

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)

**PainTrace®-Gerät: Bewertung akuter Schmerzen bei Pferden mit Schmerzmedikation
im Vergleich mit zwei unterschiedlichen validierten Schmerzskalen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Inka Victoria Heiss

Wien, im Januar 2025

Betreuer:

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

Abteilung für Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin

Departement für Kleintiere und Pferde

Veterinärmedizinische Universität Wien

Gutachter:

Dr. Marion Mucha, DECVSMR, CVPP, CCRP, CVA

Physikalische Medizin und Rehabilitation

Departement für Kleintiere und Pferde

Veterinärmedizinische Universität Wien

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.

Ich habe die entscheidenden Arbeiten selbst durchgeführt und alle zuarbeitenden Tätigen mit ihrem Beitrag zur Arbeit angeführt.

Die vorliegende Arbeit wurde nicht an anderer Stelle eingereicht oder veröffentlicht.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich bei der Umsetzung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein besondere Dank gilt meiner Betreuerin, Dr. Stephanie von Ritgen, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Ihre fachliche Unterstützung und unermüdlicher Einsatz haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso danke ich meinem Partner für seine tatkräftige Hilfe bei der Durchführung der praktischen Arbeiten – seine Unterstützung war von unschätzbarem Wert.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir stets den Rücken freigehalten und mich während der gesamten Studienzeit bedingungslos unterstützt haben. Euer Vertrauen und eure Unterstützung haben mir den nötigen Raum gegeben, um mich voll und ganz auf das Studium und diese Arbeit zu konzentrieren.

Abstract

Deutsche Version:

In der Veterinärmedizin gibt es bisher keinen universellen Goldstandard zur Schmerzbeurteilung bei Pferden. Stattdessen kommen verschiedene Methoden und Skalen zum Einsatz, die jedoch häufig auf Beobachtungen beruhen und daher subjektiv sowie vom Einschätzungsvermögen des Beobachters abhängig sind.

Das PainTrace®-Gerät misst Hautpotentiale, also elektrischen Spannungsdifferenzen zwischen zwei Punkten auf der Hautoberfläche, welche durch die Aktivität des autonomen Nervensystems beeinflusst werden. Eine erhöhte parasympathische Aktivität führt zu negativen Differenzen, die auf Schmerzen hindeuten. Studien zeigen, dass diese Messungen mit von Patienten angegebenen Schmerzstufen korrelieren.

Zielsetzung dieser Studie war die Evaluierung des PainTrace®-Geräts zur objektiven Beurteilung akuter Schmerzen bei Pferden. Dazu wurden 16 akut schmerzhaft und 16 gesunde Pferde mithilfe der Equine Pain Scale (EPS), der Musculoskeletal Pain Scale (MPS) und des PainTrace®-Geräts untersucht. Die Datenanalyse diente der Unterscheidung zwischen schmerzhaften und schmerzfreien Pferden sowie dem Vergleich der Korrelation zwischen PainTrace®-Messungen und den Ergebnissen beider Schmerzskalen.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede in den PainTrace®-Daten zwischen schmerzhaften und schmerzfreien Pferden und eine Korrelation mit den EPS- und MPS-Werten. Es wurde auch eine starke Korrelation zwischen EPS und MPS festgestellt, obwohl die MPS ursprünglich für chronische Schmerzen entwickelt wurde.

Weitere Studien sind erforderlich, um die PainTrace®-Messmethode zu optimieren und Schwellenwerte für eine zuverlässige Beurteilung akuter Schmerzen bei Pferden zu etablieren.

Abstract

English version:

Currently, there is no universal gold standard for pain assessment in horses. Clinical practice relies on various methods and scales, many of which are subjective and observer-dependent.

The PainTrace® device measures skin potentials, which are influenced by autonomic nervous system activity. Increased parasympathetic activity results in negative differences, indicative of pain. Studies have shown that these measurements correlate with patient-reported pain levels.

This study aimed to evaluate the PainTrace® device as an objective tool for assessing acute pain in horses. Sixteen acutely painful and 16 healthy horses were assessed using the Equine Pain Scale (EPS), the Musculoskeletal Pain Scale (MPS), and the PainTrace® device. Data were analyzed to differentiate between painful and non-painful horses and to compare the correlation of PainTrace® measurements with both pain scales.

Results revealed significant differences in PainTrace® data between painful and non-painful horses, demonstrating a correlation with both EPS and MPS scores. A strong correlation was also observed between the EPS and MPS, despite the MPS being designed for chronic pain.

Further research is needed to optimize the PainTrace® method and establish thresholds for reliable acute pain assessment in horses.

Abkürzungsverzeichnis

AF	Atemfrequenz
AS	akut schmerzhaft
BL	Baseline
C2	zweiter Halswirbel
EPS	Equine Pain Scale
HF	Herzfrequenz
MFPS	multifaktorielle Schmerzskala
MPS	Equine Musculoskeletal Pain Scale
NRS	Numeric Rating Scale
NS	nicht schmerzhaft
SDS	Simple Descriptive Scale
SP	Skin Potential
VAS	Visual Analogue Scale
Δ ML	Delta von Baseline erster Messpunkt bis Baseline letzter Messpunkt
Δ SK	Delta von Baseline Start der Messung bis Baseline nach Kalibrierung
Δ UE	Delta von Baseline Start der Untersuchung bis Baseline Ende der Messung
Δ EL	Delta von Baseline Ende der Messung bis Baseline letzter Messpunkt

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Fragestellung	3
2 Literaturübersicht	5
2.1 Schmerz und Schmerzmessung in der Veterinärmedizin	5
2.2 Vitalparameter und Biomarker zur Schmerzbeurteilung	5
2.3 Schmerzverhalten des Pferdes	6
2.4 Schmerzskalen	6
2.4.1 Einfache Schmerzskalen.....	6
2.4.2 Multifaktorielle Schmerzskalen.....	7
2.5 „Pferde-Schmerzgesicht“	8
2.5.1 Equine Pain Face	8
2.5.2 Horse Grimace Scale	9
2.6 Apparative Schmerzevaluierung.....	11
2.6.1 Hautpotential-Messungen.....	11
2.6.2 PainTrace®-Gerät.....	11
3 Material und Methode.....	14
3.1 Studientiere	14
3.2 Schmerzevaluierung vor Messbeginn.....	14
3.3 Schmerzevaluierung mittels PainTrace®-Gerät	17
3.3.1 Lokalisation der Messstelle	17
3.3.2 Vorbereitung der Messstelle.....	17
3.4 Messung mit dem PainTrace®-Gerät	18
3.4.1 Patientenevaluierung während der Untersuchung	19
3.5 Auswertung der Daten	19

3.5.1 Datenverarbeitung	19
3.5.2 Statistik	20
4 Ergebnisse	21
4.1 Klassifikation der Pferde	21
4.1.1 Schmerzevaluierung mittels EPS und MPS	21
4.2 Vergleich zwischen AS und NS.....	22
4.3 Korrelation zwischen EPS und MPS	23
4.4 Korrelation zwischen EPS/MPS und den PainTrace®-Messpunkten	24
5 Diskussion.....	26
6 Literaturverzeichnis	30
7 Abbildungsverzeichnis	35
8 Tabellenverzeichnis	36

1 Einleitung und Fragestellung

Schmerz wird laut der International Association for the Study of Pain (IASP) als „unangenehmes Sinnesgefühl, das mit einer tatsächlichen oder drohenden Gewebeschädigung verknüpft ist“ definiert [1,2]. Molony und Kent (1997) erweitern diese Definition für die Veterinärmedizin und beschreiben Schmerz als „eine aversive sensorische und emotionale Erfahrung, die das Bewusstsein des Tieres für Schäden oder Bedrohungen der Integrität seines Gewebes darstellt; er verändert die Physiologie und das Verhalten des Tieres, um Schäden zu verringern oder zu vermeiden, die Wahrscheinlichkeit eines Wiederauftretens zu reduzieren und die Genesung zu fördern.“ [3]. Diese erweiterte Definition verdeutlicht, dass Schmerz nicht nur eine physiologische Reaktion darstellt, sondern auch Auswirkungen auf das Verhalten und die Emotionen des Tieres hat.

In der Veterinärmedizin stellt die Schmerzbewertung eine diagnostische und therapeutische Herausforderung dar, insbesondere bei Pferden, die aufgrund ihres natürlichen Verhaltens oft Schmerzsymptome verbergen, um als potentielle Beute nicht verwundbar zu erscheinen [4,5]. Eine zuverlässige Erkennung und Bewertung von Schmerzen ist jedoch unerlässlich, um das Tierwohl zu gewährleisten und eine angemessene Schmerztherapie einzuleiten [5,6,7,8].

In der Humanmedizin ist die Schmerzerfassung unproblematisch, da Patienten verbal über Ort und Intensität des Schmerzes Auskunft geben können. Ashley et al. (2010) formulieren Kriterien für ein ideales Schmerzbewertungssystem, das „linear, gewichtet, schmerzempfindlich, rasse- und speziesspezifisch, wenig beobachterabhängig und wenig anfällig für Fehlinterpretationen“ sein sollte [9]. Derzeit basieren konventionelle Methoden der Schmerzbeurteilung beim Pferd häufig auf der Beobachtung von physiologischen Parametern und Verhaltensänderungen. Diese Verfahren sind subjektiv und unterliegen der individuellen Interpretation des Beobachters [5]. Um diese Subjektivität zu reduzieren, wurden verschiedene standardisierte Schmerzskaleten entwickelt, die eine systematische Erfassung und Bewertung von Schmerzindikatoren ermöglichen [5,10,11,12,13]. Zu den gängigen Instrumenten zählen die Equine Pain Scale (EPS) und die Musculoskeletal Pain Scale (MPS). Während die EPS eine umfassende Bewertung des Schmerzverhaltens bietet [5], wurde die MPS speziell für die Beurteilung chronischer muskuloskelettaler Schmerzen entwickelt [14]. Jede dieser Methoden

weist spezifische Vor- und Nachteile auf und bislang hat sich keine dieser Schmerzskaalen als universeller Goldstandard etabliert [11].

