden Graphen sind die wichtigsten Zeitpunkte markiert: Start der Messung (BS), nach der Kalibrierung (BnK), Start der Untersuchung (BSU), Ende der Untersuchung (BE) und Ende der Messung (BLM) (Abb. 16).

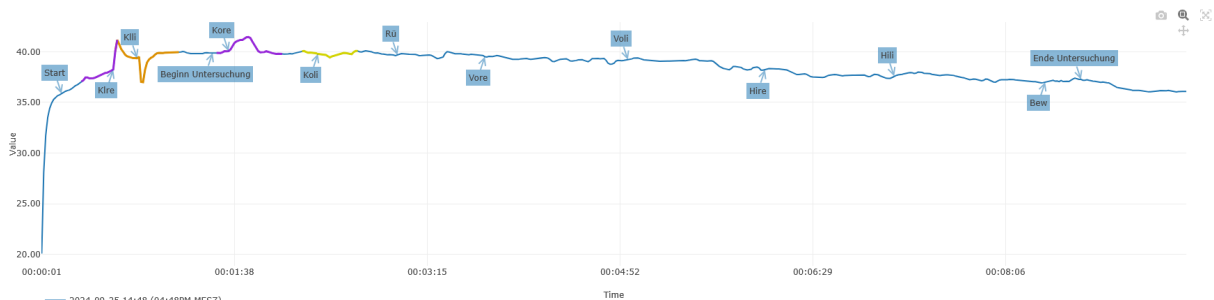


Abbildung 15: Beispiel einer PainTrace®-Messung mit Beschriftungen der einzelnen Messzeitpunkte: Start: Start der Messung, Kili: Kalibrierung links, Kire: Kalibrierung rechts, Beginn Untersuchung: Koli: Kopf nach links, Kore: Kopf nach rechts, Rü: Rücken palpieren, Vore: Beugen rechtes Vorderbein, Vorli: Beugen linkes Vorderbein, Hire: Beugen rechtes Hinterbein, Hili: Beugen linkes Hinterbein, Bew: kurze Strecke in Schritt führen, Ende der Untersuchung

Da die Grafik keine durchgehend lineare Baseline hat und so keine genauere Bewertung der einzelnen Zeitpunkte möglich ist, wurden für jeden Messzeitpunkt aus jeweils fünf Datenpunkte die Mittelwerte berechnet. Zusätzlich wurden noch Differenz(Δ)-Werte für die folgenden Zeitintervalle berechnet:

1. Baseline Start der Messung bis Baseline Ende der Messung (Δ SLM)
2. Baseline Start der Untersuchung bis Baseline Ende der Untersuchung (Δ SUE)

Die Ergebnisse der MPS, AAEP-Lahmheitsskala, sowie die Daten der Sleip® App wurden auch erfasst. Dies ermöglicht den späteren Vergleich der PainTrace®-Werte der beiden Versuchsgruppen sowie die Korrelation der PainTrace®- und Sleip® App-Daten mit den MPS- und AAEP-Lahmheitswerten.

3.5.2 Statistik

Die statistische Analyse der erhobenen Daten erfolgte mit NCSS 2020 (Version 20.0.1, NCSS LLC, Utah, USA) sowie ergänzend mit Microsoft Excel (Microsoft® Excel, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Zur Überprüfung der Normalverteilung der Daten wurde der Shapiro-Wilk-Tests angewendet. Die Ergebnisse werden entweder als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung oder als Median mit Minimum- und Maximumwerten angegeben. Für den Vergleich der PainTrace®-Messwerte zwischen den beiden Gruppen

(schmerzfrei vs. chronisch schmerzhaft) wurde der Welch's t-Test verwendet. Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen den MPS-Werten, den Ergebnissen der Sleip® App, der AAEP-Lahmheitsgrade, sowie den PainTrace®-Messdaten wurde mittels Pearson-Korrelationsanalyse ermittelt. Für alle Tests wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ angenommen.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung von Anzahl und Alter der evaluierten Pferde

Für diese Studie konnten insgesamt 32 Pferde rekrutiert werden. Anhand des Vorberichts, der Schmerzevaluierung, sowie der Lahmheitsuntersuchung wurden die Tiere in zwei Versuchsgruppen eingeteilt: chronisch schmerzhaft (CS) Pferde und schmerzfreie Pferde als Kontrollgruppe (NS). Ein Pferd aus der CS-Gruppe musste im Verlauf der Untersuchung ausgeschlossen werden, da es beim Tragen der PainTrace®-Messelektroden wiederholtes Kopfschütteln zeigte. Dieses Verhalten wurde als Ausdruck eines beeinträchtigten Wohlbefindens gewertet, woraufhin die Messung sofort abgebrochen und das PainTrace®-Gerät entfernt wurde. Insgesamt wurden 31 Pferde endgültig in die Studie eingeschlossen: 15 Pferde in der CS-Gruppe und 16 Pferde in der NS-Gruppe. Die Altersverteilung der beiden Gruppen ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Pferde der CS-Gruppe waren im Durchschnitt deutlich älter ($27,04 \pm 5,25$ Jahre) als jene der NS-Gruppe ($6,36 \pm 4,91$ Jahre), was den Einschlusskriterien der Studie entsprach.

Tabelle 2: Übersicht über die Anzahl und das Alter der Pferde

Gruppe	Anzahl Pferde	Mittelwert (Jahre)	Median (Jahre)	Minimales Alter	Maximales Alter
Chronisch Schmerzhaft (CS)	15	$27,04 \pm 5,25$	28,7	15J 6Mo	31J 8 Mo
Nichtschmerzhaft (NS)	16	$6,36 \pm 4,91$	5,63	8 Mo	19J 6Mo

Die Pferde der CS-Gruppe litten an unterschiedliche tierärztlich diagnostizierten chronisch-orthopädische Erkrankungen, die in folgender Verteilung auftraten:

- Chronische Hufrehe (n = 3)
- Osteoarthrosen an mindestens 1 Gliedmaße (n = 8)
- Chronische Synovitis der Fesselbeugesehnenscheide (n = 1)

- Chronischer Sehnenschaden der oberflächlichen Beugesehne (n = 1)
- Chronischer Fesselträgerschaden (n = 2)

4.2 Schmerzevaluierung mittels MPS und Lahmheitsuntersuchung mit der AAEP-Lahmheitsskala

Vor der PainTrace®-Messung wurden alle Pferde mit Hilfe der MPS- und AAEP-Lahmheitsskala auf Schmerz und Lahmheit untersucht. Die Tiere der NS-Gruppe erzielten bei beiden Skalen eine Punktzahl von Null und wurden daher als schmerzfrei und lahmfrei eingestuft. Die Ergebnisse der CS-Gruppe zeigen demgegenüber erhöhte Werte in beiden Skalen und sind in Abb.16 dargestellt.

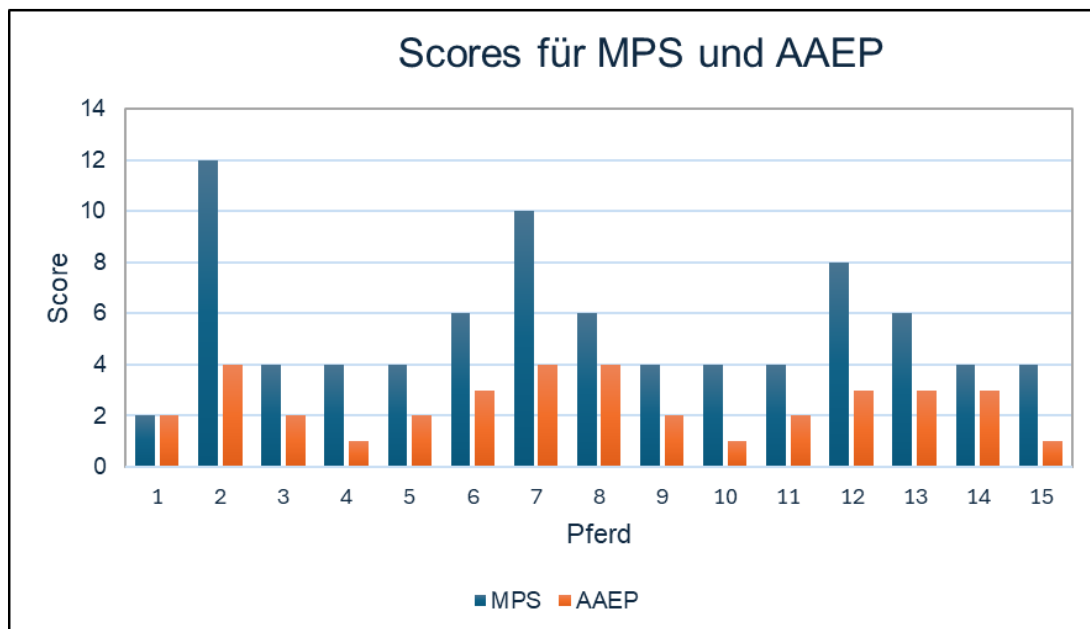


Abbildung 16: MPS- und AAEP-Scores bei den Pferden der CS-Gruppe; jeder Balken entspricht einem individuellen Pferd

4.3 Vergleich zwischen CS- und NS- mittels PainTrace®-Gerät

Die statistische Analyse der PainTrace®-Baseline-Werte zu den fünf definierten Messzeitpunkten zeigte zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die p-Werte lagen zu jedem Messzeitpunkt über dem Signifikanzniveau von 0.05 (Start der Messung: p = 0,23, nach Kalibrierung p = 0,29, Start der Untersuchung p = 0,31, Ende der Untersuchung p = 0,19, Ende der Messung p = 0,12) (Tab. 3; Abb.18).

