

Aus dem klinischen Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Klinisches Zentrum für Kleintiere
(Leiterin: Ass.-Prof. Dr.med.vet. Britta Vidoni)

Evaluierungsstudie zur Messgenauigkeit eines am Kopf befestigten Accelerometers zur Erfassung der Liegezeiten bei Pferden

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von
Alexandra Schöpf

Wien, im Dezember 2025

Betreuerin:

Priv.-Doz. Dr.med.vet.Ulrike Auer

Zentrum für Kleintiere

Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin

Veterinärmedizinische Universität Wien

Begutachterin:

Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florian Jenner, Dipl.ACVS Dipl.ECVS

Zentrum für Pferdemedizin

Veterinärmedizinische Universität Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ziel der Arbeit und Hypothese.....	1
2	Literaturrecherche	3
2.1	Liege- und Schlafverhalten bei Pferden.....	3
2.2	Schlafstörungen	4
2.2.1	REM-Schlafdefizit.....	4
2.2.2	Narkolepsie.....	4
2.3	Möglichkeiten für die Auswertung des Liegeverhalten.....	5
2.3.1	Accelerometer.....	5
3	Material und Methoden	7
3.1	Pferde	7
3.2	Messgeräte	9
3.2.1	HoofStep.....	9
3.2.2	Voltcraft DL-131G.....	10
3.3	Methode und Datenanalyse.....	11
3.3.1	Datenerhebung.....	11
3.3.2	Datenaufarbeitung und statistische Auswertung.....	12
4	Ergebnisse	14
5	Diskussion	19
5.1	Bewertung der Messergebnisse	19
5.2	Mögliche Ursachen für die Abweichungen	20
5.3	Einfluss der Sensorposition auf die Datenqualität	20
5.4	Zukünftige Forschungsperspektiven.....	23
6	Schlussfolgerung	24

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit ausschließlich von mir selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet wurden. Alle sowohl wörtlich als auch sinngemäß übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden entsprechend kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Wien, am 30.11.2025

Alexandra Schöpf

Deutscher Abstract

In der vorliegenden Arbeit wurde die Messgenauigkeit eines Accelerometers zur Erfassung des Liegeverhaltens bei Pferden untersucht. Hierzu wurden die vom HoofStep® System aufgezeichneten Daten mit jenen eines am Bein befestigten Accelerometers Voltcraft DL-131G verglichen. Die beiden Sensoren wurden gleichzeitig an unterschiedlichen Körperstellen – HoofStep am Kopf und Voltcraft am rechten Vorderbein – bei insgesamt 27 Pferden in zwei Herden angebracht. Die Auswertung umfasste sowohl die täglichen Gesamtliegezeiten pro Pferd als auch einzelne Liegephasen. Darüber hinaus wurden die Abweichungen zwischen den beiden Systemen berechnet und grafisch dargestellt.

Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede in den gemessenen Liegezeiten: Das HoofStep-System wies im Mittel eine deutlich längere tägliche Liegedauer pro Pferd auf als das Referenzgerät und die Korrelationsanalyse ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Datensätzen.

Die Analyse der einzelnen Liegeereignisse ergab, dass HoofStep lediglich 12,5 % der Liegephase mit einer zeitlich annähernden Übereinstimmung (< 5 Minuten Abweichung) korrekt erfasste. In 51,6 % wurde zwar Liegeverhalten erkannt, jedoch mit einer deutlichen zeitlichen Abweichung (> 5 Minuten). In 35,9 % der Fälle erkannte HoofStep das Liegen nicht und klassifizierte das Verhalten fälschlich als Stehen. Dazu kommt, dass HoofStep während der eigentlichen Stehphasen in 51,8 % der Fälle irrtümlich Liegeverhalten detektierte.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der HoofStep-Sensor in seiner derzeitigen Form, aufgrund der Positionierung am Kopf und des zugrunde liegenden Algorithmus, nicht zuverlässig zur Erfassung des Liegeverhaltens bei Pferden geeignet ist. Weitere Evaluierungsstudien, insbesondere unter Einbeziehung externer Beobachtungsmethoden wie Videoanalysen, sind erforderlich, um die Anwendbarkeit und Genauigkeit des Systems genauer zu beurteilen und zu verbessern.

Englischer Abstract

This study investigated the measurement accuracy of an accelerometer in detecting lying behavior in horses. For this purpose, data recorded by the HoofStep® system were compared with those of a leg-mounted accelerometer (Votcraft DL-131G). The two sensors were simultaneously attached to different body locations – HoofStep to the head and Votcraft to the right forelimb – on a total of 27 horses in two herds. The analysis included both daily total recumbency durations per horse and individual recumbency events. Additionally, discrepancies between the two systems were calculated and graphically presented.

The results revealed significant differences in the measured lying times: on average, the HoofStep system recorded markedly longer daily recumbency durations per horse than the reference device and the correlation analysis showed no significant relationship between the two datasets.

Analysis of individual recumbency events showed that HoofStep correctly detected only 12.5 % of recumbency periods with a roughly matching duration (< 5 -minute deviation). In 51.6 % of cases, recumbency was detected but with substantial temporal deviations (> 5 minutes). In 35.9 % of cases, HoofStep failed to detect recumbency and incorrectly classified the behaviour as standing. Additionally, during actual standing periods, HoofStep falsely detected recumbency in 51.8 % of cases.

These findings suggest that the HoofStep sensor, in its current form and due to its head-mounted position as well as its underlying algorithm, is not reliably suited for detecting recumbency behavior in horses. Further evaluation studies, especially those incorporating external observational methods such as video analysis, are required to more accurately assess and improve the system's applicability and performance.

Abkürzungsverzeichnis

REM	Rapid Eye Movement
p	Signifikanzwert
r	Korrelationskoeffizient
GPS	Global Positioning System