In den letzten Jahren haben apparative Methoden zur Schmerzmessung und -bewertung an Bedeutung gewonnen. Eine vielversprechende Technik ist die Messung von Hautpotential-Unterschieden (SP), die mit schmerzbedingten Veränderungen im autonomen Nervensystem zusammenhängen [15]. Studien zeigen, dass SP-Messungen mit dem subjektiven Schmerzempfinden des Menschen korrelieren und somit eine objektivere Schmerzbeurteilung ermöglichen [16,17]. Das PainTrace®-Gerät kann solche SP-Differenzen erfassen und wurde bereits bei Hunden zur objektiven Schmerzmessung eingesetzt [18].

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Anwendungsmöglichkeiten des PainTrace®-Geräts (BioTraceIT, Philadelphia, PA, USA) zur objektiven Schmerzmessung bei Pferden mit akuten Schmerzen zu evaluieren. Die erhobenen Messdaten werden mit den Ergebnissen der Equine Pain Scale (EPS) und der Musculoskeletal Pain Scale (MPS), zwei validierten Schmerzbewertungsskaalen, analysiert und verglichen. Die Studie soll dazu beitragen, das Wissen über apparative Schmerzmessmethoden in der Veterinärmedizin zu erweitern.

2 Literaturübersicht

2.1 Schmerz und Schmerzmessung in der Veterinärmedizin

Schmerz ist ein komplexes physiologisches und psychologisches Phänomen, das die Lebensqualität erheblich beeinträchtigen kann. In der Veterinärmedizin ist die Schmerzbeurteilung besonders herausfordernd, da Tiere ihre Schmerzen nicht verbal äußern können [4]. Eine umfassende und zuverlässige Schmerzbewertung ist jedoch entscheidend, um das Tierwohl zu sichern und, falls nötig, eine angemessene Schmerztherapie einzuleiten [7,8]. Bedauerlicherweise hat sich bislang kein universeller Goldstandard für die Schmerzerkennung und -bewertung beim Pferd etabliert. Die folgende Literaturübersicht bietet einen Überblick über die aktuell in der Pferdemedizin angewandten Methoden zur Schmerzbewertung.

2.2 Vitalparameter und Biomarker zur Schmerzbeurteilung

Viele Schmerzbewertungssysteme beziehen Vitalparameter ein, wie etwa die Herzfrequenz (HF) und die Atemfrequenz (AF), die routinemäßig gemessen werden. Ihre Aussagekraft ist jedoch umstritten [5,12,13,18,19,20,21], da auch andere Faktoren wie Stress, Dehydration, kardiovaskuläre Störungen, Endotoxämie und die Gabe bestimmter Medikamente die Messwerte beeinflussen können [5]. Aus diesem Grund sind diese Vitalzeichen allein keinen verlässlicher Indikator für Vorhandensein und Intensität von Schmerzen. Eine präzise Schmerzbewertung erfordert daher die Kombination mit anderen diagnostischen Kriterien und Verhaltensbeobachtungen.

Eine invasivere Methode zur Schmerzdiagnostik ist die Bestimmung von Biomarkern im Blut, insbesondere des sogenannten Stresshormons Kortisol. Dieses Hormon wird bei Stress durch die Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse vermehrt ausgeschüttet, wodurch erhöhte Konzentrationen im Serum nachgewiesen werden können. Allerdings wird Kortisol nicht nur als Reaktion auf Schmerz, sondern auf jegliche Form von Stress produziert, wie etwa Veränderungen in der täglichen Routine oder der Umgebung des Individuums. Zudem unterliegt die Kortisolproduktion einem zirkadianen Rhythmus, was die Interpretation der Messwerte erschwert. Aufgrund dieser Einschränkungen in der Auswertbarkeit sowie der invasiven Natur dieser Methode hat sich die Bestimmung von Kortisol als Standardverfahren zur Schmerzbewertung in der klinischen Praxis nicht durchgesetzt [22].

2.3 Schmerzverhalten des Pferdes

Pferde, als Fluchttiere, zeigen häufig keine offensichtlichen Anzeichen von Unwohlsein oder Schmerz, um nicht als schwach und potenzielles Beutetier wahrgenommen zu werden. Dieser evolutionäre Schutzmechanismus erschwert die Schmerzdiagnose, da subtile Anzeichen leicht übersehen werden können [9]. Faktoren wie Stress, Angst, die ungewohnte Umgebung der Klinik, der Einsatz von Schmerzmitteln mit sedativem Effekt oder Opioiden sowie individuelle Verhaltensunterschiede können die Einschätzung des Schmerzverhaltens zusätzlich erschweren [5]. Langfristige Verhaltensbeobachtungen und Videoanalysen können helfen, zuverlässige Schmerzindikatoren zu identifizieren, wie das Zurückziehen in den hinteren Teil der Box, eine allgemeine Reduktion des Sozialverhaltens und Appetitlosigkeit. In einigen Fällen kann Schmerz auch durch verstärktes Verhalten oder sogar aggressive Reaktionen ausgedrückt werden [5,9,10,12,23].

2.4 Schmerzskaalen

Eine ideale Schmerzbewertungsskala sollte „linear, gewichtet, schmerzempfindlich, rasse- und speziesspezifisch, wenig beobachterabhängig und wenig anfällig für Fehlinterpretationen“ sein [9]. Die Umsetzung dieser Anforderung gestaltet sich jedoch äußerst komplex, wie die Vielzahl der existierenden Skalen zur Schmerzerfassung zeigt, welche unterschiedliche Aspekte der Schmerzbewertung abdecken.

2.4.1 Einfache Schmerzskaalen

Eine der am häufigsten verwendeten Methoden in der Humanmedizin ist die Visual Analogue Scale (VAS). Bei dieser Methode markiert der Patient auf einer 100 mm langen Linie den Punkt, der der Schmerzintensität entspricht. Der Abstand zwischen ‚kein Schmerz‘ und der Markierung wird in Millimetern gemessen und quantifiziert so die Schmerzstärke [24].

Ähnlich unkompliziert ist die Numeric Rating Scale (NRS), bei der der Patient eine Zahl zwischen 0 und 10 zur Angabe seiner Schmerzintensität auswählt. Diese Skala ermöglicht eine schnelle und einfache Einschätzung, kann jedoch in der Differenzierung zwischen verschiedenen Schmerzintensitäten weniger präzise sein [25].

Die Simple Descriptive Scale (SDS) bietet eine qualitative Einteilung der Schmerzintensität in Kategorien wie ‚kein Schmerz‘, ‚leichte Schmerzen‘, ‚mäßige Schmerzen‘ und ‚starke

Schmerzen'. Diese Methode ist besonders nützlich für eine schnelle Einschätzung und Verständigung, erfasst jedoch möglicherweise nicht die Nuancen von Schmerzempfindungen [26].

Einfache Schmerzskalen sind oft auf verbale Kommunikation angewiesen und daher für die Anwendung bei Tieren nicht optimal [27]. Zudem erfassen sie meist nur eine Dimension von Schmerz und vernachlässigen andere wichtige Aspekte, wie z.B. die emotionale Komponente.

2.4.2 Multifaktorielle Schmerzskalen

Um die oben genannten Limitationen einfacher Schmerzskalen zu überwinden, wurden multifaktorielle Skalen für die Anwendung beim Pferd entwickelt. Multifaktorielle Schmerzskalen kombinieren mehrere Dimensionen der Schmerzbewertung, einschließlich verhaltensbezogener Indikatoren, die mit Schmerz assoziiert sind. Diese Skalen berücksichtigen verschiedene Aspekte des Schmerzerlebens und bieten eine umfassendere Bewertung, sind jedoch in der Anwendung zeitaufwändiger und erfordern mehr Fachwissen zur Interpretation [14].

Tab. 1 Übersicht über validierte Schmerzskalen bei Pferden [28,29,30]

Name	Autor	Art des Schmerzes	Bewertung des Schmerzgesichts
CPS	Bussi�res et al. (2008) [19], Van Loon et al. (2014) [31]	akute orthopädische Schmerzen, Schmerz nach gastrointestinaler OP	nein
PASPAS	Graubner et al. (2011) [32]	abdominale Schmerzen post-OP	nein
EAAPS	Sutton et al. (2013) [33,34]	akute Kolik	nein
EQUUS-COMPASS	Van Loon & van Dierendonck (2015) [35], van Dierendonck & van Loon (2016) [36]	akute Kolik	nein
EQUUS-FAP	Van Loon & van Dierendonck (2015) [35], van Dierendonck & van Loon (2016) [36]	akute Schmerzen und post-OP	ja

UNESP-Botucatu	Taffarel et al. (2015) [37]	post-Kastration	nein
Equine Pain Scale (EPS)	Gleerup & Lindegaard (2016) [5,38]	klinische Schmerzen	ja
Horse Grimace Scale (HGS)	Dalla Costa et al. (2014) [11], Dalla Costa et al. (2016) [39]	post-Kastration, Hufrehe	ja
FEReq	Mullard et al. (2017) [40]	orthopädische Schmerzen unter Reiter	ja
HCPS	Van Loon & Macri (2021) [41]	chronische Schmerzen	ja
FCPS	Lanci et al. (2022) [42]	Schmerzen bei Fohlen	ja
Equine Musculoskeletal Pain Scale (MPS)	Auer et al. (2023) [14]	chronische orthopädische Schmerzen	ja
R-EOPS	Nannarone et al. (2024) [43]	ophthalmologische Schmerzen	ja

Trotz der Vielzahl validierter Schmerzskaletn in der Pferdemedizin gibt es, aufgrund ihrer Limitationen, bis dato keinen universellen „Goldstandard“ für die Schmerzbewertung. Diese Limitationen sind unter anderem auf die unterschiedlichen Verhaltensweisen, die Vielfalt der Schmerzursachen sowie die subjektive Wahrnehmung der Schmerzintensität durch verschiedene Beobachter zurückzuführen.

2.5 „Pferde-Schmerzgesicht“

Studien haben gezeigt, dass Pferde bei Schmerzen spezifische Veränderungen im Angesicht zeigen, die in der Forschung auch als ‘Schmerzgesicht’ bezeichnet werden. Diese mimischen Merkmale liefern wertvolle Hinweise auf das Vorhandensein und die Intensität von Schmerzen bei Pferden. Allerdings ist auch die Interpretation des Schmerzgesichts zu einem gewissen Grad subjektiv und von der Erfahrung des Beobachters abhängig [5,11,23].