Tabelle 3: Übersicht der Mittelwerte der PainTrace®-Baseline-Werte zwischen der CS- und NS-Gruppe

PainTrace®-Messzeitpunkte	Gruppe CS	Gruppe NS
Baseline Start der Messung (BS)	8,01	2,42
Baseline nach Kalibrierung (BnK)	8,16	3,71
Baseline Start Untersuchung (BSU)	8,17	3,86
Baseline Ende Untersuchung (BE)	6,51	0,90
Baseline Ende der Messung (BLM)	7,34	1,08

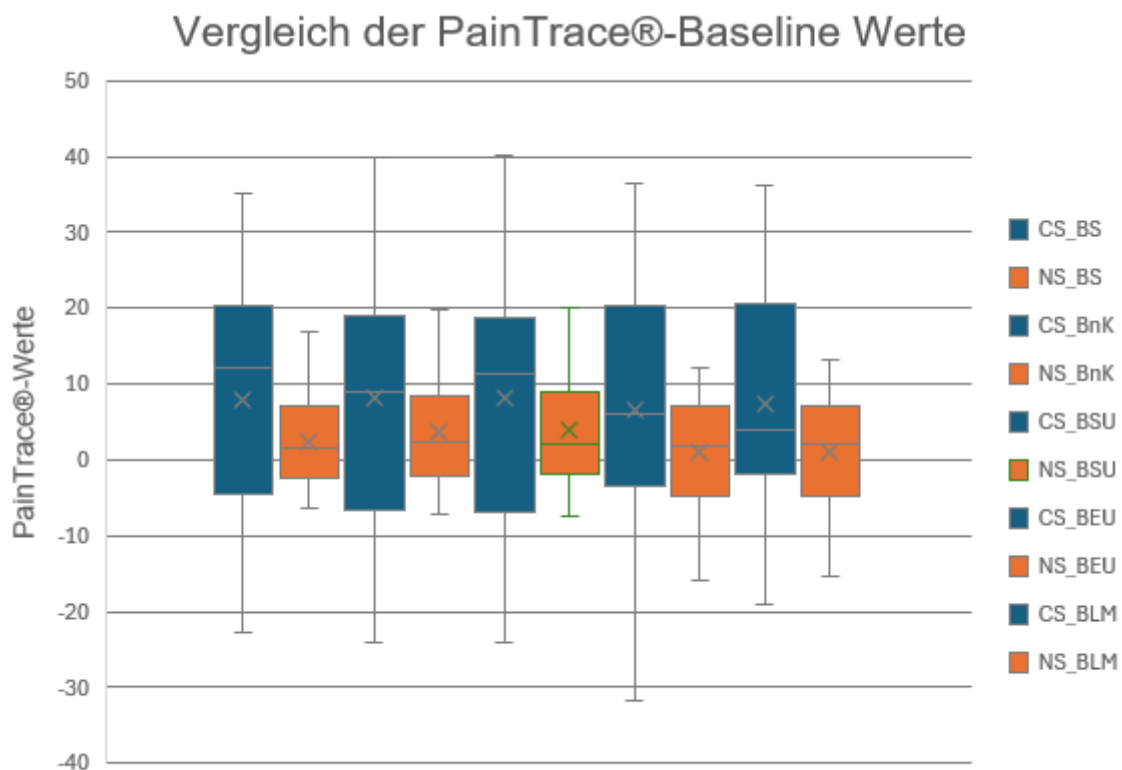


Abbildung 17 Vergleich der Baseline-Werte zu bestimmten Messzeitpunkten zwischen chronisch schmerzhaften (CS) und nicht schmerzhaften (NS) Von links nach rechts in folgender Reihenfolge: Baseline Start (BS), Baseline nach Kalibration (BnK), Baseline Start der Untersuchung (BSU), Baseline Ende der Untersuchung (BEU), Baseline am letzten Messpunkt (BLM)

Beim Vergleich des Differenz-Wertes Δ SUE zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,03$). Die chronisch schmerzhaften Pferde (CS) zeigten einen Abfall der Werte um - 6,53 Einheiten, während die schmerzfreien Pferde (NS) einen leichten Anstieg zeigten (+ 2,95). Für den Differenz-Wert Δ SLM konnte hingegen kein

signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0,12$), obwohl der Mittelwert der CS-Gruppe mit + 14,7 deutlich höher lag als der der NS-Gruppe (+ 0,49) (Tab. 4; Abb.18).

Tabelle 4: Übersicht der Mittelwerte der Differenz-Werte zwischen der CS- und NS-Gruppe

Differenzwert	CS (n = 159)	NS (n = 16)
Δ SUE (Start Untersuchung bis Ende der Untersuchung)	-6,53	2,95
Δ SLM (Start der Messung bis Ende der Messung)	14,7	0,49

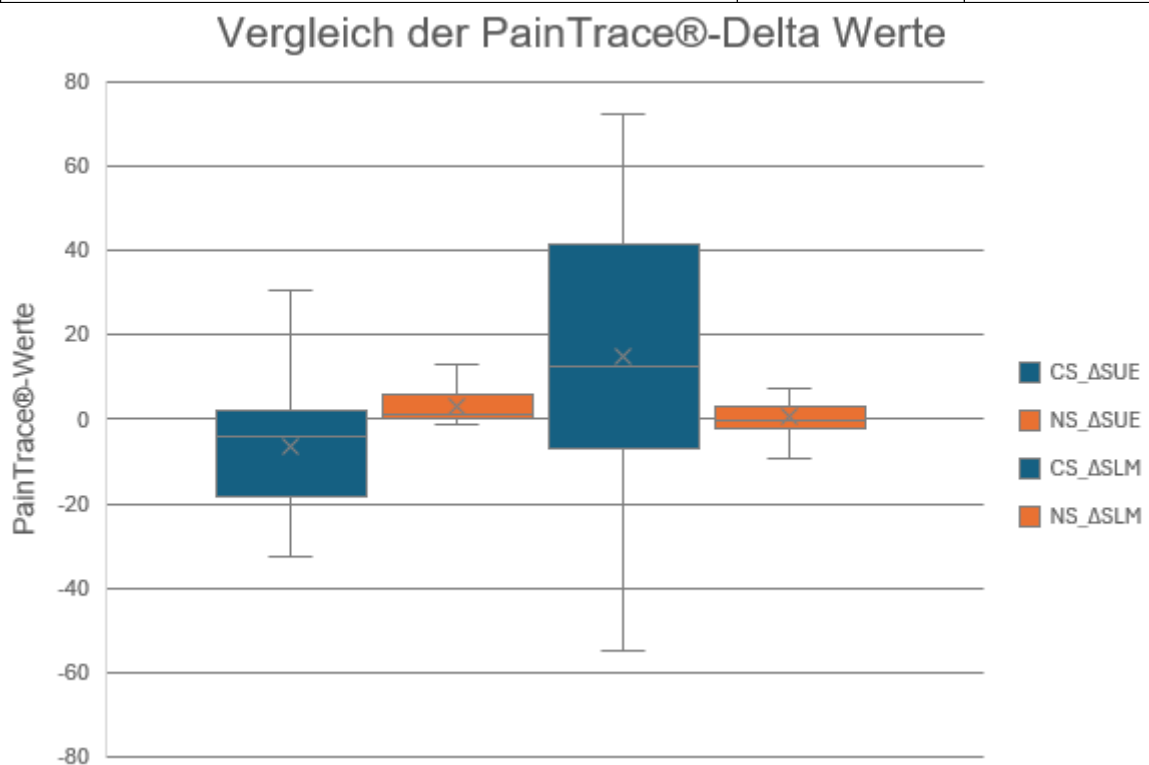


Abbildung 18: Vergleich der Mittelwerte der Differenzwerte zwischen CS und NS-Gruppe Von links nach rechts in folgender Reihenfolge: Delta Start der Untersuchung bis Ende der Untersuchung (Δ SUE), Delta Start bis letzten Messpunkt (Δ SLM)