1 Einleitung

Schlaf ist – neben Futteraufnahme und Fortpflanzung – essenziell für die Selbsterhaltung des Pferdes. Nur gut ausgeruhte Tiere fühlen sich wohl und können ihr volles Leistungspotenzial entfalten. (1) Während die meisten Schlafphasen auch im Stehen stattfinden können, ist für die wichtige Rapid Eye Movement - Phase (REM-Phase) ein Hinlegen erforderlich, da es hierbei zur vollständigen Muskelrelaxation kommt. (2) Ein gestörtes Liegeverhalten, welches sich etwa durch übermäßig langes oder auffällig kurzes Liegen zeigt, kann auf grundlegende Probleme, wie Schmerzen, Stress oder ungeeignete Haltungsbedingungen hinweisen. Wenn sich Pferde über längere Zeit kaum oder gar nicht hinlegen, kann dies zu einem REM-Schlafdefizit führen. (3) Chronischer Schlafmangel kann in weiterer Folge zu Zusammenbrüchen und damit verbundenen Verletzungen führen (4) und wird aufgrund der ähnlichen Symptomatik oft fälschlich mit der deutlich selteneren Narkolepsie verwechselt. (5) Durch eine sorgfältige und gewissenhafte Anpassung des Managements in der Pferdehaltung konnte in Studien ein deutlicher Rückgang von Pferden mit REM-Schlafdefizit beobachtet werden. (4, 5) Da REM-Schlaf eine zentrale Rolle für die körperliche Regeneration und die Gedächtnisverarbeitung spielt (4, 6), kommt den Liegephasen demnach eine essenzielle Bedeutung für die Gesundheit von Pferden zu. Die präzise Erfassung des Liegeverhaltens, und damit indirekt des Schlafverhaltens, stellt daher einen wichtigen Aspekt in der Pferdemedizin, der Verhaltensforschung sowie im Management von Pferden dar. Bei korrekter Analyse und passenden Änderungsmaßnahmen kann das Wohlbefinden und die damit verbundene Leistung der Pferde erheblich gesteigert werden. (3) Eine Möglichkeit zur Erfassung der Liegephasen bieten sogenannte Accelerometer. Sie messen Beschleunigungen in mehreren Achsen und ermöglichen so die Analyse von Bewegungsmustern und Körperhaltungen. (7) In der vorliegenden Arbeit wird mit HoofStep ein solches Gerät untersucht und hinsichtlich seiner Eignung zur Erfassung von Liegephasen bei Pferden bewertet.

1.1 Ziel der Arbeit und Hypothese

Ziel dieser Arbeit ist es, die Eignung des HoofStep-Sensors zur Erkennung von Liegephasen bei Pferden zu evaluieren. Dazu wurden die Liegedaten mit den gleichzeitig erhobenen Daten

eines am Bein befestigten Accelerometers, dem Voltcraft DL-131G, verglichen. Das am Bein befestigte Accelerometer wird als „Goldstandard“ herangezogen. Der Vergleich erfolgte durch die Auswertung von Gesamtliegezeiten und einzelnen Liegeereignissen.

Die Hypothese dieser Arbeit lautet: „Das Liegeverhalten lässt sich mit dem Sensor „HoofStep“ aufgrund seiner Anbringungsweise am Kopf weniger exakt erfassen als mit einem am Bein befestigten Accelerometer.“

2 Literaturrecherche

2.1 Liege- und Schlafverhalten bei Pferden

Schlaf ist definiert als ein Zustand der Bewusstlosigkeit, welcher durch sensorische Reize rückgängig gemacht werden kann. (8) Wenn ein Pferd in den Schlaf übergeht, beginnt es zunächst mit dem vierphasigen Tiefschlaf, bevor es in die REM-Schlafphase eintritt. Nach Abschluss der REM-Phase startet ein neuer Zyklus, wiederum mit den Tiefschlafphasen an dessen Beginn. Mit zunehmender Gesamtschlafdauer verkürzen sich diese allmählich, während die REM-Phasen an Länge zunehmen. So lange, bis der Körper durch bestimmte Neurotransmitter signalisiert bekommt, dass eine ausreichende Erholung stattgefunden hat und das Pferd allmählich wieder in den Wachzustand überführt wird. (9)

Im Normalfall ruhen und schlafen Pferde mehrmals täglich, sowohl stehend als auch liegend. Dieses Muster wird als polyphasischer Schlaf bezeichnet. (10) Die Hauptschlafenszeit ist hierbei nachts und in dieser Zeit werden auch die meisten Tiefschlafphasen beobachtet. (1) Da Pferde Beute- und Fluchttiere sind, (3, 6) weisen sie im Vergleich zu manch anderen Säugetieren oder auch uns Menschen, nur sehr kurze Schlafzyklen auf. (8) Im Durchschnitt dauert ein Zyklus ungefähr 15 Minuten. (1) Anhand der Tatsache, dass sowohl domestizierte als auch freilebende Pferde ungefähr einen gleichen Prozentsatz des Tages mit Liegen verbringen, wird die Notwendigkeit dieses Verhaltens verdeutlicht. Andere Aktivitätszeiten, wie die Fortbewegung in unterschiedlichen Gangarten aber auch die Zeit, welche fürs Fressen aufgebracht wird, variieren im Vergleich deutlich stärker. (3)

Die Schlafpositionen können variieren und je nach Position unterscheidet sich das Maß der muskulären Entspannung. So können sie beispielsweise im Stehen ruhen. Dies ermöglicht dem Körper beziehungsweise einzelnen Körperteilen eine Entlastung, während gleichzeitig eine rasche Flucht im Bedarfsfall gewährleistet bleibt. Abwechselnd wird hierbei eines der beiden Hinterbeine entlastet und abgewinkelt, sodass nur noch die Hufspitze den Boden berührt. (11) Zur ausgiebigen Muskelrelaxation kann es allerdings nur im Liegen kommen. Hierbei kann man zwischen Brust-Bauchlage und Seitenlage unterscheiden. Erwachsene Pferde verbringen in etwa 3-15 % des Tages mit Ruhe- und Schlafverhalten. (3) 80 % davon ruhen sie im Stehen, Liegephasen machen also einen deutlich kleineren Anteil aus. Während Pferde in der Brust-

Bauchlage bereits gut entspannen können, stellt die Seitenlage die erholsamste Schlafposition dar. (11) Sie ist von besonderer Bedeutung, da nur in dieser Haltung die vollständige Muskelrelaxation während der REM-Schlafphase möglich ist. (1) Die Relevanz des REM-Schlafs liegt an den wichtigen Funktionen, wie zum Beispiel der Regeneration und Energieerhaltung wobei es zur Zellreparatur und der Aktivierung von Stoffwechselprozessen kommt. Zudem finden während des Schlafs die Gedächtnisbildung und die Wiederherstellung des Nervensystems statt. (4, 6) Im Durchschnitt beträgt die REM-Schlafphase ungefähr 10-15 % der gesamten Schlafdauer. (3)

2.2 Schlafstörungen

2.2.1 REM-Schlafdefizit

Ein ausgeglichener Schlaf-Wachzyklus ist essenziell für eine ausreichende Regeneration. (9) Veränderungen im Liegeverhalten lassen sich meist auf gesundheitliche Probleme oder störende Umwelteinflüsse zurückführen. (12) Zu den umweltbezogenen Faktoren zählen unter anderem Platzangebot, Einstreu, Herdengröße, Beleuchtung sowie die Vertrautheit des Pferdes mit seiner Umgebung. Darüber hinaus spielen auch tierbezogene Aspekte wie Alter, Gesundheitsstatus und soziale Rangordnung eine wesentliche Rolle. (3, 10) Schlafmangel kompensiert der Körper mit häufigeren Schlafphasen und längeren Tiefschlafphasen, wodurch es länger dauert, um in die sehr wichtige REM-Schlafphase einzutreten. (9) Verkürzte Liegeperioden können folglich mit einer Verringerung des Wohlbefindens einhergehen. (12) Bei chronischem Schlafmangel kann es zum REM-Schlafdefizit kommen, was in weiterer Folge zu kollapsartigem Zusammenbrechen und dadurch bedingten Verletzungen führen kann. (4) Aufgrund der ähnlichen Symptomatik wird die Erkrankung häufig fälschlich als die deutliche seltener vorkommende Narkolepsie diagnostiziert.