2.5.1 Equine Pain Face

Gleerup et al. beschrieben 2015 das sogenannte Equine Pain Face, mimische Ausdrücke im Gesicht von Pferden, die auf akute Schmerzen hindeuten. Dabei sind diese Ausdrücke nicht konstant vorhanden, sondern ändern sich mit der Reaktion des Pferdes auf seine Umgebung. Typische Schmerzzeichen sind asymmetrisch oder tief gehaltene Ohren, angespannte

Gesichtsmuskulatur, geblähte Nüstern, einen starren Blick und ausgeprägte Linien (Falten) um die Augen-, Nasen- und Maulpartie [38].

2.5.2 Horse Grimace Scale

Im Jahr 2014 entwickelten Dalla Costa et al. die sogenannte „Horse Grimace Scale“ (HGS), eine Skala zur Bewertung des Schmerzgesichts bei Pferden, die auf der Analyse von Videoaufnahmen basiert. Die HGS unterteilt das Gesicht des Pferdes in sechs spezifische Merkmalsbereiche, welche als Schmerzindikatoren dienen: nach hinten gerichtete Ohren, Spannung der Augenlider und der Augenpartie, hervorstehende Kaumuskulatur, sowie angespannte Nüstern- und Kinnpartie (Abb. 1). Für jeden dieser Bereiche wird eine Bewertung von 0 bis 2 Punkten vergeben, abhängig von der Ausprägung des jeweiligen Merkmals. Höhere Punktzahlen weisen auf eine intensivere Ausdrucksform und damit auf eine höhere Schmerzintensität hin [11].

Stiffly backwards ears Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) The ears are held stiffly and turned backwards. As a result, the space between the ears may appear wider relative to baseline.	Orbital tightening Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) The eyelid is partially or completely closed. Any eyelid closure that reduces the eye size by more than half should be coded as "obviously present" or "2".
Tension above the eye area Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) The contraction of the muscles in the area above the eye causes the increased visibility of the underlying bone surfaces. If temporal crest bone is clearly visible should be coded as "obviously present" or "2".	Prominent strained chewing muscles Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) Straining chewing muscles are clearly visible as an increase tension above the mouth. If chewing muscles are clearly prominent and recognizable the score should be coded as "obviously present" or "2".
Mouth strained and pronounced chin Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) Strained mouth is clearly visible when upper lip is drawn back and lower lip causes a pronounced "chin".	Strained nostrils and flattening of the profile Not present (0) Moderately present (1) Obviously present (2) Nostrils look strained and slightly dilated, the profile of the nose flattens and lips elongate.

Abb. 1 Horse Grimace Scale nach Dalla Costa et al. 2014 [11]

2.6 Apparative Schmerzevaluierung

2.6.1 Hautpotential-Messungen

Die Haut fungiert als elektrischer Leiter, wodurch Spannungsdifferenzen zwischen zwei Punkten auf der Hautoberfläche ohne externen Stromfluss messbar sind. Diese Spannungsunterschiede, die als Skin Potentials (SP) bezeichnet werden, entstehen durch die unterschiedliche Aktivität des Sympathikus und Parasympathikus im autonomen Nervensystem (ANS) [18]. Die Humanmedizin verwendet die SP-Messung unter anderem, um die Funktionalität des ANS zu prüfen. Der sympathische Impuls führt dazu, dass Schweißdrüsen mit elektrolyt-reichem Sekret gefüllt werden, was die Leitfähigkeit der Haut erhöht [44]. Im gesunden Zustand dominiert die sympathische Aktivität, was zu einer positiven Spannung auf der Hautoberfläche führt. Schmerzen, Stress oder starke emotionale Erregung aktivieren das sympathische Nervensystem, was sich in einer weiteren Erhöhung des Hautpotentials äußert. Chronische Schmerzen und Beschwerden verursachen eine Verschiebung des Gleichgewichts hin zu einer erhöhten parasympathischen Aktivität, was zu negativen Spannungsdifferenzen führt [18,45].

Die Hautpotentialmessung ist eine nicht-invasive Methode zur Erfassung der Aktivität des autonomen Nervensystems. Sie kann daher genutzt werden, um physiologische Reaktionen auf verschiedene Stimuli, einschließlich Schmerzen, zu messen. In der Humanmedizin wird die Hautpotentialmessung bereits seit längerem zur Schmerzbeurteilung eingesetzt, insbesondere bei Patienten, die sich verbal nicht äußern können, wie z.B. Kleinkinder oder Demenzpatienten [45]. In der Tiermedizin steht die Methode noch am Anfang, es gibt aber zunehmend Studien, die das Potential der Hautpotentialmessung zur objektiven Schmerzbeurteilung bei Tieren aufzeigen [18,46].

2.6.2 PainTrace®-Gerät

Das PainTrace®-Gerät ist ein kommerziell erhältliches Messgerät, das die Hautpotentialdifferenz erfasst und zur objektiven Schmerzmessung bei Tieren eingesetzt werden kann. Obwohl das Gerät bereits 2005 von Giordano et al. in einer Studie zur Schmerzerkennung und -messung bei Hunden beschrieben wurde, gibt es bis dato nur eine Diplomarbeit zur praktischen Anwendung dieses Geräts bei Pferden [46].

Das PainTrace®-Gerät besteht aus einem kleinen, tragbaren Sensor, der über Kabel mit zwei Elektroden verbunden ist. Die Elektroden werden auf der Hautoberfläche des Tieres platziert, wobei die genaue Position von der Tierart und der Fragestellung abhängt. Der Sensor misst die Spannungsdifferenzen zwischen den beiden Elektroden und überträgt die Daten drahtlos via Bluetooth an eine App auf einem Tablet. Diese App zeigt die Messdaten in Echtzeit als Graph an und ermöglicht die Speicherung und Analyse der Daten.

Der Hersteller gibt an, dass das PainTrace®-Gerät in der Lage sei, sowohl akute als auch chronische Schmerzen zu erkennen. Akute Schmerzen sollen sich in Form von negativen Peaks im Graphen widerspiegeln, während chronische Schmerzen mit einem kontinuierlichen Abfall der Baseline assoziiert sind. Die Höhe der Peaks und der Abfall der Baseline sollen die Intensität des Schmerzes widerspiegeln (Abb. 2).

Diese Möglichkeit zur Differenzierung zwischen akuten und chronischen Schmerzen stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Schmerzevaluierung dar und könnte dazu beitragen, die Therapieansätze in der Veterinärmedizin zu optimieren.

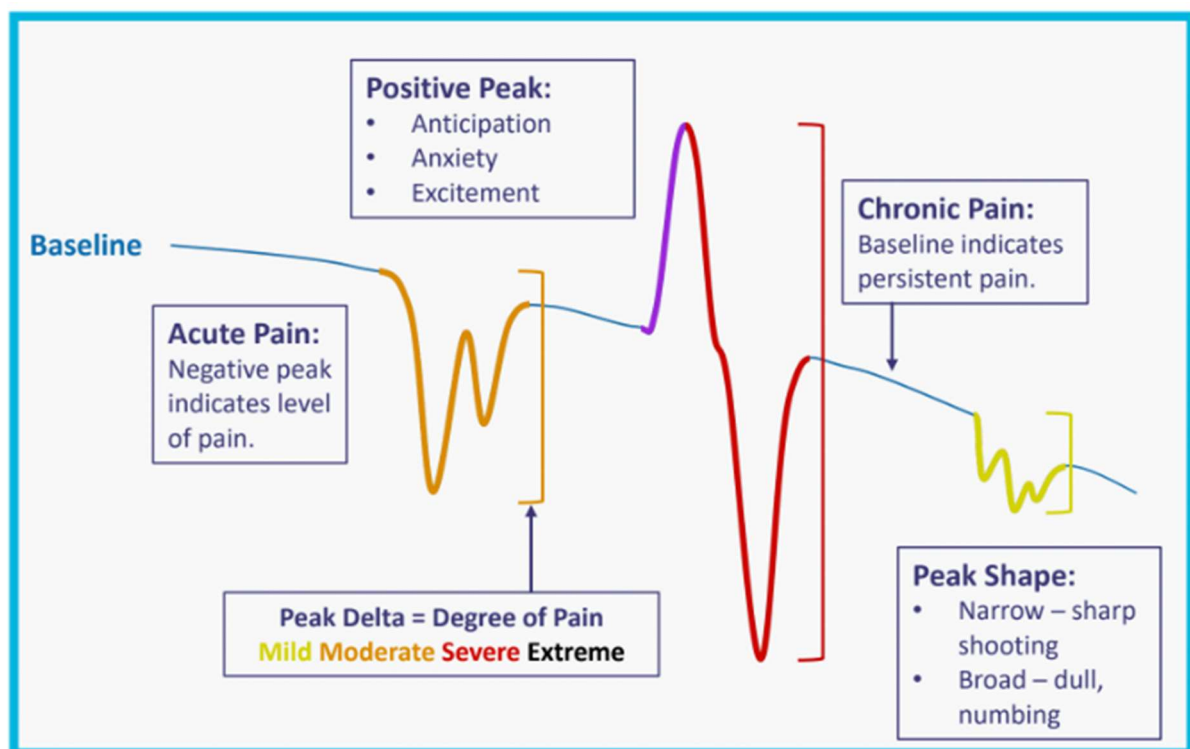


Abb. 2 Beispiel eines PainTrace®-Graphen mit detaillierter Beschreibung der möglichen Veränderungen [47]

Bisherige Studien zur Anwendung von PainTrace® bei Pferden sind noch begrenzt. Bis dato wurde das Gerät u.a. beim Menschen, Hunden und Pferden eingesetzt [18,45]. Beim Menschen korrelieren die mit PainTrace® gemessenen Schmerz-Biosignale in hohem Maße mit den Schmerzwerten, die von menschlichen Probanden verbal mit Hilfe der traditionellen visuellen Analogskala von 1–10 angegeben werden [16,17]; bei Hunden ist die Korrelation nicht eindeutig [15]. Eine weitere Studie konnte zeigen, dass das Gerät in der Lage ist, zwischen chronisch schmerzhaften und nicht-schmerzhaften Pferden zu unterscheiden [46]. Weitere Studien sind jedoch notwendig, um die Validität und Reliabilität des Geräts zur Schmerzbeurteilung bei Pferden zu bestätigen. Allerdings könnte diese innovative Technologie die objektive Schmerzbewertung bei Pferden erheblich verbessern, indem sie kontinuierliche und präzise Daten liefert, die über die traditionellen, subjektiven Methoden hinausgehen [18].

3 Material und Methode

Das Studienprotokoll wurde von der Ethik- und Tierschutzkommission (ETK) genehmigt. Nach einer ausführlichen Erläuterung der Studie wurde das schriftliche Einverständnis der Pferdebesitzer eingeholt.