4.4 Korrelation zwischen MPS-Scores und den PainTrace®-Messwerten

Zur Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen der MPS-Skala und dem PainTrace®-Gerät wurde die Korrelation zwischen den MPS-Scores und den verschiedenen PainTrace® Messwerten zu verschiedenen Zeitpunkten berechnet. Zum Messzeitpunkt „Start der Messung“ zeigte sich eine statistisch positive Korrelation ($p = 0,05$), mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,35$. Dies deutet auf einen moderaten Zusammenhang hin: Pferde mit höheren MPS-Scores wiesen tendenziell höhere PainTrace®-Werte auf. Für die

anderen Messzeitpunkten fanden sich keine signifikanten Korrelationen (nach Kalibrierung: $p = 0,10$; Beginn der Untersuchung: $p = 0,12$; Ende der Untersuchung: $p = 0,14$; Ende der Messung: $p = 0,10$). Ein deutlicher Zusammenhang zeigte sich beim Differenzwert ΔSLM (Differenz der Baseline-Werte zwischen Start und Ende der gesamten Messung): hier zeigte sich eine statistisch signifikant negative Korrelation mit den MPS-Scores ($r = -0,43$; $p = 0,02$). Dies deutet darauf hin, dass Pferde mit höheren MPS-Scores im Verlauf der Messung eine geringere Zunahme oder sogar Reduktion der PainTrace®-Werte zeigte. Für den Differenzwert ΔSUE (Differenz der Baseline Werte zwischen Start und Ende der Untersuchung) ergab sich keine statistisch signifikante Korrelation ($p = 0,89$). Die Ergebnisse sind in Abb. 19 grafisch dargestellt.

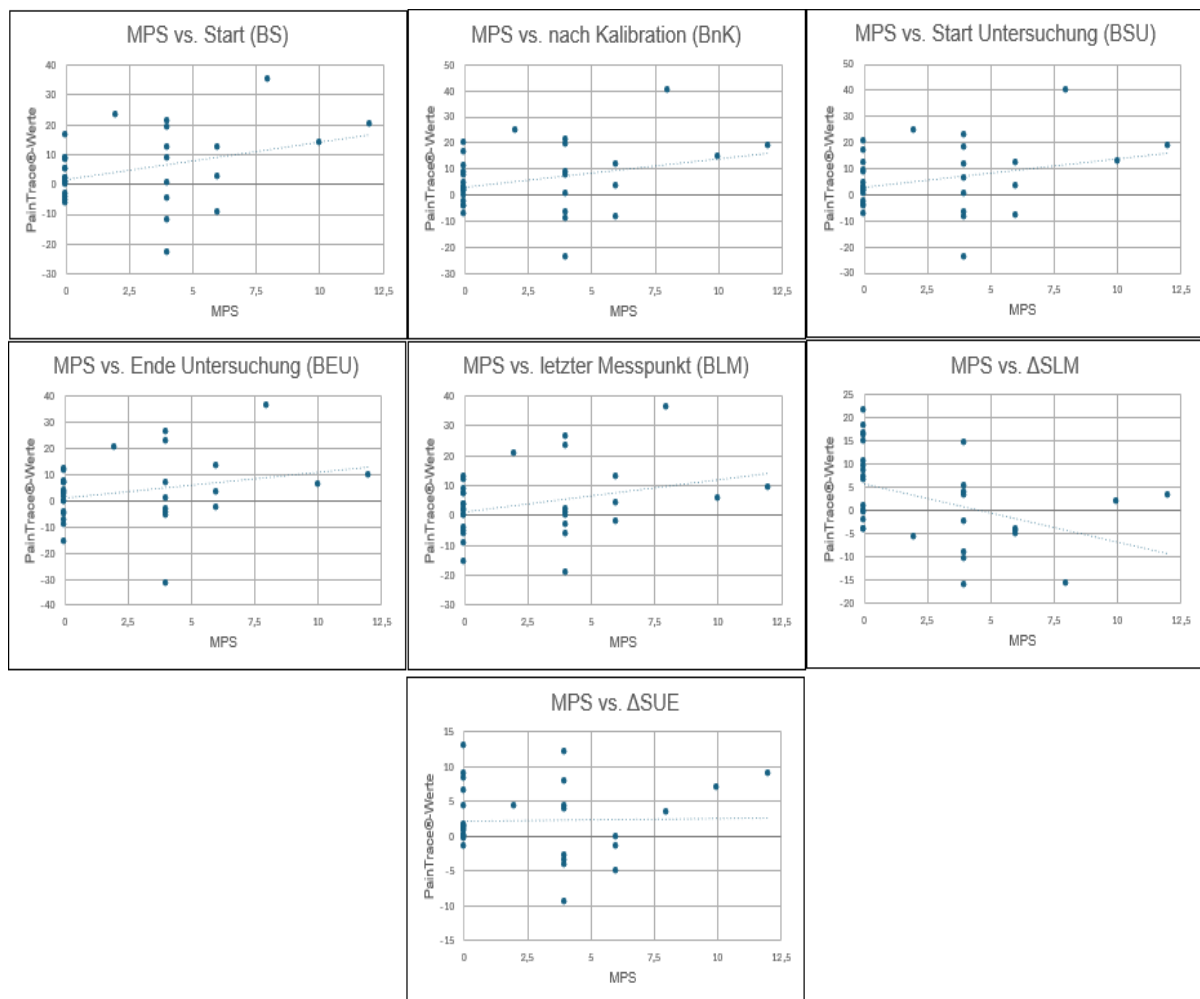


Abbildung 19: Korrelation zwischen PainTrace® mit MPS

4.5 Korrelation zwischen Sleip®-App und den PainTrace®-Messwerten

Für die Lahmheitsuntersuchung mit der Sleip®-App musste das Pferd Vortrabten. Aus diesem Grund konnten nur 11 Pferde der chronisch schmerzhaften Gruppe (CS) in die statistische Analyse einbezogen werden; vier Pferde konnten aufgrund der Schwere ihrer chronisch-orthopädischen Erkrankung nicht entsprechend vorgetrabt werden. Die Berechnung der Korrelation zwischen den von der Sleip®-App erfassten Daten (head-impact, head-pushoff, hind-impact, hind-pushoff) und den PainTrace®-Messwerten zu verschiedenen Zeitpunkten sowie berechneten Differenzwerten ergab keine statistisch signifikante Korrelation ($p > 0,05$). Dies deutet darauf hin, dass die beiden Systeme unterschiedliche physiologische und funktionelle Aspekte des Schmerzerlebens bei Pferden abbilden. Die Ergebnisse sind in Abb.20 dargestellt.