2.2.2 Narkolepsie

Bei einer echten Narkolepsie handelt es sich um eine Störung des Schlafzentrums im Gehirn und es treten plötzliche Schlaf-Attacken auf. Die Pferde brechen aus dem Nichts heraus zusammen, fallen in Seitenlage und schlafen. Dieser Zustand kann mehrere Minuten andauern. Anschließend wacht das Pferd auf, erhebt sich und zeigt zwischen den Anfällen keine weiteren neurologischen Symptome. Solche Anfälle können jederzeit auftreten, unabhängig davon

welcher Tätigkeit das Pferd gerade nachgeht. Die genaue Pathogenese ist bislang nicht vollständig aufgeklärt. (2, 13, 14) Häufig berichten Tierbesitzer von schlecht heilenden Wunden an der Dorsalseite der Vordergliedmaßen. Diese reißen bei jedem erneuten Zusammenbruch wieder auf und ähneln jenen, welche auch bei chronischem Schlafdefizit beschrieben werden. (14) Da bislang keine Therapie für Narkolepsie existiert, kommt der Anpassung der Haltungsbedingungen auch hier eine zentrale Bedeutung zu. Wichtig ist, die Umgebung so anzupassen, dass potenziellen Verletzungen infolge eines Zusammenbruchs bestmöglich vorgebeugt wird. (9, 13, 14) Unterscheiden lassen sich die beiden Schlafstörungen dadurch, dass Haltungsanpassungen die Symptome bei REM-Schlafdefizit verschwinden lassen, Narkolepsie als Krankheit ist nicht heilbar. (10, 13)

2.3 Möglichkeiten für die Auswertung des Liegeverhalten

Die ersten Studien zum Schlafverhalten von Pferden wurden bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts durchgeführt. (10) Frühere Untersuchungen zur Ethologie waren meist beobachtungsbasiert. (6) Da die Anwesenheit von Beobachtern das Verhalten der Tiere jedoch häufig beeinflusst, bietet sich der Einsatz von technischen Hilfsmitteln wie Accelerometern in der Verhaltensforschung an. Durch den Wegfall des Menschen als Störfaktor lassen sich naturgetreue und aussagekräftige Aussagen über das Verhaltensmuster erheben. (15, 16) Seit Beginn der 2000er hat die Verwendung von Beschleunigungsmessern in der Tierforschung rasant zugenommen und ist seither ein wichtiges Tool für explizite Forschungsfragen in Bezug auf Tierverhalten. (15) Je nach Marke und Typ können zusätzliche technische Tools in dem Gerät verbaut sein, welche unterschiedliche Vorteile für die Datenerhebung mit sich bringen.

2.3.1 Accelerometer

Accelerometer messen die Beschleunigung eines Objekts relativ zu einem festen Bezugssystem, typischerweise dem Gravitationsfeld der Erde. Es handelt sich um ein Sensorsystem, das Gravitationskraft und Bewegungsbeschleunigung erfasst. Der Sensor enthält eine federnd gelagerte, empfindliche Masse. Wird das Gerät bewegt, wirkt eine Trägheitskraft auf die Masse, was zu einer messbaren Änderung der elektrischen Eigenschaften führt.

Ein dreiachsiges Accelerometer, wie es das hier behandelte HoofStep-System enthält, misst Beschleunigungen entlang dreier senkrecht zueinanderstehender Achsen. Die Geräte so ausgerichtet, dass die Achsen folgende Bewegungen detektieren:

- x-Achse: Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen
- y-Achse: Seitwärtsbewegungen
- z-Achse: Auf- und Abbewegungen

Wenn das Pferd stillsteht, zeigt die z-Achse typischerweise einen Beschleunigungswert von etwa 1 g (Erdbeschleunigung), während x- und y-Achse bei Stillstand nahe null liegen. Bei Bewegung und Lagewechsel ändern sich die Werte in charakteristischer Weise über alle drei Achsen hinweg. Diese Muster können genutzt werden, um Aktivitäten wie Liegen, Stehen oder Laufen zu erkennen. (7, 17)

Für eine verlässliche Nutzung eines Accelerometers sind die Validierung und Kalibrierung des Geräts sowie eine sorgfältige Datenverarbeitung und -analyse unerlässlich. (15)

3 Material und Methoden

Diese Studie ist Teil eines größeren Projektes zum Thema Lebensqualität beim Pferd und beschränkte sich auf die Beobachtung der Pferde unter ihren aktuellen Lebensbedingungen. Es wurden keine spezifischen tierärztlichen Behandlungen oder Eingriffe für die Zwecke dieser Studie durchgeführt. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Veterinärmedizinischen Universität Wien (ETK-152/09/2019) gemäß den Richtlinien für „Good Scientific Practice“, die an der Veterinärmedizinischen Universität Wien sowie in der nationalen Gesetzgebung festgelegt sind, überprüft und genehmigt.

3.1 Pferde

Im Rahmen dieser Studie wurden zwei unterschiedliche Pferdeherden herangezogen. Jede Herde umfasste mehrere Tiere verschiedener Rassen, Altersstufen und Gesundheitszustände. Aus Datenschutzgründen wurden die Pferde- sowie die Stallnamen anonymisiert. Die Pferde standen während der Durchführung der Studie in einem Offenstall, welcher mit Stroh eingestreute Liegeflächen besaß und jeweils mit drei Heuraufen zu je acht Futterplätzen ausgestattet war.