3.1 Studientiere

Insgesamt wurden 32 Pferde in die Studie eingeschlossen. 16 Pferde wurden als akut schmerzhaft klassifiziert (siehe 3.2 ‚Schmerzevaluierung vor Messbeginn‘) und 16 gesunde, nicht schmerzhaft Pferde dienten als Vergleichsgruppe.

3.2 Schmerzevaluierung vor Messbeginn

Um den Schmerzstatus der Pferde zu erfassen, wurden sie vor der Manipulation in ungestörter Umgebung beobachtet und mittels zweier validierter Schmerzskalen bewertet: der Equine Pain Scale (EPS) und der Equine Chronic Musculoskeletal Pain Scale (MPS).

Die EPS ist eine umfassende Schmerzskala, die verschiedene Faktoren berücksichtigt (Abb. 3). Sie bewertet Schmerzverhalten, Aktivitätsniveau, Position in der Box, Haltung, Gemütszustand, Gewichtsverlagerung, Kopfposition und -bewegung, Aufmerksamkeit auf die schmerzhaft Stelle sowie interaktives Verhalten und Appetit. Die Skala umfasst neun Kriterien, für die jeweils 0–4 Punkte vergeben werden, was zu einem maximalen Schmerzscore von 30 Punkten führt [5].

Bei der MPS werden insgesamt sieben Aspekte beurteilt: Bewusstseinszustand, Schmerzgesicht, Relation der Kopfhöhe zum Widerrist, Körperhaltung in Ruhe, Belastung und Gewichtsverlagerung und, falls das Pferd in Bewegung ist, Lahmheit (Abb. 4). Die Schmerzintensität wird anhand eines numerischen Bewertungssystems eingestuft (0, 2 oder 4 Punkte), mit einem Maximum von 26 Punkten. Pferde gelten als nicht schmerzhaft bei einem Score von ≤ 3 , als leicht bis mäßig schmerzhaft bei 4–8 Punkten und als stark schmerzhaft bei ≥ 9 Punkten [14].

Behaviour category	Score				
	0	1	2	3	4
Pain face	No pain face		Pain face present	Intense pain face	
Gross pain behaviour*	None		Occasional		Continuous
Activity	Exploring, attention towards surroundings or resting	No movement		Restless	Depressed
Location in the stall**	At the door watching the environment	Standing in the middle, facing the door	Standing in the middle facing the sides	Standing in the middle facing back or standing in the back	
Posture/weightbearing	Normal posture and normal weight bearing	Foot intermittent of the ground/ occasional weight shift	Pinched (groove between abdominal muscles visible) ¹	Continuously taking foot off the ground and trying to replace it	No weightbearing. Abnormal weight distribution ²
Head position	Foraging, below withers or high	Level of withers	Below withers ³		
Attention towards the painful area	Does not pay attention to painful area		Brief attention to painful area (e.g. flank watching)		Biting, nudging or looking at painful area ⁴ (e.g. flank watching)
Interactive behaviour	Looks at observer or moves to observer when approached	Looks at observer does not move	Does not look at observer or moves away avoids contact	Does not move, not reacting/ introverted	
Response to food	Takes food with no hesitation	Looks at food		No response to food	

Abb. 3 Equine Pain Scale nach Gleerup et al. [5]



Discomfort / Pain score®

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

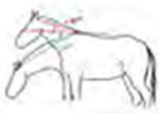
Demeanor (0-2 points)	Bright, alert and responsive: interested in and attentive to surroundings, ears move inquisitively, appropriate interactions with and responses to environmental stimuli e.g., ears moving in response to noises		0
	Quiet, alert and responsive: appropriate interactions with and responses 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

FIGURE 1
Refined musculoskeletal pain scale.

Abb. 4 Discomfort/Pain Score nach Auer et al. [14]

3.3 Schmerzevaluierung mittels PainTrace®-Gerät

3.3.1 Lokalisation der Messstelle

Die Messstelle befindet sich beim Pferd über den Querfortsätzen des zweiten Halswirbels (C2). Zur Lokalisation wird die Hand flach auf den Hals des Pferdes gelegt, die Finger zeigen nach dorsal, der Daumen liegt an der Mandibula (Abb. 5). Bei einem ausgewachsenen Großpferd befindet sich der Ringfinger auf Höhe des C2, bei kleineren Pferden und Ponys der Mittelfinger. Die korrekte Position ist die kleine Grube ventral des M. cleidomastoideus.

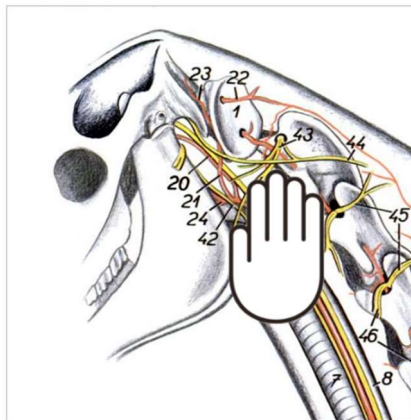


Abb. 5 Auffinden der Messstelle, Bild von Popesko 2007 [48] adaptiert

3.3.2 Vorbereitung der Messstelle

Für eine aussagekräftige Messung wird das Fell an der Messstelle auf einer Fläche von 3×5 cm ausgeschoren und die Haut mit 70%igem Ethanol (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland) gereinigt. Nach dem Trocknen werden die Elektroden (Neonatal/Pediatric Solid Gel Electrode™; Philips Medical Systems, Best, Niederlande) mithilfe eines Klebesprays (Skin Adhesive Spray™; Covertus BV, Cuijk, Niederlande) beidseits symmetrisch platziert. Das PainTrace®-Gerät wird in einer Tasche um den Hals des Pferdes befestigt und über Snap-Kabel mit den Elektroden verbunden (Abb. 6). Das rote Kabel wird rechts, das schwarze auf der linken Halsseite angebracht.



Abb. 6 Beispiel für ein messbereit angebrachtes PainTrace®-Gerät

Nach der Messung werden die Pads abgenommen, zurückbleibende Klebereste mittels Leukotape®Remover (BSN medical GmbH, Hamburg, Deutschland) entfernt und Dexpanthenol (Bepanthen®-Wund- und Heilsalbe; Bayer Austria GmbH, Wien, Österreich) zur besseren Regeneration der Haut aufgetragen.

3.4 Messung mit dem PainTrace®-Gerät

Die vom PainTrace®-Gerät erfassten Daten werden via Bluetooth an die PainTrace®iPad-App übertragen, wo sie in Echtzeit angezeigt und zur späteren Analyse gespeichert werden. Die dazugehörige Software wandelt die Messdaten in eine graphische Darstellung um. Anhand des Graphen werden die Höhe der Baseline, die Ausschläge während der Patientenevaluierung und die Fläche unter dem Graphen beurteilt und analysiert.

Sobald eine stabile Baseline vorhanden ist, wird das Gerät kalibriert, indem mit einem zeitlichen Abstand von 30 Sekunden auf die Elektroden gedrückt wird. Dies erzeugt zwei Peaks im Diagramm. Bei korrekter Anbringung und Messung zeigt der Graph je einen positiven und negativen Ausschlag. Ist dies nicht der Fall, wird der Sitz der Elektroden überprüft und bei Bedarf angepasst. Fehlerquellen können sein: ungenügende Rasur, Ablösung des Klebers, Hautveränderungen an der Messstelle oder falsche Platzierung der Pads.

3.4.1 Patientenevaluierung während der Untersuchung

Nach der Kalibrierung erfolgt die Patientenuntersuchung nach einem standardisierten Verfahren:

1. Der Kopf des Pferdes wird nach rechts und links geführt, sodass der Hals dabei jeweils in beide Richtungen gebeugt wird.
2. Die Rückenlinie wird mit gleichmäßigem, festen Druck abgetastet.
3. Alle Gliedmaßen werden nacheinander für 30 Sekunden in Flexion gehalten.
4. Das Pferd wird zwei Runden in enger Wendung (nach rechts und links) innerhalb der Box geführt.

3.5 Auswertung der Daten

3.5.1 Datenverarbeitung

Die vom PainTrace®-Gerät erfassten Rohdaten werden drahtlos via Bluetooth an die zugehörige PainTrace®-App für iOS übertragen und dort graphisch dargestellt. Nach Abschluss der Messung stehen diese Graphen für die weitere Analyse zur Verfügung.

In der vorliegenden Studie wurden sowohl die Baseline-Werte als auch die Delta-Werte zu definierten Zeitpunkten innerhalb der Messung analysiert. Zur Bestimmung der Baseline und zur Berechnung der Delta-Werte wurden in der graphischen Darstellung der Messdaten verschiedene Zeitpunkte markiert: Beginn der Messung, Kalibrierung, Beginn der einzelnen Untersuchungsschritte sowie das Ende der gesamten Messung (Abb. 7).

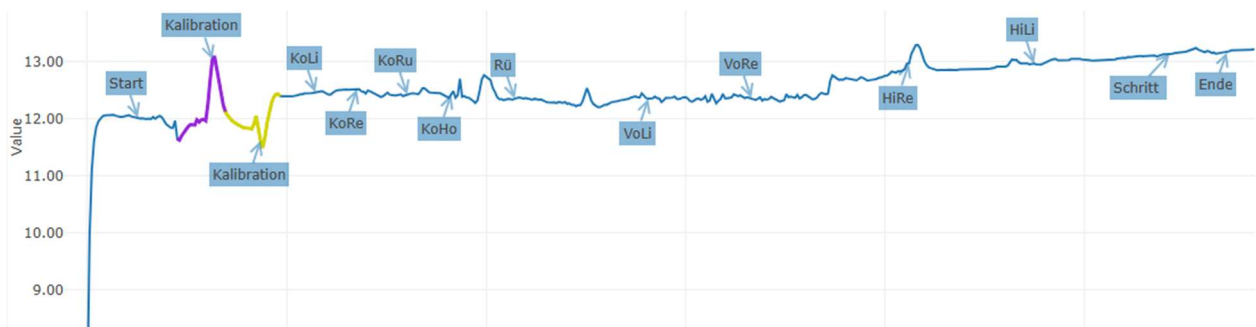


Abb. 7 Beispiel eines fertigen PainTrace® mit Anmerkungen der jeweiligen Übung. Kalibration ist farblich markiert, wird aber nicht als Schmerzpeak gewertet. KoLi: Kopf nach links, KoRe: Kopf nach rechts, KoRu: Kopf runter, KoHo: Kopf hoch, Rü: Rücken durchtasten, VoLi: linkes Vorderbein anheben, VoRe: rechtes Vorderbein anheben, HiRe: rechtes Hinterbein anheben, HiLi: linkes Hinterbein anheben

Da die Graphik keine lineare Baseline zu allen Messpunkten anzeigt, wurde, um eine genauere Bewertung zu gewährleisten, zur Bestimmung der Baseline Start der Messung, Baseline nach Kalibration sowie am Ende der Messung der Mittelwert aus jeweils fünf Datenpunkten bestimmt.