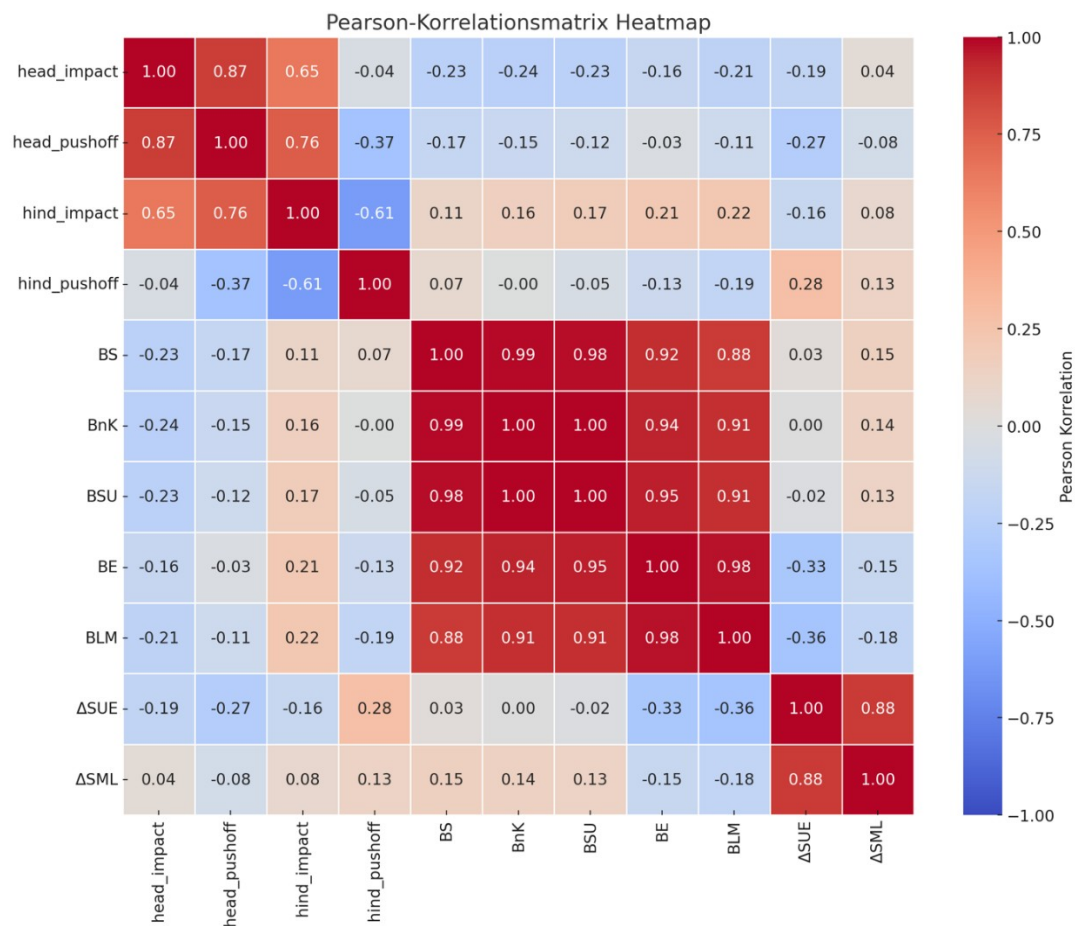


Abbildung 20: Heatmap der Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zwischen den vier Bewegungsparametern der Sleip®-App (head impact, head pushoff, hind impact, hind pushoff) und den PainTrace®-Messwerten zu fünf verschiedenen Zeitpunkten (BS, BnK,

BSU, BE, BLM). Die Farbintensität spiegelt die Stärke und Richtung des Zusammenhangs wider. Es konnten keine statistisch signifikanten Korrelationen ($p > 0,05$) festgestellt werden.

4.6 Korrelation zwischen AAEP und PainTrace®-Messzeitpunkten

Zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen den AAEP-Scores und den PainTrace®-Messwerten zu bestimmten Zeitpunkten wurden Pearson-Korrelationen berechnet. Für keinen der einzelnen Messzeitpunkte (Start der Messung, nach Kalibrierung, Beginn der Untersuchung, Ende der Untersuchung, Ende der Messung) zeigte sich eine signifikante Korrelation mit den AAEP-Scores (alle Werte lagen über 0,05). Hingegen zeigte der Differenzwert ΔSLM (Differenz zwischen Start der Messung und Ende der Messung) eine statistisch signifikante negative Korrelation mit den AAEP-Scores ($r = -0,46$, $p = 0,009$), was darauf hindeutet, dass stärkere Lahmheiten mit einem stärkeren Abfall der PainTrace®-Wert über die Zeit einhergehen (Abb.21). Der Differenzwert ΔSUE (Start bis Ende der Untersuchung) zeigte hingegen keine signifikante Korrelation ($p = 0,742$).

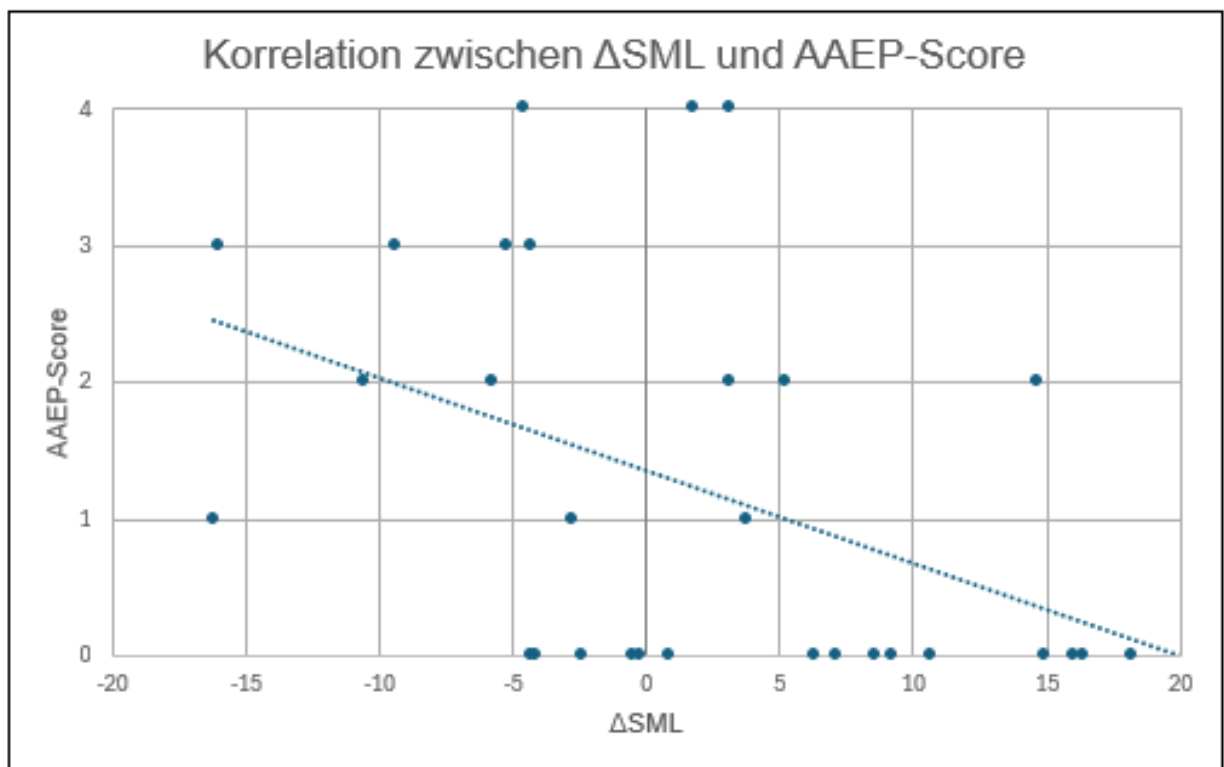


Abbildung 21: Korrelation zwischen dem Differenzwert ΔSLM (Veränderung des PainTrace®-Signals vom Messbeginn bis zum letzten Messpunkt) und den AAEP-Scores

5 Diskussion

Die objektive und zuverlässige Schmerzerkennung bleibt in der Veterinärmedizin – nicht nur bei Pferden – weiterhin eine große Herausforderung. Da Schmerz ein subjektives Erlebnis ist, das Tiere nicht verbal mitteilen können, beruhen die Diagnosen meist auf Verhaltensbeobachtungen und physiologische Parameter (19–26). Als Fluchttiere neigen Pferde zudem dazu, ihr Schmerzverhalten zu unterdrücken, was die Bewertung weiter erschwert (22, 43). Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche Methoden zu Schmerzerkennung entwickelt wurden, existiert bislang kein allgemein anerkannter Goldstandard in der Pferdemedizin. Bestehende Methoden, wie Beobachtungs- und Verhaltensskalen, liefern nur eingeschränkt objektive Ergebnisse, da sie stark von der Erfahrung und Einschätzung des Beobachtenden abhängen sind (27). Gerade in der Schmerzdiagnostik ist diese Subjektivität problematisch. Deshalb könnte der Einsatz technischer und apparativer Verfahren hilfreich sein, um die Schmerzerkennung objektiver und zuverlässiger zu machen. Insofern würden technische und apparative Verfahren eine sinnvolle Ergänzung – möglicherweise sogar eine Alternative – darstellen.