Bei der ersten Pferdegruppe (Stall A), wurde eine Messung über mehrere Tage im Februar 2023 durchgeführt und beinhaltete 12 Pferde. Die zweite Datenerhebung, welche im April 2023 erfolgte, inkludierte die 12 Tiere des ersten Durchgangs sowie ein zusätzliches Pferd (Nr.13). Zu jedem der Pferde gab es Angaben zu Alter, Geschlecht, Rasse und chronisch, orthopädischen Erkrankungen. (Tab. 1)

Tabelle 1: Pferde im Stall A

Name	Alter zum Zeitpunkt der Messung (2023)	Geschlecht (S=Stute, W=Wallach)	Rasse	Chronisch orthopädische Erkrankungen (J=Ja, N=Nein)
Pferd 1	25	S	Araber	J
Pferd 2	19	S	Araber	J

Pferd 3	22	S	Araber	N
Pferd 4	26	S	Araber	J
Pferd 5	6	S	Araber	N
Pferd 6	21	S	Araber	J
Pferd 7	15	S	Araber	N
Pferd 8	18	S	Araber	J
Pferd 9	24	S	Araber	J
Pferd 10	23	S	Araber	J
Pferd 11	19	S	Araber	J
Pferd 12	8	S	Araber	N
Pferd 13	12	S	Araber	N

Die zweite Gruppe (Stall B) umfasste 14 Pferde. Der Zeitraum der Datenerhebung erstreckte sich von Juli bis August 2023. Bei dieser Gruppe lagen Angaben zu Alter, Rasse und Gewicht vor, allerdings keine Informationen zum Geschlecht und Gesundheitszustand. (Tab. 2)

Tabelle 2: Pferde im Stall B

Name	Geburtsjahr	Alter zum Zeitpunkt der Messung (2023)	Gewicht	Rasse
Pferd 14	2002	21	576	Tinker-Pinto Mix
Pferd 15	1994	29	444	Araber
Pferd 16	2000	23	572	Haflinger
Pferd 17	1999	24	476	Haflinger
Pferd 18	1995	28	479	Haflinger
Pferd 19	2006	17	906	Süddeutsches Kaltblut
Pferd 20	2005	18	677	Kaltblut
Pferd 21	1995	28	525	Haflinger
Pferd 22	2009	16	522	Araber
Pferd 23	2006	17	474	Araber
Pferd 24	2001	22	487	Haflinger
Pferd 25	1997	26	488	Arabo-Haflinger

Pferd 26	2005	18	467	Warmblut
Pferd 27	2009	14	566	Haflinger

3.2 Messgeräte

Zur Erfassung des Liegeverhaltens wurden zwei unterschiedliche dreiachsige Accelerometer eingesetzt, deren Daten anschließend zur weiteren Auswertung auf einen Computer übertragen wurden.

3.2.1 HoofStep

Es handelt sich hierbei um einen Sensor, der für die Überwachung und Aufzeichnung von Bewegungen und Verhaltensmustern bei Pferden entwickelt wurde. Die Herstellerfirma wurde 2016 gegründet und arbeitet seither stetig an der Optimierung ihres Produktes. Das Gerät hat eine Größe von 96 x 47 x 45 mm, wiegt 149 g und verfügt über eine Akkulaufzeit von 21 Tagen. Neben dem dreiaxialen Accelerometer sind technische Tools wie GPS, Prozessor und Radiotransmitter für detailliertere und einfachere Datenverarbeitung enthalten.

Der Sensor wird an einem speziell für das Gerät entworfenen Halfter an der Stirn der Pferde befestigt und zeichnet kontinuierlich Bewegungsdaten auf.

Das GPS-Modul ermöglicht die kontinuierliche Positionsverfolgung des Pferdes in Echtzeit. Durch die Visualisierung der Aufenthaltsbereiche lassen sich bevorzugte Aufenthaltsorte und Bewegungsmuster im Offenstall oder auf der Weide erkennen. (18) Ein integrierter Prozessor übernimmt die Verarbeitung und Voranalyse der vom Sensor erfassten Rohdaten, während ein Radiotransmitter diese Informationen drahtlos an eine externe Empfangseinheit überträgt, um eine kontinuierliche Datenerfassung und -auswertung in Echtzeit zu ermöglichen. (15, 18, 19)

Laut Herstellerinformationen ist das Gerät in der Lage zwischen Essphasen, Ruhephasen und unterschiedlichen Aktivitätsphasen (langsame und schnelle Bewegungen) zu unterscheiden, diese aufzuzeichnen und dem Pferdebesitzer die Daten via App zu übermitteln. Im Hintergrund bietet die Firma noch eine genaue Auswertung der Liegezeiten (Seitenlage, Brust-Bauchlage). Diese werden in der App nicht angezeigt, sondern dienen zur Überwachung der Liegezeiten

für die oben erwähnte Studie. Die Ergebnisse der Datenauswertung werden in Excel eingespielt und der Zeitaufwand für die einzelnen Verhaltensmuster in Prozent pro Stunde angegeben. (18)



Abbildung 1 HoofStep Sensor Positionierung

Quelle: Foto © Thomas Suchanek, Vetmeduni Vienna, o. D.

URL: <https://www.vetmeduni.ac.at/klinisches-zentrum-pferde> (Zugriff: 20.06.2025)

3.2.2 Voltcraft DL-131G

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit des HoofStep-Systems wurde dieses Gerät als Referenzsensor herangezogen. Das Gerät dient der dreidimensionalen Erfassung von Beschleunigungswerten. Der interne Speicher erfasst Einzelwerte, die über eine USB-Schnittstelle auf einen Computer übertragen und mit der zugehörigen Software ausgewertet werden können. Dabei lässt sich präzise nachvollziehen, wann sich die Position des Accelerometers verändert hat und damit auch, zu welchem Zeitpunkt und über welche Dauer einzelne Verhaltensmuster aufgetreten sind. Mit Blick auf das hier untersuchte Liegeverhalten kann so exakt erfasst werden, wann ein Pferd sich abgelegt und wann es wieder aufgestanden ist.

Das Gerät ist mit einem Gewicht von 30g kompakt und leicht, wodurch es sich problemlos am Pferdekörper befestigen lässt, ohne das Tier in seinem Verhalten zu beeinträchtigen. (20) Aufgrund seiner technischen Eigenschaften sowie der dokumentierten Zuverlässigkeit bei der

Erfassung von Bewegungsdaten eignet sich der DL-131G als valides Referenzsystem zur Beurteilung der Messqualität des HoofStep-Systems. In früheren Studien konnte eine Klassifikationsgenauigkeit von über 99 % für Stehen vs. Liegen mit am Bein befestigten Accelerometern bestätigt werden. (17, 21)

3.3 Methode und Datenanalyse

3.3.1 Datenerhebung

Jedes Pferd trug ein speziell von HoofStep entwickeltes Halfter, an dem der Sensor befestigt wurde. Dadurch befand sich das Messgerät bei allen Pferden in der gleichen Ausrichtung - an der Vorderseite des Kopfes auf Höhe der Stirn. Das Messgerät wurde kontinuierlich über mehrere Tage getragen.

Das Vergleichssystem am Bein wurde bei den Versuchstieren lateral am rechten Vorderbein, auf Höhe des Metacarpus, angebracht. Eine Studie aus dem Jahr 2023 zeigte, dass eine Platzierung des Sensors am Vorderbein eine zuverlässige Unterscheidung zwischen Brust-Bauchlage und Seitenlage ermöglicht. (21) Mit einer Bandage wurde das Gerät umwickelt, um so die Möglichkeit des Verrutschens zu minimieren. Dieser Sensor wurde jedoch innerhalb der Messperiode nicht durchgehend am Bein belassen, sondern zwischenzeitlich für einige Zeit abgenommen und später wieder neu angebracht.