Zusätzlich wurden Delta-Werte für folgende Zeitintervalle berechnet:

1. Von Baseline erster Messpunkt bis Baseline letzter Messpunkt (ΔML),
2. Von Baseline Start der Messung bis Baseline nach Kalibrierung (ΔSK),
3. Von Baseline Start der Untersuchung bis Baseline Ende der Messung (ΔUE),
4. Von Baseline Ende der Messung bis Baseline letzter Messpunkt (ΔEL).

Die Ergebnisse der Equine Pain Scale (EPS) und der Equine Musculoskeletal Pain Scale (MPS) wurden ebenfalls erfasst. Dies ermöglichte den Vergleich der Ausgangswerte der beiden Versuchsgruppen sowie die Korrelation der PainTrace®-Daten mit den EPS- und MPS-Werten.

3.5.2 Statistik

Die statistische Analyse wurde mit NCSS 2020 (Vollversion 20.0.1, NCSS LLC, Utah, USA) und Microsoft Excel (Microsoft® Excel, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) durchgeführt. Zunächst wurden die Daten mittels des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Die Ergebnisse werden als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung oder als Median mit Angabe des Minimums und Maximums dargestellt. Zum Vergleich der PainTrace®-Messungen zwischen schmerzfreien und akut schmerzhaften Pferden wurde ein ungepaarter t-Test verwendet. Die Korrelation zwischen EPS- und MPS-Werten und PainTrace®-Messungen wurde mittels Pearson-Korrelation ermittelt. Für alle Tests wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ angenommen.

4 Ergebnisse

4.1 Klassifikation der Pferde

In dieser Studie wurden 32 Pferde untersucht, die in zwei Gruppen unterteilt wurden: 16 akut schmerzhaft Pferde (AS) und 16 schmerzfreie Pferde als Vergleichsgruppe (NS). Die Pferde der AS-Gruppe wurden aufgrund unterschiedlicher chirurgischer Eingriffe und Erkrankungen vorgestellt:

- Kastration mit skrotalem Zugang: 9 Pferde
- Kastration mit inguinalem Zugang: 2 Pferde
- Kastration mit inguinalem Zugang und abdominalem Kryptorchismus: 3 Pferde
- Spülung einer septischen Bursa subcalcanæa: 1 Pferd
- Akute Augenentzündung: 1 Pferd

Die NS-Gruppe setzte sich aus 16 Pferden ohne bekannte Vorerkrankung zusammen, wobei das Alter der Pferde maximal 20 Jahren betrug, um etwaige chronische Schmerzzustände auszuschließen. Die Altersverteilung der Pferde ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2 Übersicht über die Anzahl und das Alter der untersuchten Pferde

Gruppe	Anzahl der Pferde	Alter (Jahre) Mittelwert	Alter (Jahre) Median	Alter Minimum	Alter Maximum
Akut schmerzhaft (AS)	16	5,3 ± 4,6	3,0	9 Monate	23 Jahre
Nicht schmerzhaft (NS)	16	6,4 ± 3,6	5,6	8 Monate	19 Jahre

4.1.1 Schmerzevaluierung mittels EPS und MPS

Vor Messbeginn wurden alle Pferde mittels EPS und MPS bewertet. Die NS-Gruppe erzielte in beiden Skalen eine Punktzahl (Score) von Null und wurde daher als schmerzfrei eingestuft. Die Scores der AS-Gruppe sind in Abb. 8 dargestellt.

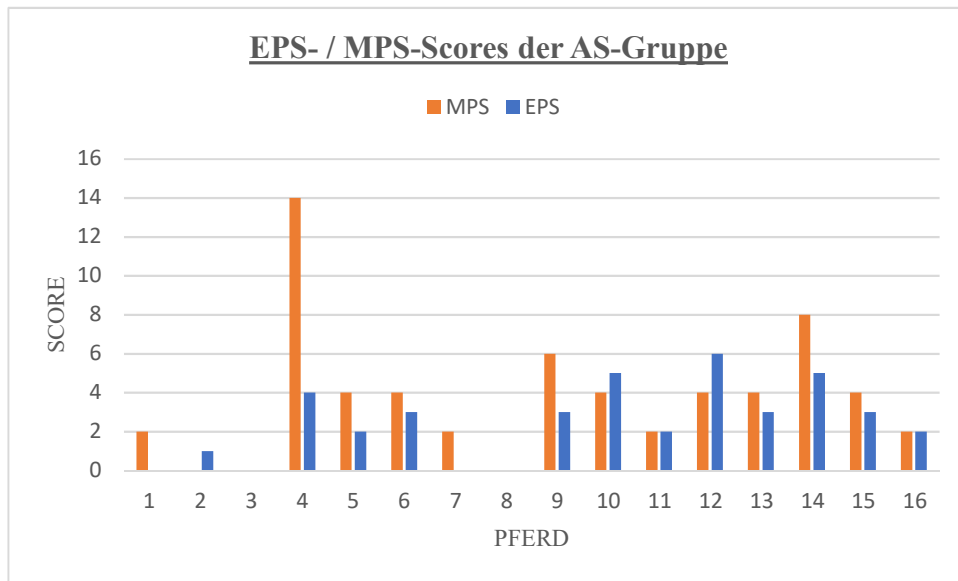


Abb. 8 Score der akut schmerzhaften Pferde (AS) gemäß der Equine Pain Scale (EPS) und der Musculoskeletal Pain Scale (MPS)

4.2 Vergleich zwischen AS und NS

Die Analyse der Mittelwerte der einzelnen Messpunkte (Tab. 3) mittels ungepaartem t-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,0014$) (Abb. 9). Der Vergleich der Delta-Werte ΔUE zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen AS- und NS-Pferden ($p = 0,0035$). Bei den übrigen Delta-Werten wurden keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt.

Tab. 3 Mittelwerte der einzelnen Messpunkte beider Gruppen

Messpunkt	AS	NS
erster Messpunkt	-0,3588	1,5663
Start der Messung	-0,2647	2,4200
vor Kalibrierung	0,0213	2,6456
nach Kalibrierung	0,1247	3,7078
Start der Untersuchung	0,2350	3,8556
Ende der Untersuchung	0,8407	0,9014
letzter Messpunkt	0,9469	1,0806

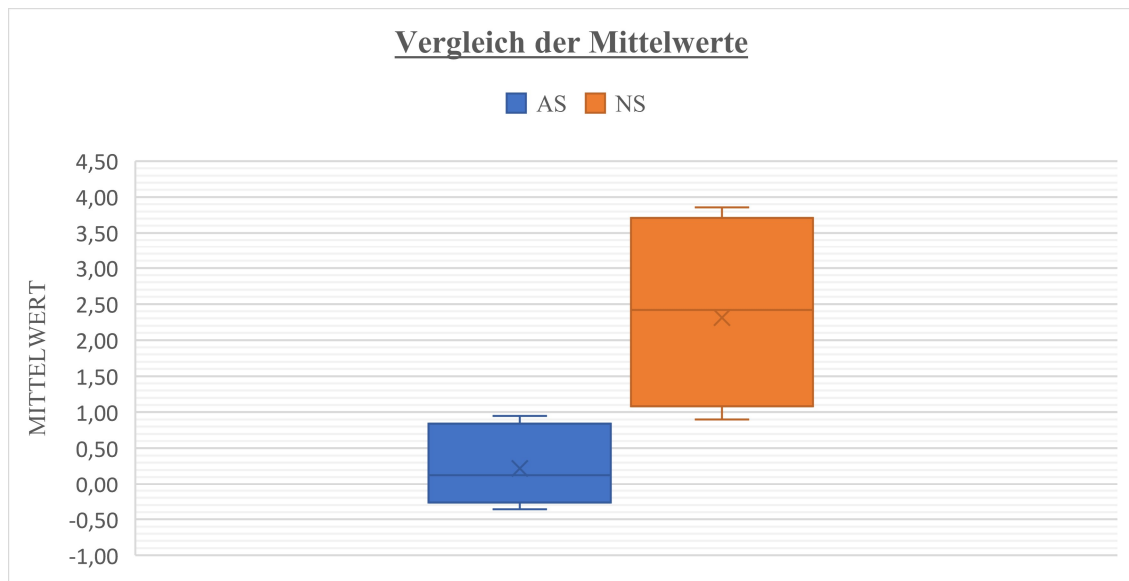


Abb. 9 Vergleich der Mittelwerte der Baseline-Messpunkte zwischen akut schmerzhaften (AS) und nicht-schmerzhaften (NS) Pferden

4.3 Korrelation zwischen EPS und MPS

Die statistische Analyse ergab eine signifikante positive Korrelation zwischen den Scores der EPS und MPS mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,78$ (Abb. 10). Der p-Wert von $p = 1,2E-07$ zeigt ein hoch signifikantes Ergebnis an.