Das PainTrace®-System bietet in diesem Kontext einen vielversprechenden Ansatz, indem es bioelektrische Hautpotentiale misst, die durch die Aktivität des autonomen Nervensystems beeinflusst werden (31, 65). Die zugrundeliegende Theorie ist, dass Schmerz bestimmte Anteile des autonomen Nervensystems aktiviert und sich dies in messbaren Spannungsunterschieden an der Hautoberfläche widerspiegelt (74). Der Vorteil des PainTrace®-System liegt in seiner einfachen Handhabung, der Mobilität und Unabhängigkeit von einer externen Stromversorgung, wodurch ein flexibler Einsatz möglich ist. Allerdings gibt es auch technische Einschränkungen, wie die Notwendigkeit einer stabilen Internetverbindung für die Echtzeit-Datenübertragung sowie die Anforderung, dass die Pferde geschoren werden müssen, um einen optimalen Hautkontakt für die Elektrodenplatzierung zu gewährleisten. Während der Messung ist es zudem erforderlich, dass die Pferde ruhig bleiben und sich kooperativ verhalten, damit die erforderlichen Übungen während der Messung durchgeführt werden können, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Bewegungsunruhe, wie z.B. übermäßige Kopfbewegungen oder andere äußere Einflüsse, wie Stress, Angst oder ungewohntes Handling, die das autonome Nervensystem ebenfalls aktivieren, können die Messergebnisse verfälschen und deren Interpretation erschweren (Abb.22). In solchen Fällen ist eine Unterbrechung der Messung notwendig, bis sich die

Baseline stabilisiert. Für die korrekte Anwendung des Geräts sind außerdem grundlegende anatomische Kenntnisse des Pferdes erforderlich, um die Elektroden präzise zu platzieren.

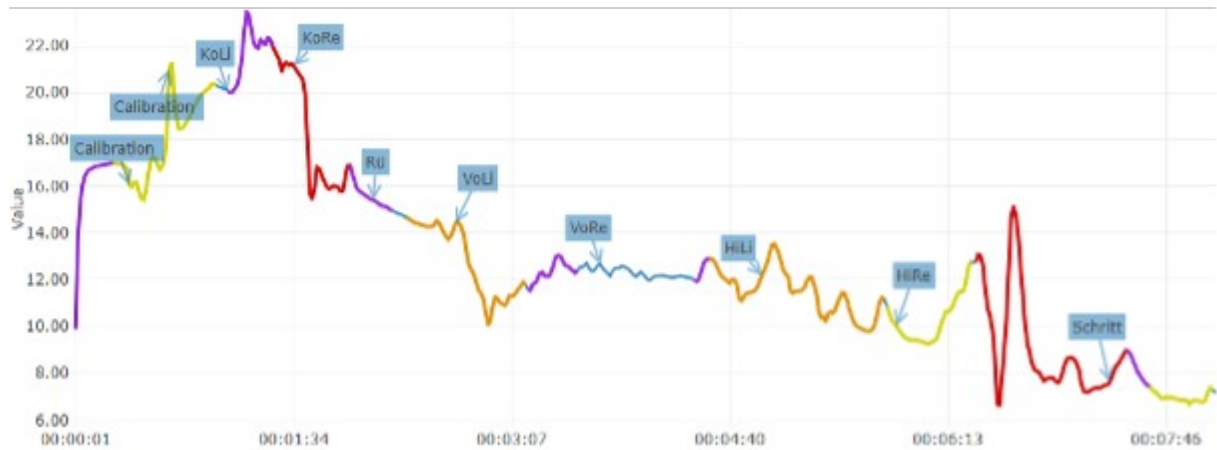


Abbildung 22: PainTrace®-Messung bei einem nicht schmerzhaften Pferd, mit unterschiedlich farblich markierten Peaks, die in keinem Zusammenhang mit einer Manipulation standen und daher auch nicht als Schmerz gewertet wurden

In der vorliegenden Studie lag die durchschnittliche Messdauer pro Pferd bei 20 bis 30 Minuten. Dieser zeitliche Aufwand ist nicht unerheblich und könnte die praktische Integration der PainTrace®-Messung in einen stark ausgelasteten Klinikalltag erschweren.

Physiologischen Reaktionen des sympathischen Nervensystems, wie eine erhöhte Herzfrequenz und ein erhöhter Blutdruck, sind zwar messbar, aber keine zuverlässigen Indikatoren für Schmerz (22, 27, 47), da sie meist nur unmittelbar nach einem schädigenden Reiz auftreten und durch die Aktivierung des parasympathischen Nervensystems wieder ausgeglichen werden (75). Studien aus der Humanmedizin deuten darauf hin, dass starke, chronische Schmerzen den Tonus des parasympathischen Nervensystems erhöhen können. Diese Erhöhung spielt eine wesentliche Rolle bei der Schmerzlinderung, indem sie unter anderem die Freisetzung von körpereigenen Opioiden anregt (66). Da der Vagusnerv, als Teil des Parasympathikus, auch die Haut innerviert, wurde die Hypothese aufgestellt, dass schmerzbedingte Tonusänderungen zu messbaren Spannungsunterschieden auf der Körperoberfläche führen. Diese Annahme wurde durch Studien mit Hautleitfähigkeitselektroden beim Menschen gestützt (67). Diese Ergebnisse legen auch nahe, dass das PainTrace®-System bei schmerzhaften Pferden negative Spannungs- bzw. Baseline-Werte anzeigen kann. Dies wird in der vorliegenden Studie nur teilweise bestätigt, da auch schmerzfreie Pferde gelegentlich negative Baseline-Werte aufwiesen, was auf mögliche Schmerzereignisse oder andere Einflussfaktoren hinweist, die

durch die MPS oder die AAEP-Lahmheitsskala im Vorfeld der PainTrace®-Messung nicht erfasst wurden.

Die Studie zeigte, dass das PainTrace®-Gerät zwischen schmerzhaften (CS) und nicht-schmerzhaften Pferden (NS) unterscheiden kann. Die Auswertung ergab zwar zu einzelnen Messzeitpunkten keine statistisch signifikanten Unterschiede, dennoch konnte ein deutlicher Trend beobachtet werden: Eine größere Stichprobe könnte die Aussagekraft künftiger Untersuchungen erheblich verbessern. Besonders relevant war der Differenzwert ΔSUE , der die Veränderung der Baseline vom Beginn bis zum Ende der Untersuchung abbildet. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,03$), der nahelegt, dass Pferde mit chronischen Schmerzen auf eine standardisierte Untersuchung mit stärkeren physiologischen Veränderungen reagieren als schmerzfreie Tiere. Dies weist auf eine erhöhte Empfindlichkeit des autonomen Nervensystems gegenüber schmerzassoziierten Reizen bei betroffenen Tieren hin. Im Gegensatz dazu konnte beim Differenzwert ΔSML , der die Veränderung über den gesamten Messzeitraum erfasst, keine Signifikanz festgestellt werden. Diese Diskrepanz könnte durch interindividuelle Schwankungen oder eine abgeschwächte Reaktion über längere Zeiträume erklärt werden. Diese Ergebnisse unterstützen die Theorie, dass chronischer Schmerz messbare Auswirkungen auf die Aktivität des autonomen Nervensystems haben (67) und dass diese Veränderungen unter Belastung deutlicher hervortreten als im Ruhezustand. Diese Beobachtung ist klinisch relevant, da viele Lahmheiten oder Schmerzen erst bei Belastung auftreten oder sich verstärken (76).

Darüber hinaus zeigte sich eine moderate, jedoch signifikante Korrelation zwischen der MPS und dem PainTrace®-Wert zu Beginn der Messung ($r = 0,35$, $p = 0,05$). Zusätzlich wurde ein statistisch signifikanter negativer Zusammenhang zwischen dem Differenzwert ΔSLM und der MPS festgestellt ($r = -0,43$, $p = 0,02$). Dies unterstützt die Hypothese H1, dass die Messerergebnisse des PainTrace®-Gerät in einem gewissen Maß mit den Ergebnissen einer validierten Schmerzskala übereinstimmen. Konkret bedeutet dies: Je höher die Schmerzbewertung anhand der MPS ausfiel, desto negativer war der PainTrace®-Wert zu Beginn der Messung und desto ausgeprägter war der Rückgang der Baseline über den gesamten Messzeitraum. Es zeigt sich somit ein nachvollziehbares Muster physiologischer Reaktionen, das parallele Aussagen zur Schmerzintensität ermöglicht. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die festgestellten Korrelationen insgesamt nur moderat ausfielen und nicht in allen Messzeitpunkten signifikant waren. Dies spricht für eine gewisse Variabilität der

Messdaten, die möglicherweise auf die geringe Stichprobengröße oder weitere Einflussfaktoren zurückzuführen ist.