Die Datenerhebung erfolgte im Februar und April 2023 (Stall A) sowie von Juli bis August 2023 (Stall B). In beiden Gruppen wurden Messungen an mehreren Tagen durchgeführt. Eine Übersicht der Zeiträume, in denen für beide Geräte auswertbare Daten vorlagen und diese somit in die Analyse einbezogen wurden, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht der Messzeiträume Stall A & B

Stall	Beginn der Messung	Ende der Messung
A	2023-02-21 11:00:00	2023-02-22 14:47:00
A	2023-04-07 07:43:00	2023-04-09 06:30:00
A	2023-04-13 18:00:00	2023-04-14 18:00:00
B	2023-07-10 19:52:00	2023-07-11 19:52:00
B	2023-07-14 06:50:00	2023-07-20 05:33:00
B	2023-07-22 08:23:00	2023-07-23 12:47:00
B	2023-08-03 18:30:00	2023-08-04 22:18:00

3.3.2 Datenaufarbeitung und statistische Auswertung

Die aufgezeichneten Daten wurden gespeichert und in einer Excel-Tabelle chronologisch nach Datum und Uhrzeit geordnet. Der Fokus der Datenauswertung lag auf den Liegeperioden der einzelnen Pferde, daher wurde die Excel Tabelle bereinigt, indem alle anderen Aktivitäten herausgelöscht wurden. Die Liegezeiten wurden bei HoofStep in Prozent pro volle Stunde angegeben. Um den Vergleich zu vereinfachen, wurden die Prozent in Minuten umgerechnet, indem die Prozent durch 100 dividiert und anschließend mit 60 multipliziert wurden. Im Anschluss wurden alle Werte, die unter einer Minute lagen, markiert und für die weitere Auswertung nicht als Liegeverhalten gewertet.

Die Daten des Voltcraft-Geräts wurden im Rahmen einer anderen Diplomarbeit ausgewertet und zur Verfügung gestellt. Für die Analyse wurden nur Messzeiträume berücksichtigt, in denen Messdaten von beiden Systemen vorlagen.

Im ersten Schritt der Analyse wurden die von beiden Geräten erfasste Gesamtliegezeit pro Pferd und pro Tag einander gegenübergestellt. Für jeden Datensatz wurde die absolute Liegezeit jedes Pferdes, Mittelwert und Standardabweichung aus der Summe aller Gesamtliegezeiten für das jeweilige Gerät sowie die absolute Differenz der Liegezeiten zwischen den beiden Systemen berechnet. Zudem wurde die prozentuale Abweichung bezogen auf den Voltcraft-Wert ermittelt, um die relative Diskrepanz zwischen den Messsystemen zu quantifizieren.

Die Ergebnisse wurden durch grafische Darstellungen mittels Boxplots visualisiert, um die Verteilung der Messwerte sowie die Abweichungen beider Systeme darzustellen.

Zur genaueren Einschätzung der Übereinstimmung der beiden Messsysteme wurde zusätzlich eine Korrelationsanalyse mittels Pearson-Korrelationskoeffizient durchgeführt, indem Korrelationskoeffizient (r) und Signifikanzwert (p) berechnet wurden. Der Zusammenhang der Ergebnisse wurde durch ein Scatterplot-Diagramm mit Vergleichsgerade veranschaulicht.

Um festzustellen, inwieweit der HoofStep-Sensor Liege- und Stehphasen korrekt erfasst, wurden die Liegezeiten der beiden Accelerometer so aufbereitet, dass jeweils die Liegedauer

in Minuten pro volle Stunde ermittelt wurde. Anschließend wurden die jeweiligen Stunden gegenübergestellt und, je nach Übereinstimmung, einer von fünf Kategorien zugeordnet.

Im Falle, dass beide Geräte Liegeverhalten detektierten, wurde zur Beurteilung der Genauigkeit die Differenz zwischen den von HoofStep und Voltcraft gemessenen Liegedauern pro Ereignis berechnet. Eine Abweichung von weniger als fünf Minuten wurde als akkurate Erfassung definiert.

Insgesamt wurden 1124 aufgezeichnete Stunden auf diese Art und Weise ausgewertet und codiert. Die fünf Gruppen wurden wie folgt unterteilt:

- 0: Das Pferd lag laut Voltcraft, laut HoofStep stand es (falsch negativ)
- 1: Das Pferd lag laut beiden Systemen, die Zeiten unterschieden sich jedoch um mehr als 5 Minuten voneinander
- 2: Das Pferd lag laut beiden Systemen, die Zeiten unterschieden sich um weniger als 5 Minuten voneinander (richtig positiv)
- 3: Das Pferd stand laut Voltcraft, laut HoofStep lag es (falsch positiv)
- 4: Das Pferd stand laut beiden Systemen (richtig negativ)

Da Stehphasen bei Pferden nachweislich deutlich häufiger auftreten als Liegephasen (12), wurde die weitere Auswertung getrennt nach Verhaltenstyp durchgeführt, um statistische Verzerrungen zu vermeiden. In einem ersten Schritt wurden ausschließlich jene Stunden berücksichtigt, in denen das Referenzsystem Voltcraft Stehverhalten detektierte und in einem zweiten Schritt wurden nur jene Zeiträume analysiert, in denen es Liegephasen registrierte. Die Codierungen 0, 1 und 2 (Voltcraft sagt das Pferd liegt) wurden zusammengefasst, um die Erkennungsleistung des HoofStep-Systems für Liegeverhalten zu beurteilen. Analog wurden die Codierungen 3 und 4 (Voltcraft sagt das Pferd steht) für die Bewertung der Detektionsgenauigkeit bei Stehverhalten verwendet. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden für beide Gruppen jeweils separate Kreisdiagramme erstellt, die die prozentuale Verteilung der HoofStep-Klassifikationen innerhalb der beiden Verhaltenstypen darstellen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Microsoft Excel (Version Microsoft 365) deskriptiv. Aufgrund der festgestellten geringen Übereinstimmung der beiden Geräte wurde auf weiterführende statistische Verfahren verzichtet.

4 Ergebnisse

Insgesamt konnten Vergleiche von 27 Pferden in die Studie aufgenommen werden.

Die durchschnittliche Gesamtliegezeit pro Pferd pro Tag, die durch das Voltcraft-System ermittelt wurde, betrug 64,95 Minuten ($\pm 43,10$), während das HoofStep-System eine durchschnittliche Liegezeit pro Pferd pro Tag von 299,29 Minuten ($\pm 205,30$) aufzeichnete. Die daraus resultierende Differenz lag im Mittel bei 234,34 Minuten ($\pm 210,46$). Die prozentuale Abweichung bezogen auf die Voltcraft-Werte lag in einzelnen Fällen bei mehreren Tausend Prozent. (Tab. 4).