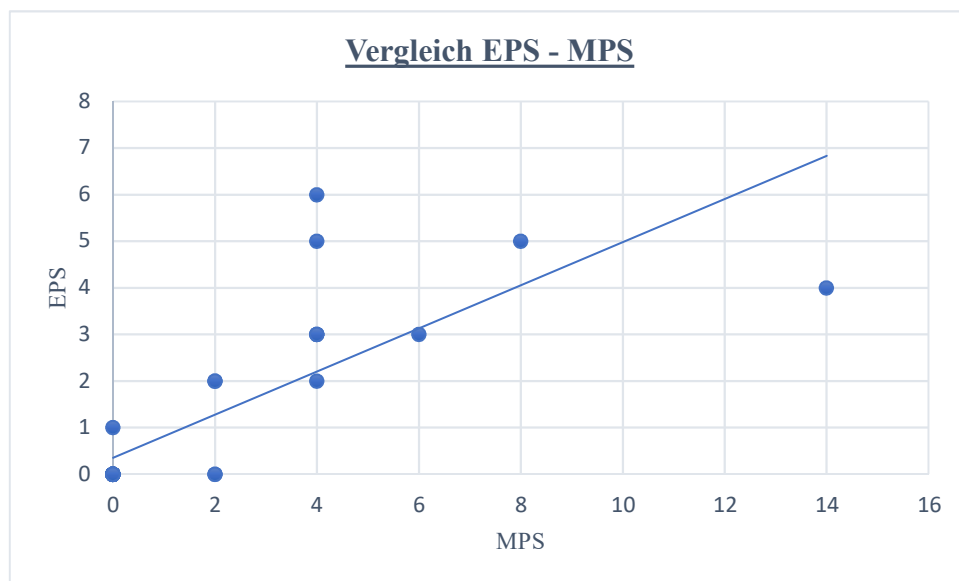


Abb. 10 Vergleich der Scores von EPS und MPS

4.4 Korrelation zwischen EPS/MPS und den PainTrace®-Messpunkten

Die Korrelation der Scores von EPS und MPS zu verschiedenen Messzeitpunkten (Baseline am ersten/letzten Messpunkt, Beginn der Messung, Start/Ende der Untersuchung, vor/nach Kalibrierung) wurde berechnet. Mit Ausnahme der Baseline am Ende der Untersuchung und am letzten Messpunkt zeigte sich für alle Messpunkte eine signifikante negative Korrelation ($p < 0,039$ für MPS und $p < 0,023$ für EPS). Der Korrelationskoeffizient lag zwischen -0,43 und -0,37 (Abb. 11,12).

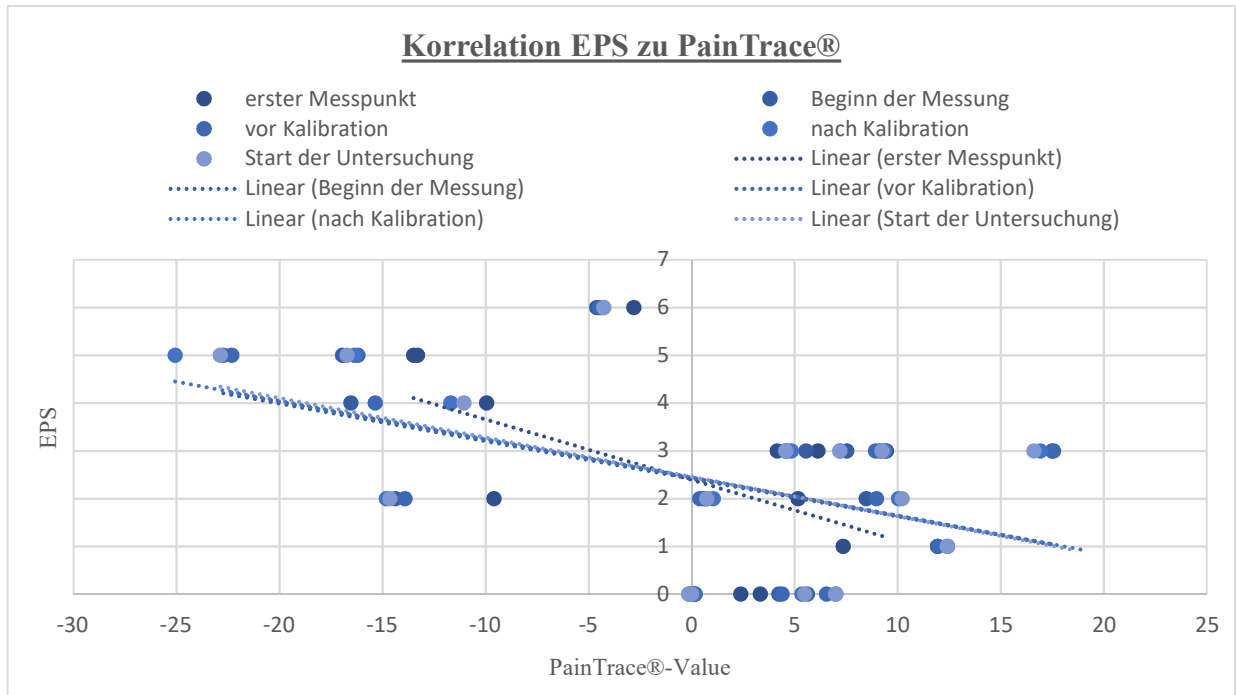


Abb. 11 Korrelation der Scores der Equine Pain Scale (EPS) zu den einzelnen Messpunkten

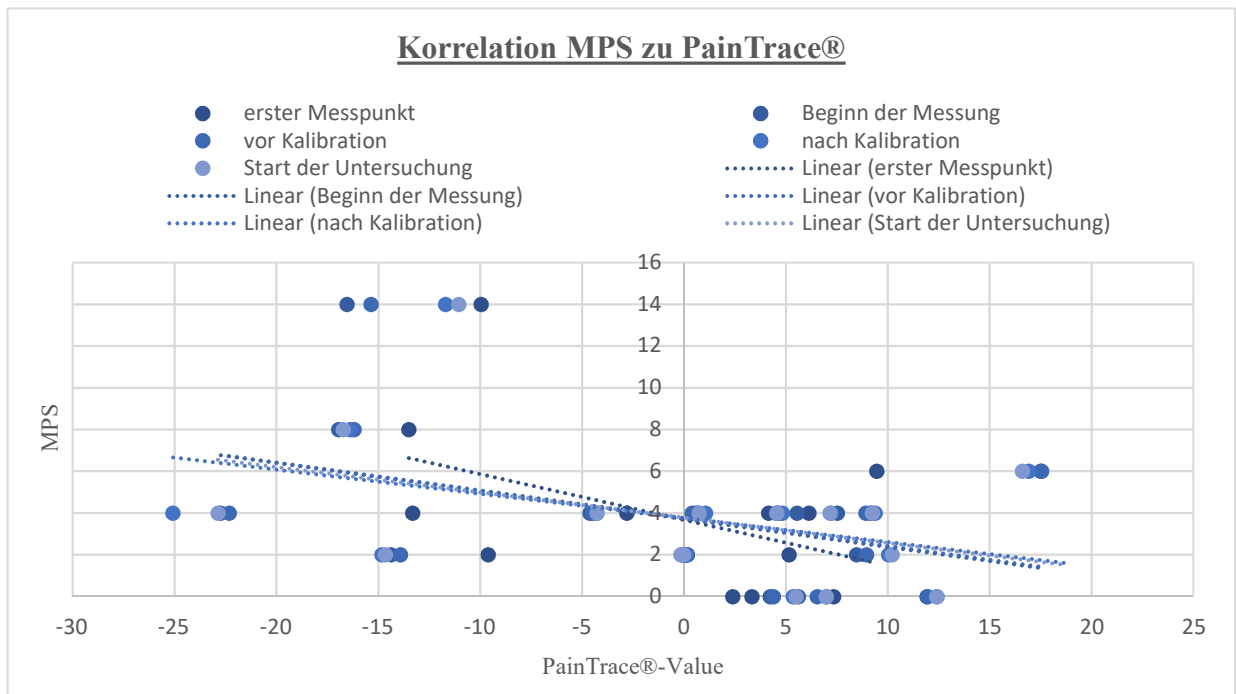


Abb. 12 Korrelation der Scores der Musculoskeletal Pain Scale (MPS) zu den einzelnen Messpunkten

5 Diskussion

Die objektive und zuverlässige Schmerzbewertung bleibt in der Veterinärmedizin, insbesondere bei Pferden, eine große Herausforderung. Für eine adäquate und zielgerichtete Schmerztherapie ist es entscheidend, den Schmerzgrad möglichst zuverlässig und objektiv zu erfassen. Nur so kann eine angemessene Behandlung erfolgen, die das Leiden des Tieres verringert und die Heilungschancen fördert [27]. Die objektive Schmerzbewertung in der Veterinärmedizin ist jedoch, im Vergleich zur Humanmedizin stark eingeschränkt, da unsere Patienten nicht verbal kommunizieren können, um ihr Schmerzempfinden auszudrücken [4]. Pferde, als Flucht- und Beutetiere, neigen zudem dazu, ihr Schmerzverhalten instinktiv zu unterdrücken [5].

Obwohl es keinen universellen Goldstandard für die Schmerzbewertung bei Tieren gibt, haben sich in der Praxis insbesondere beobachtungsbasierte Schmerzskaleten als nützlich erwiesen. Allerdings unterliegen sie einer gewissen Subjektivität, da die Interpretation der beobachteten Symptome stark von der Erfahrung und dem geschulten Auge des jeweiligen Beobachters abhängt [5]. Diese Variabilität zwischen den Beobachtern kann die Zuverlässigkeit der Schmerzbewertung beeinträchtigen, weshalb der Bedarf an zusätzlichen objektiven Messinstrumenten, die das Schmerzverhalten quantitativ erfassen können, groß ist. Apparative Verfahren wie das PainTrace®-Gerät könnten hier eine wertvolle Ergänzung zur konventionellen Schmerzevaluierung sein, da sie Schmerzsignale laut Hersteller präzise und messbar erfassen und so die Schmerzdiagnostik objektiver und standardisierter machen können.

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte einzelner Messpunkte zwischen Pferden, die akut schmerzhaft waren und solchen, die keine Schmerzhaftigkeit aufwiesen. Dieser Unterschied konnte statistisch nachgewiesen werden und deutet darauf hin, dass das PainTrace®-Gerät in der Lage ist, die Schmerzhaftigkeit eines Pferdes nachzuweisen. Darüber hinaus wurde eine negative lineare Korrelation zwischen den Schmerz-Scores und den gemessenen Werten festgestellt. Dies bedeutet, dass höhere Schmerzintensitäten, wie sie durch die Pain Scales angezeigt werden, mit niedrigeren Werten des PainTrace®-Geräts einhergehen. Diese inverse Beziehung lässt darauf schließen, dass das Gerät empfindlich genug ist, um unterschiedliche Schweregrade der Schmerzhaftigkeit zu detektieren und zu quantifizieren.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden mehrere Pferde unterschiedlichen Schmerzgrades sowohl anhand zweier etablierter Schmerzskalen als auch mittels des PainTrace®-Geräts bewertet. Die beiden verwendeten Schmerzskalen, die Equine Pain Scale (EPS) und die Musculoskeletal Pain Scale (MPS), haben sich in der veterinärmedizinischen Praxis als zuverlässige Instrumente zur Erfassung von Schmerzintensität etabliert. Besonders bemerkenswert ist, dass die MPS trotz ihrer ursprünglichen Spezialisierung auf chronische orthopädische Fälle eine hochsignifikante Korrelation mit der EPS, die für die allgemeine Schmerzbeurteilung bei Pferden entwickelt wurde, aufweist. Diese Korrelation deutet darauf hin, dass die MPS nicht nur für chronische, sondern auch für akute Schmerzen eine zuverlässige Einschätzung bieten kann.