Hypothese H2, die eine signifikante Korrelation zwischen den PainTrace®-Messwerten und den durch die Sleip®-App ermittelten Lahmheitswerten annahm, konnte hingegen nicht bestätigt werden. Es ergab sich bei keinem der analysierten Parameter eine statistisch signifikante Korrelation. Eine mögliche Erklärung liegt in der geringen Fallzahl ($n = 11$), da nur ein Teil der CS-Pferde überhaupt vorgetrabt werden konnte, sowie in methodischen Unterschieden. Die Sleip®-App bewertet vorrangig Lahmheiten bzw. Bewegungsasymmetrien, während das PainTrace®-Gerät physiologische Schmerzreaktionen misst. Bewegungsasymmetrien können jedoch auch aus mechanischen Ursachen resultieren und müssen nicht zwingend mit Schmerzen einhergehen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis war die negative Korrelation zwischen dem Differenzwert ΔSLM und dem AAEP-Lahmheitsscores ($r = -0,46$, $p = 0,009$). Dies ähnelt den Ergebnissen zur MPS und deutet darauf hin, dass chronisch schmerzhaftes Pferd – auch wenn sie in der Bewegung nicht stark auffällig sind – über den gesamten Untersuchungsverlauf messbare Veränderungen im autonomen Nervensystem zeigen. Ein nicht unbedeutender Fakt, da Lahmheit häufig ein Indikator für chronische Schmerzen beim Pferd ist (1–4).

Die Studie zeigt, dass das PainTrace®-Gerät in der Lage ist, zwischen schmerzhaften und nicht-schmerzhaften Pferden zu unterscheiden. Besonders auffällig ist, dass es während einer standardisierten Untersuchung Veränderungen in den Messwerten erfasst, die mit etablierten Schmerzskalen, wie der MPS übereinstimmen. Damit bietet das System eine vielversprechende Möglichkeit, Schmerzen bei Pferden objektiver und auf physiologischer Basis zu erkennen – und das nicht nur in Momentaufnahmen, sondern auch über längere Zeiträume hinweg. Es reagiert sensibler auf schmerzbedingte Reaktionen als herkömmliche Einzelmessungen und könnte eine sinnvolle Ergänzung zur bisherigen, eher subjektiven Schmerzdiagnostik sein. Allerdings gibt es auch Einschränkungen: Die Anzahl der untersuchten Pferde war relativ klein, und die gemessenen Zusammenhänge waren teilweise nur moderat und nicht immer eindeutig. Zudem fehlen bisher klare Referenzwerte, die in der täglichen Praxis angewendet werden könnten. Auch äußere Faktoren wie Stress, das Handling durch Menschen, Wetterbedingungen oder die Tageszeit könnten die Messergebnisse beeinflussen – wurden aber in dieser Studie noch nicht ausreichend berücksichtigt. Die Frage, wie zuverlässig das Gerät bei wiederholten Messungen beim

gleichen Tier ist, bleibt ebenfalls offen. Langfristig könnte das PainTrace®-System – eventuell in Kombination mit anderen Methoden wie der Verhaltensbeobachtung oder Bewegungsanalyse – ein Baustein in einem umfassenderen Konzept zur Schmerzerkennung bei Pferden werden. Damit das gelingt, sind jedoch weitere Studien mit mehr Tieren, verschiedenen Schmerzarten (z. B. akuten Schmerzen) und standardisierten Bedingungen notwendig. Auch technische Verbesserungen, etwa ein Offline-Modus oder die automatische Erkennung von Messfehlern, wären hilfreich, um das System praxistauglicher zu machen.

6 ADDIN CitaviBibliographyLiteraturverzeichnis

1. Egenvall A, Lönnell C, Roepstorff L. Analysis of morbidity and mortality data in riding school horses, with special regard to locomotor problems. *Prev Vet Med* 2009; 88(3):193–204.
2. van Weeren PR, Back W. Musculoskeletal Disease in Aged Horses and Its Management. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2016; 32(2):229–47.
3. Ireland JL, Clegg PD, McGowan CM, McKane SA, Chandler KJ, Pinchbeck GL. Disease prevalence in geriatric horses in the United Kingdom: veterinary clinical assessment of 200 cases. *Equine Vet J* 2012; 44(1):101–6.
4. Ireland JL, McGowan CM, Clegg PD, Chandler KJ, Pinchbeck GL. A survey of health care and disease in geriatric horses aged 30 years or older. *Vet J* 2012; 192(1):57–64.
5. Dyson S, Berger J, Ellis AD, Mullard J. Development of an ethogram for a pain scoring system in ridden horses and its application to determine the presence of musculoskeletal pain. *Journal of Veterinary Behavior* 2018; 23:47–57.
6. Dunn KM, Campbell P, Lewis M, Hill JC, van der Windt DA, Afolabi E et al. Refinement and validation of a tool for stratifying patients with musculoskeletal pain. *Eur J Pain* 2021; 25(10):2081–93.
7. Safiri S, Kolahi A-A, Cross M, Hill C, Smith E, Carson-Chahhoud K et al. Prevalence, Deaths, and Disability-Adjusted Life Years Due to Musculoskeletal Disorders for 195 Countries and Territories 1990–2017. *Arthritis & Rheumatology* 2021; 73(4):702–14.
8. Woolf AD. Global burden of osteoarthritis and musculoskeletal diseases. *BMC Musculoskelet Disord* 2015; 16(S1).
9. Egenvall A, Bonnett B, Wattle O, Emanuelson U. Veterinary-care events and costs over a 5-year follow-up period for warmblooded riding horses with or without previously recorded locomotor problems in Sweden. *Prev Vet Med* 2008; 83(2):130–43.
10. Ireland JL, Clegg PD, McGowan CM, McKane SA, Pinchbeck GL. A cross-sectional study of geriatric horses in the United Kingdom. Part 2: Health care and disease. *Equine Vet J* 2011; 43(1):37–44.

11. Ireland JL, Clegg PD, McGowan CM, McKane SA, Chandler KJ, Pinchbeck GL. Comparison of owner-reported health problems with veterinary assessment of geriatric horses in the United Kingdom. *Equine Vet J* 2012; 44(1):94–100.
12. Jönsson L, Roepstorff L, Egenvall A, Näsholm A, Dalin G, Philipsson J. Prevalence of clinical findings at examinations of young Swedish warmblood riding horses. *Acta Vet Scand* 2013; 55(1):34.
13. Ask K, Andersen PH, Tamminen L-M, Rhodin M, Hernlund E. Performance of four equine pain scales and their association to movement asymmetry in horses with induced orthopedic pain. *Front Vet Sci* 2022; 9:938022.
14. Lillie AK, Read S, Mallen C, Croft P, McBeth J. Musculoskeletal pain in older adults at the end-of-life: a systematic search and critical review of the literature with priorities for future research. *BMC Palliat Care* 2013; 12(1).
15. Gillsjö C, Nässén K, Berglund M. Suffering in silence: a qualitative study of older adults' experiences of living with long-term musculoskeletal pain at home. *Eur J Ageing* 2021; 18(1):55–63.
16. Levetown M, Reid MC. What is the Role and impact of Osteoarthritis in the realm of Palliative Care? *J Palliat Care* 2014; 30(4):317–20.
17. Rhodin M, Egenvall A, Haubro Andersen P, Pfau T. Head and pelvic movement asymmetries at trot in riding horses in training and perceived as free from lameness by the owner. *PLoS One* 2017; 12(4):e0176253.
18. Müller-Quirin J, Dittmann MT, Roepstorff C, Arpagaus S, Latif SN, Weishaupt MA. Riding Soundness-Comparison of Subjective With Objective Lameness Assessments of Owner-Sound Horses at Trot on a Treadmill. *J Equine Vet Sci* 2020; 95:103314.
19. Mathew PJ, Mathew JL. Assessment and management of pain in infants. *Postgrad Med J* 2003; 79(934):438–43.
20. Arendt-Nielsen L. Evaluation of Pain in Humans. In: Gebhart GF, Schmidt RF, editors. *Encyclopedia of Pain*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 1204–16.
21. Carvalho JRG, Trindade PHE, Conde G, Antonioli ML, Funniceilli MIG, Dias PP et al. Facial Expressions of Horses Using Weighted Multivariate Statistics for Assessment of Subtle Local Pain Induced by Polylactide-Based Polymers Implanted Subcutaneously. *Animals (Basel)* 2022; 12(18).