Tabelle 4: Gesamtliegezeit in Minuten, Differenz und prozentuelle Abweichung

Pferd	Gesamtliegezeit / Tag Voltcraft (min)	Gesamtliegezeit / Tag HoofStep (min)	Differenz (min)	Abweichung (%)
Pferd 2 Tag 1	58	40	-18	-31,03
Pferd 2 Tag 2	27	217	190	703,70
Pferd 3 Tag 1	14	358	344	2457,14
Pferd 3 Tag 2	31	275	244	787,10
Pferd 4 Tag 1	60	786	726	1210,00
Pferd 4 Tag 2	23	794	771	3352,17
Pferd 5 Tag 1	32	375	343	1071,88
Pferd 5 Tag 2	93	58	-35	-37,63
Pferd 5 Tag 3	94	60	-34	-36,17
Pferd 6 Tag 1	48	166	118	245,83
Pferd 6 Tag 2	33	420	387	1172,73
Pferd 6 Tag 3	71	386	315	443,66
Pferd 6 Tag 4	47	451	404	859,57
Pferd 7 Tag 1	44	37	-7	-15,91
Pferd 8 Tag 1	34	414	380	1117,65
Pferd 8 Tag 2	48	341	293	610,42

Pferd 8 Tag 3	58	473	415	715,52
Pferd 8 Tag 4	82	375	293	357,32
Pferd 9 Tag 1	43	279	236	548,84
Pferd 10 Tag 1	37	231	194	524,32
Pferd 10 Tag 2	164	479	315	192,07
Pferd 10 Tag 3	106	448	342	322,64
Pferd 11 Tag 1	56	144	88	157,14
Pferd 12 Tag 1	80	298	218	272,50
Pferd 12 Tag 2	90	79	-11	-12,22
Pferd 13 Tag 1	84	421	337	401,19
Pferd 13 Tag 2	99	408	309	312,12
Pferd 14 Tag 1	22	160	138	627,27
Pferd 14 Tag 2	17	82	65	382,35
Pferd 14 Tag 3	117	690	573	489,74
Pferd 16 Tag 1	76	281	205	269,74
Pferd 16 Tag 2	116	203	87	75,00
Pferd 17 Tag 1	26	31	5	19,23
Pferd 17 Tag 2	96	157	61	63,54
Pferd 18 Tag 1	1,1	407	405,9	36900,00
Pferd 19 Tag 1	65	706	641	986,15
Pferd 19 Tag 2	108	11	-97	-89,81
Pferd 20 Tag 1	198	150	-48	-24,24
Pferd 21 Tag 1	135	234	99	73,33
Pferd 21 Tag 2	21	63	42	200,00
Pferd 26 Tag 1	9	283	274	3044,44

Abb. 2 zeigt die Verteilungen der täglichen Liegezeiten, sowie die daraus berechneten Differenzen. Die Darstellung verdeutlicht, dass die Voltcraft-Messungen eine relativ geringe Streuung mit niedrigem Medianwert aufweisen, während die HoofStep-Werte eine wesentlich

breitere Streuung mit teils sehr hohen Ausreißern zeigen. Die Differenzen zwischen den beiden Systemen variieren stark und umfassen sowohl negative als auch sehr hohe positive Werte.

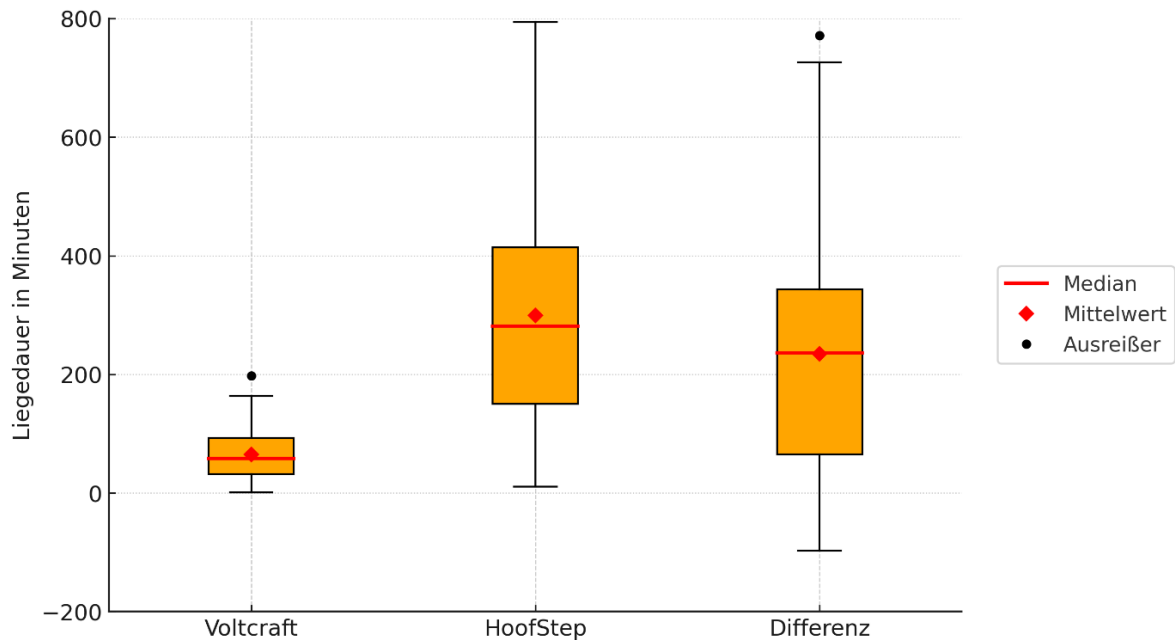


Abbildung 2 Boxplot - Verteilung der Liegezeiten und Differenzen

In nur 12,5 % (n=16) der insgesamt 128 von Voltcraft aufgezeichneten Liegeereignisse wurde die Dauer der Liegezeit vom HoofStep-System annähernd korrekt erfasst. In diesen Fällen wich die vom HoofStep-System gemessene Liegedauer um weniger als fünf Minuten von der Referenzmessung ab. In 51,6 % (n=66) der Fälle wurde das Liegen vom HoofStep zwar erkannt, jedoch gab es keine annähernde Übereinstimmung der Zeitdauer, und in 35,9 % (n=46) wurde kein Liegen vom HoofStep aufgezeichnet, obwohl die Pferde laut Voltcraft gelegen sind. (Abb. 3)

Von den insgesamt 996 durch Voltcraft als Stehphasen eingestuften Stunden zeigte sich in 48,2 % (n=480) eine korrekte Übereinstimmung mit dem HoofStep-System. In 51,8 % (n=516) erkannte HoofStep jedoch während dieser Stunden auch Liegen mit sehr unterschiedlicher Dauer, was für falsch positive Ergebnisse spricht. (Abb. 3)