Ein weiterer interessanter Befund war der signifikante Unterschied im Delta Δ UE zwischen den untersuchten Gruppen. Dieser Unterschied war der einzige, der eine statistische Signifikanz mit einem p-Wert von $< 0,05$ erreichte. Keines der anderen berechneten Deltas wies eine entsprechende Signifikanz auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine aussagekräftige und zuverlässige Schmerzmessung bei Pferden möglicherweise nur dann erreicht werden kann, wenn die Tiere während der Messung aktive Bewegungen oder Übungen ausführen. Die Erhebung von Daten im Ruhezustand scheint hingegen weniger aufschlussreich zu sein, um differenzierte Aussagen über den Schmerzstatus der Pferde treffen zu können. Dies könnte darauf hindeuten, dass Bewegung Schmerzen deutlicher hervorruft und dadurch messbar macht, was für die Validierung der Messergebnisse von entscheidender Bedeutung ist.

Laut Giordano et al. (2018) ist eine negative Baseline nur dann möglich, wenn der Patient in dem Moment Schmerzen empfindet [18]. Diese Annahme konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, da auch schmerzfreie Pferde teils negative Baseline-Werte aufwiesen. Diese Diskrepanz könnte daran liegen, dass Giordano et al. Hunde über eine Zeit von 90 Sekunden im Ruhezustand gemessen haben und dabei keinerlei Manipulationen an ihnen durchgeführt wurden.

Die Voraussetzung für den praktischen Einsatz des PainTrace®-Geräts ist, dass die Pferde problemlos geschoren werden können, um den Hautkontakt der Elektroden zu verbessern. Zudem müssen sie gut zu handhaben sein, um die erforderlichen Übungen während der Messung durchzuführen und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Bei Aufregung des

Pferdes während der Messung sollte gewartet werden, bis sich wieder eine konstante Baseline etabliert, da Stress sowie übermäßige Kopfbewegung die Messergebnisse verfälschen können. Für die korrekte Anwendung des Geräts in der Praxis sind grundlegende Kenntnisse der Anatomie des Pferdes erforderlich, um die Elektroden an den richtigen Stellen zu platzieren und präzise Messwerte zu gewährleisten. Ein Vorteil des PainTrace®-Geräts besteht darin, dass es nicht ortsgebunden ist und somit flexibel eingesetzt werden kann. Allerdings ist eine konstante Internetverbindung notwendig, um die Daten auszuwerten und die Ergebnisse in Echtzeit zu übermitteln. Die Dauer der einzelnen Messungen ist abhängig von den durchgeführten Übungen. Für diese Studie wurden pro Patient je 8–10 Minuten reine Messzeit benötigt, inklusive Vor- und Nachbereitung dementsprechend länger. Mit einem minimalen Zeitaufwand von 20 Minuten ist die Praxistauglichkeit im Klinikalltag fraglich.

Zudem ist die Hautpotentialmessung anfällig für verschiedene äußere Einflussfaktoren, die das autonome Nervensystem ebenfalls stimulieren können, darunter Stress, Angst oder auch die ungewohnte klinische Umgebung. Diese Effekte können die PainTrace®-Messungen beeinflussen und möglicherweise eine falsche Interpretation des Schmerzzustands verursachen (Abb. 13).

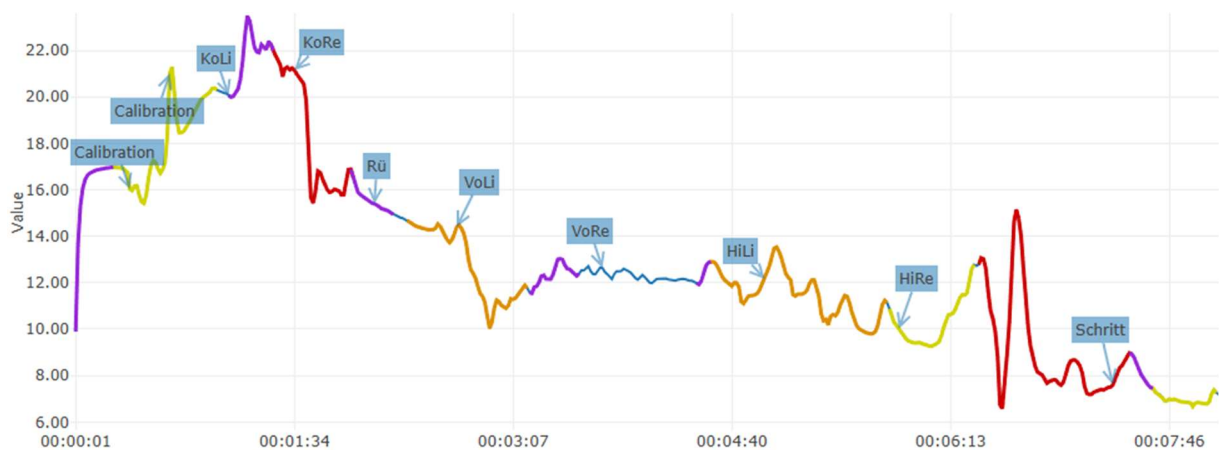


Abb. 13 PainTrace®-Graph eines nicht-schmerzhaften Pferdes mit diversen farblich hinterlegten Ausschlägen ohne Zusammenhang mit Manipulation. Diese ‚Peaks‘ werden somit nicht als Schmerz gewertet.

Ein möglicher Kritikpunkt an der Methodik dieser Studie ist, dass mit den Pferden eine Art orthopädischer Untersuchungsgang durchgeführt wurde. Gemäß den Angaben des Herstellers des PainTrace®-Geräts soll sich akuter Schmerz in einem deutlichen Ausschlag des Graphen widerspiegeln, während chronischer Schmerz durch einen kontinuierlichen Abfall der Baseline angezeigt wird. Diese Herstellerangabe konnte jedoch in der vorliegenden Studie nicht eindeutig bestätigt werden. Ein möglicher Grund hierfür könnte darin liegen, dass die in der Studie untersuchten Tiere keine orthopädischen Patienten waren und demnach möglicherweise eine andere Untersuchungsmethode besser geeignet gewesen wäre. Diese Diskrepanz unterstreicht die Notwendigkeit weiterer, spezialisierter Studien um die unterschiedlichen Schmerzarten bei verschiedenen Arten von Untersuchungen adäquat zu erfassen und zu validieren.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen das Potenzial des PainTrace®-Geräts zur objektiven Schmerzbewertung beim Pferd, verdeutlichen jedoch auch den Bedarf an weiterer Forschung zur Validierung der Methode und Festlegung spezifischer Grenzwerte für akute und chronische Schmerzen. Solche Grenzwerte sind unerlässlich, um eine verlässliche Beurteilung des Schmerzstatus des Pferdes durch das Gerät zu gewährleisten und es als diagnostisches Instrument in der Praxis zu etablieren. Weitere Studien sind erforderlich, um die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und praktische Anwendbarkeit des PainTrace®-Geräts in verschiedenen klinischen Szenarien sowie bei unterschiedlichen Schmerzarten und -intensitäten zu bestätigen. Es bedarf auch größerer Stichproben, um die Robustheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu sichern. Zudem sollten zukünftige Studien prüfen, ob Stressfaktoren und Umgebungsbedingungen durch technische Anpassungen gezielt kontrolliert werden können.

Insgesamt stellt die Studie einen wichtigen Schritt in Richtung apparativer und objektiver Schmerzdiagnostik dar. Die kontinuierliche Weiterentwicklung solcher Messmethoden könnte langfristig einen „Goldstandard“ für die Schmerzbeurteilung bei Pferden schaffen und so das Tierwohl und die Schmerztherapieansätzen in der veterinärmedizinischen Praxis verbessern.

6 Literaturverzeichnis

1. International Association for the Study of Pain. IASP announces revised definition of pain [Internet]. Washington, DC: International Association for the Study of Pain; 2020 [zitiert 25.06.2024]. Verfügbar unter: <https://www.iasp-pain.org/publications/iasp-news/iasp-announces-revised-definition-of-pain/>
2. Raja SN, Carr DB, Cohen M, Finnerup NB et al. The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain*. 2020;161(9):1976–1982. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001939
3. Molony V, Kent J E. Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. *Journal of Animal Science*. 1997;75:266–272. doi: 10.2527/1997.751266x
4. Anil SS, Anil L, Deen J. Challenges of pain assessment in domestic animals. *J Am Vet Med Assoc* 2002; 220(3):313–9. doi: 10.2460/javma.2002.220.313
5. Gleerup KB, Lindegaard C. Recognition and quantification of pain in horses: A tutorial review. *Equine Veterinary Education*. 2015;28(1):47–57. doi: 10.1111/eve.12383
6. Wiese AJ. Assessing Pain. In: Gaynor JS, Muir III WW. *Handbook of Veterinary Pain Management*. 3. Ausgabe. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2015. S. 67–97
7. Bisgaard T, Kehlet H, Rosenberg J. Pain and convalescence after laparoscopic cholecystectomy. *Eur J Surg*. 2001;167(2):84–96. doi: 10.1080/110241501750070510
8. Sellon DC, Roberts MC, Blikslager AT, Ulibarri C, Papich MG. Effects of Continuous Rate Intravenous Infusion of Butorphanol on Physiologic and Outcome Variables in Horses after Celiotomy. *J Vet Intern Med*. 2004;18(4):555–563. doi: 10.1892/0891-6640(2004)18<555:eocri>2.0.co;2
9. Ashley FH, Waterman-Pearson AE, Whay HR. Behavioural assessment of pain in horses and donkeys: application to clinical practice and future studies. *Equine Veterinary Journal*. 2010;37(6):565–575. doi: 10.2746/042516405775314826
10. Auer U. Erkennen des Schmerzes des Pferdes. *Vetjournal*. 2021;10:26–28
11. 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. doi: 10.1371/journal.pone.0092281