22. Ashley FH, Waterman-Perason AE, Whay HR. Behavioural assessment of pain in horses and donkeys: application to clinical practice and future studies. *Equine Vet J* 2005; 37(6):565–75.
23. Kunz M, Lautenbacher S, LeBlanc N, Rainville P. Are both the sensory and the affective dimensions of pain encoded in the face? *PAIN* 2012; 153(2):350–8. Available from: URL: https://journals.lww.com/pain/fulltext/2012/02000/are_both_the_sensory_and_the_affective_dimensions.16.aspx.
24. Price J, Catriona S, Welsh EM, Waran NK. Preliminary evaluation of a behaviour-based system for assessment of post-operative pain in horses following arthroscopic surgery. *Vet Anaesth Analg* 2003; 30(3):124–37.
25. Ijichi C, Collins LM, Elwood RW. Pain expression is linked to personality in horses. *Applied Animal Behaviour Science* 2014; 152:38–43.
26. Dalla Costa E, Minero M, Lebelt D, Stucke D, Canali E, Leach MC. Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a pain assessment tool in horses undergoing routine castration. *PLoS One* 2014; 9(3):e92281.
27. Glerup KB, Lindegaard C. Recognition and quantification of pain in horses: A tutorial review. *Equine Veterinary Education* 2016; 28(1):47–57.
28. Auer U, Kelemen Z, Engl V, Jenner F. Activity Time Budgets-A Potential Tool to Monitor Equine Welfare? *Animals (Basel)* 2021; 11(3).
29. Bussi res G, Jacques C, Lainay O, Beauchamp G, Leblond A, Cador  J-L et al. Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Res Vet Sci* 2008; 85(2):294–306.
30. Muir WW. Pain: mechanisms and management in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2010; 26(3):467–80.
31. Cortelli P, Giannini G, Favoni V, Cevoli S, Pierangeli G. Nociception and autonomic nervous system. *Neurol Sci* 2013; 34 Suppl 1:S41-6.
32. Huang M, Fu C, Chui L, He J, Wang X, Luo J et al. An AI recognition method for children's clinical operative pain by skin potential (SP) signal. *Heliyon* 2025; 11(1):e41558.
33. Li Y, He J, Fu C, Jiang K, Cao J, Wei B et al. Children's Pain Identification Based on Skin Potential Signal. *Sensors (Basel)* 2023; 23(15).

34. Dullen D, Zieske L, Mohanty M. Observational Study Monitoring Pain in 25 Dogs Comparing Novel Non-Invasive Device and Veterinary Diagnosis to Differentiate Location and Magnitude of Pain. In: Pain in Animals Workshop 2017: Abstracts. Schattauer GmbH; 2017 (Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology).
35. Parkes RSV, Weller R, Groth AM, May S, Pfau T. Evidence of the development of 'domain-restricted' expertise in the recognition of asymmetric motion characteristics of hindlimb lameness in the horse. *Equine Vet J* 2009; 41(2):112–7.
36. S Witte. Objektive Messungen bei Lahmheitsuntersuchungen in der Pferdepraxis: Anwendung und Interpretation. *Der Praktische Tierarzt* 2023:858–73.
37. Lawin FJ, Byström A, Roepstorff C, Rhodin M, Almlöf M, Silva M et al. Is Markerless More or Less? Comparing a Smartphone Computer Vision Method for Equine Lameness Assessment to Multi-Camera Motion Capture. *Animals (Basel)* 2023; 13(3).
38. IASP. International Association for the study of Pain. Available from: URL: <https://www.iasp-pain.org/>.
39. Ashburn MA, Staats PS. Management of chronic pain. *The Lancet* 1999; 353(9167):1865–9.
40. Juarbe-Díaz SV, Houpt KA, Kusunose R. Prevalence and characteristics of foal rejection in Arabian mares. *Equine Vet J* 1998; 30(5):424–8.
41. Fureix C, Menguy H, Hausberger M. Partners with bad temper: reject or cure? A study of chronic pain and aggression in horses. *PLoS One* 2010; 5(8):e12434.
42. Ross MW, Dyson SJ. *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. Elsevier Health Sciences; 2010.
43. Torcivia C, McDonnell S. Equine Discomfort Ethogram. *Animals* 2021; 11(2):580. Available from: URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/2/580>.
44. Sutton GA, Dahan R, Turner D, Paltiel O. A behaviour-based pain scale for horses with acute colic: scale construction. *Vet J* 2013; 196(3):394–401.
45. Kennedy RS. The challenge of assessing dental pain in horses. *Vet Rec* 2025; 196(3):111–3. Available from: URL: <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/the-challenge-of-assessing-dental-pain-in-horses>.

46. Ladewig J, McLean AN, Wilkins CL, Fenner K, Christensen JW, McGreevy PD. A review of The Ridden Horse pain Ethogram and its potential to improve ridden horse welfare. *Journal of Veterinary Behavior* 2022; 54:54–61.
47. Grauw JC de, van Loon JPAM. Systematic pain assessment in horses. *Vet J* 2016; 209:14–22.
48. Cowen R, Stasiowska MK, Laycock H, Bantel C. Assessing pain objectively: the use of physiological markers. *Anaesthesia* 2015; 70(7):828–47.
49. Molony V, Kent JE. Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. *J Anim Sci* 1997; 75(1):266–72.
50. Taylor PM, Pascoe PJ, Mama KR. Diagnosing and treating pain in the horse. Where are we today? *Vet Clin North Am Equine Pract* 2002; 18(1):1-19, v.
51. Daglish J, Mama KR. Pain: Its Diagnosis and Management in the Rehabilitation of Horses. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2016; 32(1):13–29.
52. Auer U, Kelemen Z, Vogl C, Ritgen S von, Haddad R, Torres Borda L et al. Development, refinement, and validation of an equine musculoskeletal pain scale. *Front Pain Res (Lausanne)* 2023; 4:1292299.
53. van Loon JPAM, Macri L. Objective Assessment of Chronic Pain in Horses Using the Horse Chronic Pain Scale (HCPS): A Scale-Construction Study. *Animals (Basel)* 2021; 11(6).
54. Kappesser J. The facial expression of pain in humans considered from a social perspective. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2019; 374(1785):20190284.
55. Prkachin KM, Mercer SR. Pain expression in patients with shoulder pathology: validity, properties and relationship to sickness impact. *PAIN* 1989; 39(3):257–65.
56. Glerup KB, Forkman B, Lindegaard C, Andersen PH. An equine pain face. *Vet Anaesth Analg* 2015; 42(1):103–14.
57. Sotocinal SG, Sorge RE, Zaloum A, Tuttle AH, Martin LJ, Wieskopf JS et al. The Rat Grimace Scale: a partially automated method for quantifying pain in the laboratory rat via facial expressions. *Mol Pain* 2011; 7:55.
58. Keating SCJ, Thomas AA, Flecknell PA, Leach MC. Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: changes in physiological, behavioural and facial expression responses. *PLoS One* 2012; 7(9):e44437.

59. Evangelista MC, Watanabe R, Leung VSY, Monteiro BP, O'Toole E, Pang DSJ et al. Facial expressions of pain in cats: the development and validation of a Feline Grimace Scale. *Sci Rep* 2019; 9(1):19128.
60. Langford DJ, Bailey AL, Chanda ML, Clarke SE, Drummond TE, Echols S et al. Coding of facial expressions of pain in the laboratory mouse. *Nat Methods* 2010; 7(6):447–9.
61. van Loon JPAM, van Dierendonck MC. Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A scale-construction study. *Vet J* 2015; 206(3):356–64.
62. Kil N, Ertelt K, Auer U. Development and Validation of an Automated Video Tracking Model for Stabled Horses. *Animals* 2020; 10(12).
63. McLennan K, Mahmoud M. Development of an Automated Pain Facial Expression Detection System for Sheep (*Ovis Aries*). *Animals* 2019; 9(4).
64. Hernandez-Avalos I, Mota-Rojas D, Mora-Medina P, Martínez-Burnes J, Casas Alvarado A, Verduzco-Mendoza A et al. Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats. *Int J Vet Sci Med* 2019; 7(1):43–54.
65. Hernández-Avalos I, Mota-Rojas D, Mendoza-Flores JE, Casas-Alvarado A, Flores-Padilla K, Miranda-Cortes AE et al. Nociceptive pain and anxiety in equines: Physiological and behavioral alterations. *Vet World* 2021; 14(11):2984–95.
66. Parasympathetic System. Available from: URL: <https://www.price-pottenger.org/pdfs/p066a.pdf>.
67. Paola G, Rachel BC, Bernd D. A pilot study on skin potential recordings as a measure of nociception in pain-free dogs and humans, and in dogs with persistent pain. *Acta Veterinaria* 2018; 68(1):43–54.
68. BiotechIT, editor. PainTraceWeb.
69. D'Angelo D. Computer-compatible, portable method of measuring Skin Potential (SP) as a correlate of chronic pain - a case report. *The Journal of Pain* 2007; 8(4):S74. Available from: URL: [https://www.jpain.org/article/s1526-5900\(07\)00390-2/fulltext](https://www.jpain.org/article/s1526-5900(07)00390-2/fulltext).