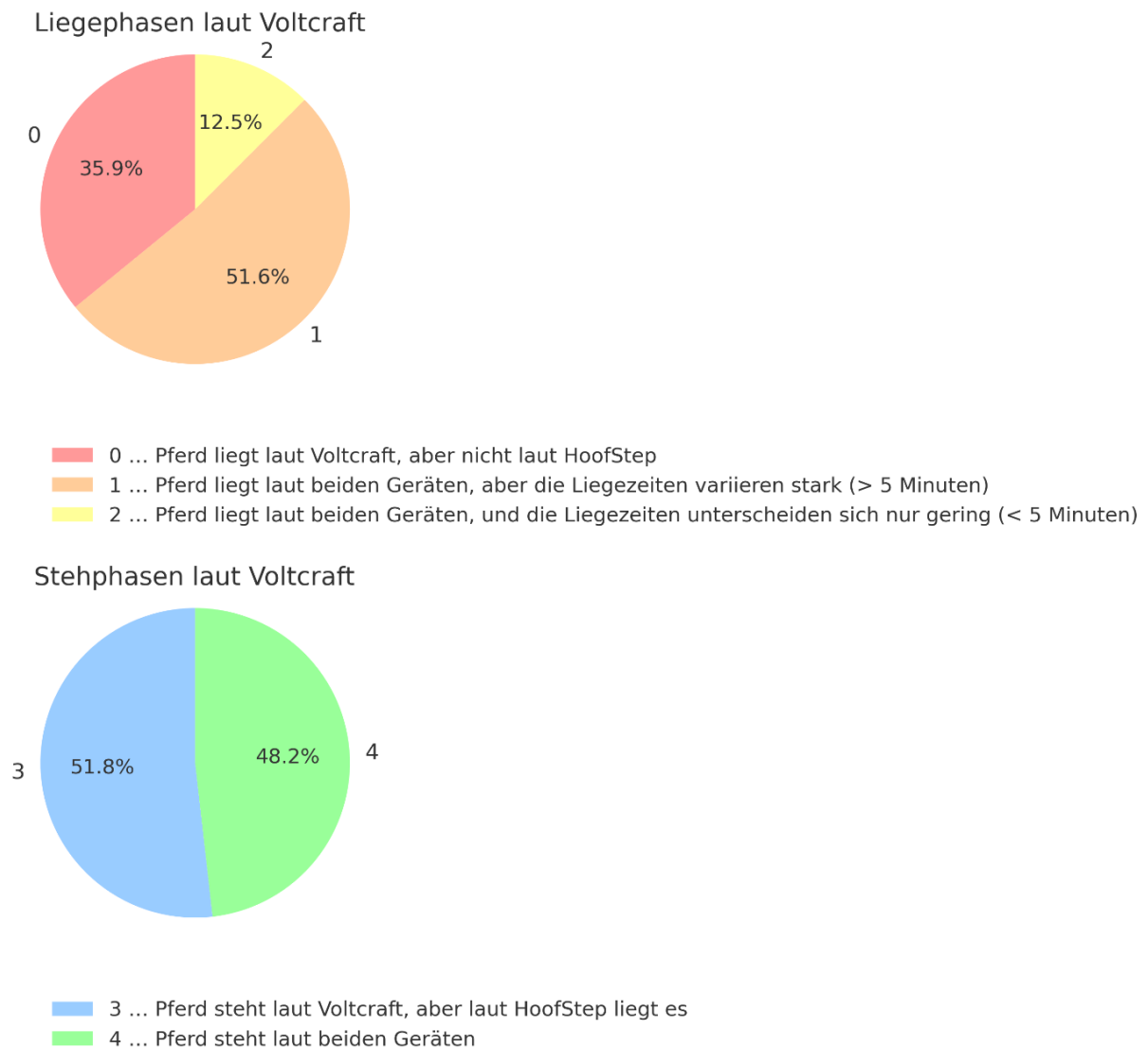


Abbildung 3 Relative Häufigkeit der Codierung - Voltcraft vs. HoofStep

Um die Beziehung zwischen den beiden Systemen zu veranschaulichen wurde ein Scatterplot erstellt. Dieser zeigt, dass die Datenpunkte weit gestreut und nicht entlang der Idealgeraden ($y = x$) verteilt liegen. (Abb. 4) Im Idealfall sollten alle Punkte auf der Gerade liegen, da die beiden Messgeräte bei korrekter Funktionsweise dieselbe Zeitdauer messen sollten. Die erhaltenen Ergebnisse weisen auf einen fehlenden linearen Zusammenhang hin. Die statistische Korrelationsanalyse mittels Pearson-Koeffizient ergab einen Wert von $r = -0,016$ mit einem

p-Wert von 0,92. Damit weisen die Messwerte beider Systeme keine signifikante Übereinstimmung auf.

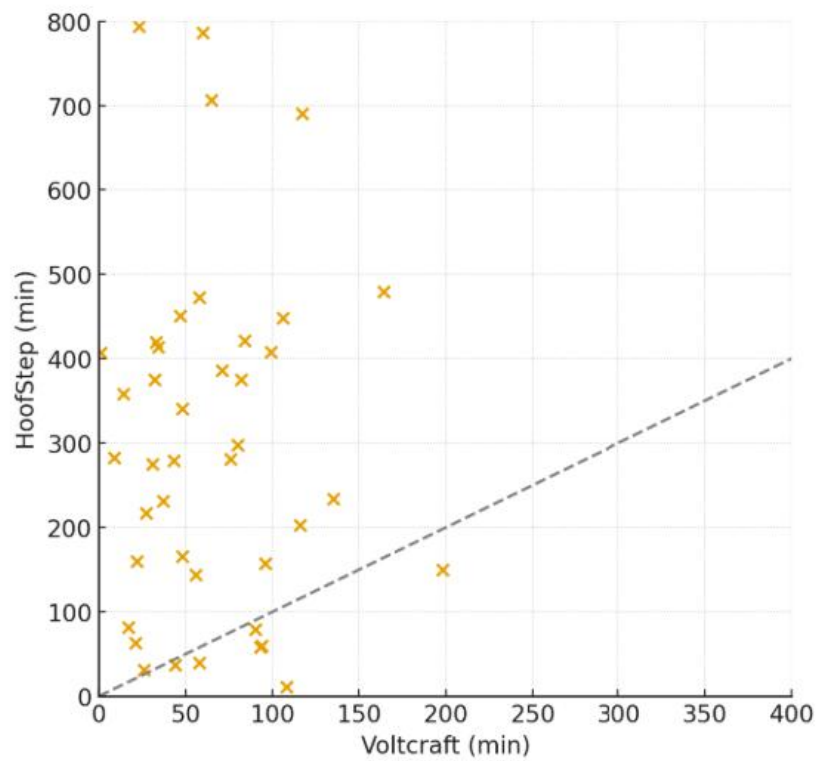


Abbildung 4 Vergleich der Gesamtliegezeit pro Tag Scatterplot inkl. Vergleichsgerade ($y=x$)

5 Diskussion

5.1 Bewertung der Messergebnisse

Die vorliegende Studie zeigt, dass der am Kopf befestigte HoofStep Sensor ungeeignet zur Erfassung des Liegeverhaltens von Pferden ist. Die Ergebnisse zeigen eine geringe Übereinstimmung mit den Messwerten eines am Bein montierten Accelerometers. Die deutlichen Unterschiede der Gesamtliegezeit pro Tag deuten auf eine systematische Überschätzung der Liegedauer durch das HoofStep-System hin.