12. Dobromlskyj P, Flecknell PA, Lascelles BD, Livingston A, Taylor P, Waterman-Pearson A. Pain Assessment. In: Flecknell PA, Waterman-Pearson A. Pain Management in Animals. London: W.B.Saunders; 2000. S. 53–79
13. Love E. Recognition and Assessment of Pain in Horses. In: Egger CM, Love L, Doherty T. Pain Management in Veterinary Practice. Iowa: Wiley Blackwell; 2014. S. 317–321
14. Auer U, Kelemen Z, Vogl C, von Ritgen S et al. Development, refinement, and validation of an equine musculoskeletal pain scale. *Front Pain Res.* 2023;4:1292299. doi: 10.3389/fpain.2023.1292299
15. 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. doi: 10.2478/acve-2018-0004
16. D'Angelo D. (895) 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):74. doi: 10.1016/j.jpain.2007.02.303
17. D'Angelo D. (947) Skin potential as a correlate of moderate to severe chronic pain - a case report. *The Journal of Pain.* 2006; 7(4):86. doi: 10.1016/j.jpain.2006.01.349
18. Giordano P, Bennett CR, Driessen B. 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. doi: 10.2478/acve-2018-0004
19. Bussièred G, Jacques C, Lainay O et al. Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Research in Veterinary Science.* 2008;85(2):294–306. doi: 10.1016/j.rvsc.2007.10.011
20. Pritchett LC, Ulibarri C, Roberts MC, Schneider RK, Sellon DC. Identification of potential physiological and behavioral indicators of postoperative pain in horses after exploratory celiotomy for colic. *Applied Animal Behaviour Science.* 2003;80(1):31–43. doi: 10.1016/S0168-1591(02)00205-8
21. Crook A. Introduction: Pain: An Issue of Animal Welfare. In: Egger CM, Love L, Doherty T. Pain Management in Veterinary Practice. Iowa: Wiley Blackwell; 2014. S. 3–8
22. Hart KA. The use of cortisol for the objective assessment of stress in animals: Pros and cons. *The Veterinary Journal.* 2012;192(2):137–139. doi: 10.1016/j.tvjl.2012.03.016

23. Lebelt D, Auer U, Bettschart-Wolfensberger R, Hopster K et al. Schmerzerkennung und -messung beim Pferd. *Der Praktische Tierarzt*. 2017;98:926–934. doi: 10.2376/0032-681X-17-63
24. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, French M. Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63(11):240–252. doi: 10.1002/acr.20543
25. Breivik H, Borchgrevink PC, Allen SM, Rosseland LA, Romundstad L, Breivik Hals EK, Kvarstein G, Stubhaug A. Assessment of Pain. *British Journal of Anaesthesia*. 2008;101(1):17–24. doi: 10.1093/bja/aen103
26. Jensen MP, Turner JA, Romano JM, Fisher LD. Comparative reliability and validity of chronic pain intensity measures. *Pain*. 1999;83(2):157–162. doi: 10.1016/S0304-3959(99)00101-3
27. Flecknell PA, Waterman-Pearson A. Pain Assessment and Management in Animals. In: Flecknell PA, Waterman-Pearson A. *Pain Management in Animals*. London: Saunders Ltd.; 2000. S. 53–79
28. Van Loon JPAM, van Dierendonck MC. Objective pain assessment in horses (2014-2018). *The Veterinary Journal*. 2018;242:1–7. doi: 10.1016/j.tvjl.2018.10.001
29. Da Rocha PB, Driessen B, McDonnell SM, Hopster K et al. A critical evaluation for validation of composite and unidimensional postoperative pain scales in horses. *PloS ONE*. 2021;16(8):e0255618. doi: 10.1371/journal.pone.0255618
30. De Grauw JC, van Loon JPAM. Systematic pain assessment in horses. *The Veterinary Journal*. 2016;209:14–22. doi: 10.1016/j.tvjl.2015.07.030
31. Van Loon JPAM, Jonckheer-Sheehy VSM, Back W, van Weeren PR, Hellebrekers LJ. Monitoring equine visceral pain with a composite pain scale score and correlation with survival after emergency gastrointestinal surgery. *The Veterinary Journal*. 2014;200(1):109–115. doi: 10.1016/j.tvjl.2014.01.003

32. Graubner C, Gerber V, Doherr M, Spadavecchia C. Clinical application and reliability of a post abdominal surgery pain assessment scale (PASPAS) in horses. *The Veterinary Journal*. 2011;188(2):178–183. doi: 10.1016/j.tvjl.2010.04.029
33. Sutton GA, Paltiel O, Soffer M, Turner D. Validation of two behaviour-based pain scales for horses with acute colic. *The Veterinary Journal*. 2013;197(3):646–650. doi: 10.1016/j.tvjl.2013.04.007
34. Maskato Y, Dugdale AHA, Singer ER, Kelmer G, Sutton GA. Prospective Feasibility and Revalidation of the Equine Acute Abdominal Pain Scale (EAAPS) in Clinical Cases of Colic in Horses. *Animals*. 2020;10(12):2242. doi: 10.3390/ani10122242
35. 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. *The Veterinary Journal*. 2015;206(3):356–364. doi: 10.1016/j.tvjl.2015.08.023
36. 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 validation study. *The Veterinary Journal*. 2016;216:175–177. doi: 10.1016/j.tvjl.2016.08.004
37. Taffarel MO, Luna SPL, de Oliveira FA, Cardoso GS et al. Refinement and partial validation of the UNESP-Botucatu multidimensional composite pain scale for assessing postoperative pain in horses. *BMC Veterinary Research*. 2015;11:83. doi: 10.1186/s12917-015-0395-8
38. Gleerup KB, Forkman B, Lindegaard C, Anderson PH. An equine pain face. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*. 2015;42(1):103–114. doi: 10.1111/vaa.12212
39. Dalla Costa E, Stucke D, Dai F, Minero M, Leach MC, Lebelt D. Using the Horse Grimace Scale (HGS) to Assess Pain Associated with Acute Laminitis in Horses (*Equus caballus*). *Animals*. 2016;6(8):47. doi: 10.3390/ani6080047
40. Mullard J, Berger JM, Ellis AD, Dyson S. Development of an ethogram to describe facial expressions in ridden horses (FEReq). *Journal of Veterinary Behavior*. 2017;18:7–12. doi: 10.1016/j.jveb.2016.11.005

41. Van Loon JPAM, Macri L. Objective Assessment of Chronic Pain in Horses Using the Horse Chronic Pain Scale (HCPS): A Scale-Construction Study. *Animals*. 2021;11(6):1826. doi: 10.3390/ani11061826
42. Lanci A, Benedetti B, Freccero F, Castagnetti C et al. Development of a Composite Pain Scale in Foals: A Pilot Study. *Animals*. 2022;12(4):439. doi: 10.3390/ani12040439
43. Nannarone S, Ortolani F, Scilimati N, Gialetti R, Menchetti L. Refinement and revalidation of the Equine Ophthalmic Pain Scale: R-EOPS a new scale for ocular pain assessment in horses. *The Veterinary Journal*. 2024;304:106079. doi: 10.1016/j.tvjl.2024.106079
44. Bari Ds, Yacoob Aldosky HY, Tronstad C, Kalvøy H, Martinsen ØG. Electrodermal activity responses for quantitative assessment of felt pain. *Journal of Electrical Bioimpedance*. 2018;9(1):52–58. doi: 10.2478/joeb-2018-0010
45. Li Y, He J, Fu C, Jiang K, Cao J et al. Children's Pain Identification Based on Skin Potential Signal. *Sensors*. 2023;23(15):6815. doi: 10.3390/s23156815
46. Bonitz A. Beschreibung des klinischen Einsatzes des PainTrace®-Geräts zur objektiven Quantifizierung von akuten und chronischen Schmerzen bei Pferden (Diplomarbeit). Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien; 2023
47. PainTrace® Instruction and Training. Philadelphia, PA: BioTraceIT; 2022
48. Popesko P. Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere. 6., aktualisierte Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 2007. S.168

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Horse Grimace Scale nach Dalla Costa et al. 2014 [11].....	10
Abb. 2 Beispiel eines PainTrace®-Graphen mit detaillierter Beschreibung der möglichen Veränderungen [47].....	12
Abb. 3 Equine Pain Scale nach Gleeup et al. [5]	15
Abb. 4 Discomfort/Pain Score nach Auer et al. [14].....	16
Abb. 5 Auffinden der Messstelle, Bild von Popesko 2007 [48] adaptiert.....	17
Abb. 6 Beispiel für ein messbereit angebrachtes PainTrace®-Gerät	18
Abb. 7 Beispiel eines fertigen PainTrace® mit Anmerkungen der jeweiligen Übung. Kalibration ist farblich markiert, wird aber nicht als Schmerzpeak gewertet. KoLi: Kopf nach links, KoRe: Kopf nach rechts, KoRu: Kopf runter, KoHo: Kopf hoch, Rü: Rücken durchtasten, VoLi: linkes Vorderbein anheben, VoRe: rechtes Vorderbein anheben, HiRe: rechtes Hinterbein anheben, HiLi: linkes Hinterbein anheben	19
Abb. 8 Score der akut schmerzhaften Pferde (AS) gemäß der Equine Pain Scale (EPS) und der Musculoskeletal Pain Scale (MPS).....	22
Abb. 9 Vergleich der Mittelwerte der Baseline-Messpunkte zwischen akut schmerzhaften (AS) und nicht-schmerzhaften (NS) Pferden	23
Abb. 10 Vergleich der Scores von EPS und MPS.....	23
Abb. 11 Korrelation der Scores der Equine Pain Scale (EPS) zu den einzelnen Messpunkten.....	25
Abb. 12 Korrelation der Scores der Musculoskeletal Pain Scale (MPS) zu den einzelnen Messpunkten.....	25
Abb. 13 PainTrace®-Graph eines nicht-schmerzhaften Pferdes mit diversen farblich hinterlegten Ausschlägen ohne Zusammenhang mit Manipulation. Diese ‚Peaks‘ werden somit nicht als Schmerz gewertet.	28

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Übersicht über validierte Schmerzskalen bei Pferden [28,29,30]	7
Tab. 2 Übersicht über die Anzahl und das Alter der untersuchten Pferde	21
Tab. 3 Mittelwerte der einzelnen Messpunkte beider Gruppen.....	22