70. Ngeow J, Wang D, Burke J. Assessing post-surgical pain and pain relief by measuring skin potential assymetry in a non-verbal (equine) population. *The Journal of Pain* 2007; 8(4):S74. Available from: URL: [https://www.jpain.org/article/s1526-5900\(07\)00389-6/fulltext](https://www.jpain.org/article/s1526-5900(07)00389-6/fulltext).
71. Dyson S. Can lameness be graded reliably? *Equine Vet J* 2011; 43(4):379–82.
72. Keegan KG. Evidence-based lameness detection and quantification. *Veterinary Clinics: Equine Practice* 2007; 23(2):403–23.
73. Sleip, editor. Get ready to Sleip: Quick guide on how to record with the sleip app.
74. Bonitz Alexander. Beschreibung des klinischen Einsatzes des PainTrace®-Geräts zur objektiven Quantifizierung von akuten und chronischen Schmerzen bei Pferden [Diplomarbeit]. Veterinärmedizinische Universität Wien; 2023.
75. Heller PH, Perry F, Naifeh K, Gordon NC, Wachter-Shikura N, Levine J. Cardiovascular autonomic response during preoperative stress and postoperative pain. *PAIN* 1984; 18(1):33–40.
76. Dyson S. Recognition of lameness: man versus machine. *Vet J* 2014; 201(3):245–8.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Equine Musculoskeletal Pain Scale nach Auer et al. (2024) (52).....	8
Abbildung 2: HCPS nach van Loon et al. (2021) (53).....	10
Abbildung 3: Horse Grimace Scale von Dalla Costa et al. (2014) (26).....	12
Abbildung 4: Pferd mit Pain Face (a) im Vergleich zu einem nichtschmerzhaften Pferd (b) (56).....	13
Abbildung 5: Equine Utrecht University Scale für Facial Assessment of Pain von van Loon et al. (2017) (61).....	14
Abbildung 6: Beispiel einer graphischen Darstellung einer Messung mit dem PainTrace®-Gerät. Ein positiver Ausschlag weist in der Regel nicht auf Schmerz hin, sondern kann durch emotionale Zustände wie Angst, Aufregung oder Freude verursacht werden. Ein negativer Ausschlag spricht für akuten Schmerz, während eine dauerhaft negative Baseline auf chronische Schmerzen hindeuten kann (68).....	16
Abbildung 7: Beispiel einer PainTrace®-Messung eines nicht schmerzhaften Pferdes: positive Basislinie bereits zu Messbeginn und im weiteren Verlauf keine negativen Ausschläge bzw. Peaks, die auf akuten Schmerz hindeuten würden.....	16
Abbildung 8: Beispiel einer PainTrace®-Messung eines chronisch schmerzhaften Pferdes: negative Basislinie bereits zu Beginn der Messung mit weiterem Abfall im Verlauf der weiteren Untersuchung, inklusive eines akuten Schmerzpeaks (rot) bei der Manipulation der linken Hintergliedmaße.....	17
Abbildung 9: AAEP-Lahmheitsgrade nach Keegan S. et al.(71).....	18
Abbildung 10: Beispiel einer korrekten Aufnahme mittels Sleip®-App.....	19
Abbildung 11: Beispiel einer Lahmheitsanalyse mit der Sleip®App (73) oben links ist die Anzahl der Schritte angegeben, die für die Datenanalyse verwendet wurden - in diesem Beispiel sind das 38 Schritte für die Vorderbeine und 19 für die Hinterbeine. In der darunterliegenden Grafik zeigen die violetten Linien die Auf- und Abbewegung des Kopfes (für die Vorderbeine), die blauen Linien zeigen die Bewegung der Hüfthöcker (für die Hinterbeine). Mit Hilfe der Linien kann die App genau erkennen, ob eine Lahmheit vorliegt und wie stark sie ist. Die Farben der Beine zeigen an, ob eine Lahmheit vorhanden und wenn ja, wie stark ausgeprägt sie ist: grün = lahmfrei, grau = geringgradig, gelb = geringgradig-mittelgradig, orange = mittelgradig-hochgradig und rot = hochgradig. Die Pfeile an den Beinen zeigen, in welcher Bewegungsphase das Problem liegt: (↑) bedeutet eine Störung beim Abstoßen der Gliedmaße vom Boden, (↓) bedeutet eine Störung beim Aufsetzen, (↕) bedeutet, dass sowohl Abstoßen als auch das Aufsetzen betroffen sind.....	20
Abbildung 12: Messstelle für die Elektroden adaptiert nach Popesko (76).....	22
Abbildung 13: Beispiel für die korrekte Platzierung der Elektroden für die Messung mit dem PainTrace®-Gerät	23
Abbildung 14: Kalibrierung des PainTrace-Gerätes (70).....	24
Abbildung 15: Beispiel einer PainTrace®-Messung mit Beschriftungen der einzelnen Messzeitpunkte: Start: Start der Messung, Kili: Kalibrierung links, Kire: Kalibrierung rechts, Beginn Untersuchung: Koli: Kopf nach links, Kore:	

<i>Kopf nach rechts, Rü: Rücken palpieren, Vore: Beugen rechtes Vorderbein, Vorli: Beugen linkes Vorderbein, Hire: Beugen rechtes Hinterbein, Hili: Beugen linkes Hinterbein, Bew: kurze Strecke in Schritt führen, Ende der Untersuchung.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 16: MPS- und AAEP-Scores bei den Pferden der CS-Gruppe; jeder Balken entspricht einem individuellen Pferd.....</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 17 Vergleich der Baseline-Werte zu bestimmten Messzeitpunkten zwischen chronisch schmerzhaften (CS) und nicht schmerzhaften (NS) Von links nach rechts in folgender Reihenfolge: Baseline Start (BS), Baseline nach Kalibration (BnK), Baseline Start der Untersuchung (BSU), Baseline Ende der Untersuchung (BEU), Baseline am letzten Messpunkt (BLM).....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 18: Vergleich der Mittelwerte der Differenzwerte zwischen CS und NS-Gruppe Von links nach rechts in folgender Reihenfolge: Delta Start der Untersuchung bis Ende der Untersuchung (ΔSUE), Delta Start bis letzten Messpunkt (ΔSLM).....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 19: Korrelation zwischen PainTrace® mit MPS.....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 20: Heatmap der Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zwischen den vier Bewegungsparametern der Sleip®-App (head impact, head pushoff, hind impact, hind pushoff) und den PainTrace®-Messwerten zu fünf verschiedenen Zeitpunkten (BS, BnK, BSU, BE, BLM). Die Farbintensität spiegelt die Stärke und Richtung des Zusammenhangs wider. Es konnten keine statistisch signifikanten Korrelationen ($p > 0,05$) festgestellt werden.</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 21: Korrelation zwischen dem Differenzwert ΔSLM (Veränderung des PainTrace®-Signals vom Messbeginn bis zum letzten Messpunkt) und den AAEP-Scores.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 22: Paintrace®-Messung bei einem nicht schmerzhaften Pferd, mit unterschiedlich farblich markierten Peaks, die in keinem Zusammenhang mit einer Manipulation standen und daher auch nicht als Schmerz gewertet wurden.....</i>	<i>36</i>

8 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien der unterschiedlichen Studiengruppen.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 2: Übersicht über die Anzahl und das Alter der Pferde.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 3: Übersicht der Mittelwerte der PainTrace®-Baseline-Werte zwischen der CS- und NS-Gruppe.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 4: Übersicht der Mittelwerte der Differenz-Werte zwischen der CS- und NS-Gruppe.....</i>	<i>30</i>