Die Analyse der stundenweisen codierten Messdaten offenbart deutliche Diskrepanzen zwischen den Geräten. Besonders auffällig ist, dass lediglich 12,5 % der insgesamt 128 von Voltcraft registrierten Liegeereignisse vom HoofStep-System mit einer vergleichbaren Dauer erfasst wurden (Codierung 2). In diesen Fällen wich die gemessene Liegezeit um weniger als fünf Minuten vom Referenzwert ab, was als akzeptable Übereinstimmung gewertet werden kann.

Demgegenüber steht, dass in 51,6 % der Fälle (Codierung 1) zwar grundsätzlich ein Liegeverhalten erkannt wurde, jedoch mit erheblichen Abweichungen in der gemessenen Dauer (> 5 Minuten). Dies lässt sich möglicherweise auf Unterschiede in der Auswertung oder Interpretation von Bewegungsmustern durch den von HoofStep verwendeten Algorithmus zurückführen.

Problematisch ist der hohe Anteil von 35,9 % an falsch-negativen Erkennungen (Codierung 0) zu bewerten. In diesen Fällen wurde laut Voltcraft ein Liegeverhalten festgestellt, während HoofStep keine entsprechende Aktivität verzeichnete. Diese Fehlmessungen könnten im praktischen Einsatz besonders problematisch sein, da sie relevante Ruhephasen unberücksichtigt lassen.

Ebenfalls problematisch ist, dass das HoofStep-System Liegeereignisse detektiert, während das Voltcraft-Gerät keine Liegephasen registrierte (falsch-positive Erkennungen). Dies traf auf 51,8 % der Fälle zu, in welchen Voltcraft Stehverhalten aufzeichnete. Dieses Ergebnis erklärt weshalb HoofStep trotz vieler falsch negativer Ergebnisse dennoch in Summe eine deutlich höhere Gesamtliegedauer aufweist als das Vergleichsgerät.

5.2 Mögliche Ursachen für die Abweichungen

Ein zentraler Aspekt dieser Untersuchung ist der direkte Vergleich zweier unterschiedlicher Accelerometer-Systeme. Dadurch ergibt sich ein potenzielles Problem. Die Wahrscheinlichkeit fehlerhafter Anbringung oder Sensoreinschränkungen ist höher als bei Studien, die nur ein Gerät verwenden und die Messwerte mit einer externen Referenz wie zum Beispiel Videoaufnahmen abgleichen. Jedoch ist auch zu beachten, dass dafür durch den Menschen verursachte Beobachtungsfehler wegfallen, welche ebenso fehleranfälliger sein können und sich folglich auch positiv auf die Ergebnisauswertung auswirken kann.

Ein weiterer möglicher Grund für die Abweichungen liegt im nicht öffentlich bekannten Algorithmus des HoofStep-Systems. Da nicht klar ist, nach welchen Kriterien das Gerät Bewegungen als Stehen oder Liegen einstuft, kann nicht beurteilt werden, ob die Fehler bereits durch die interne Verarbeitung der Rohdaten entstehen.

Eine fehlerhafte Anbringung der Sensoren wäre ebenfalls möglich, erscheint jedoch als Ursache eher unwahrscheinlich. Da die Positionierung regelmäßig überprüft wurde und die Anbringung bei allen Pferden nach identischem Schema erfolgte.

Die Umrechnung von Prozent in Minuten kann außerdem eine leichte Abweichung der Zeiten begünstigen, da hierbei gerundete Zahlen verwendet wurden und nicht die Originalwerte. Jedoch handelt es sich hier um keine signifikanten Unterschiede.

5.3 Einfluss der Sensorposition auf die Datenqualität

Die Hypothese dieser Arbeit lautete, dass sich das Liegeverhalten mit dem HoofStep aufgrund seiner Anbringungsweise am Kopf weniger exakt darstellen lässt als mit einem am Bein befestigten Accelerometer. Der Grund dafür war die Annahme, dass der Kopf für die Messung der Lage im Raum kein geeignetes Körperteil ist. Die beobachteten Unterschiede zwischen dem HoofStep-System und dem Referenzgerät Voltcraft scheinen diese Hypothese zu unterstützen. Während das Beinaccelerometer klare Lageveränderungen beim Übergang vom Stehen ins Liegen registrieren konnte, wie eine andere Diplomarbeit zeigte, kam es beim am Kopf befestigten HoofStep-Sensor zu einer deutlich geringeren Übereinstimmung.

So wurde auch in früheren Arbeiten bereits berichtet, dass ein am Kopf befestigtes Accelerometer nicht immer zuverlässig zwischen verschiedenen Bewegungsmustern

unterscheidet. Ein solches System eignet sich zwar besonders gut zur Erfassung des Fressverhaltens, da der Kopf das aktivste Körperteil beim Grasen oder Heufressen ist, während der restliche Körper hierbei weitgehend unbewegt bleibt. Für die Erfassung anderer Bewegungsmuster, einschließlich des Liegeverhaltens, wird jedoch von der genannten Studie ein am Bein befestigtes Accelerometer empfohlen. (22) DuBois et al. (2015) erreichten beispielsweise mit einem vertikal montierten Beinaccelerometer eine Klassifikationsgenauigkeit von über 99 % für Stehen vs. Liegen. (17) Auch Eerdekens et al. (2020) konnten mit nur einem Sensor am Vorderbein sieben unterschiedliche Verhaltensmuster mit hoher Präzision ($> 99\%$) erkennen. (23)

Eine Studie von 2023 zeigte, dass nur am Vorderbein eine Differenzierung zwischen Brust- und Seitenlage möglich ist, da das Hinterbein in den beiden Positionen zu wenig Lageunterschied zeigt. (21) Eine ähnliche Problematik zeigt auch die Anbringung am Kopf. Hier befindet sich der Sensor sowohl in Brustlage als auch im Stehen in ähnlicher räumlicher Ausrichtung. Daraus ergeben sich nahezu identische Sensorwerte, was die Unterscheidung zwischen den beiden Zuständen erschwert. Es kann dadurch entweder zu falsch positiven oder aber auch falsch negativen Ergebnissen kommen.

Folgend abgebildet ist die Veränderung der Raumlage eines am Bein befestigten Sensors zwischen Steh- (links) und Liegeposition (rechts). Die Achsen X, Y und Z zeigen eine deutliche Umlagerung im Raum. (Abb. 5)

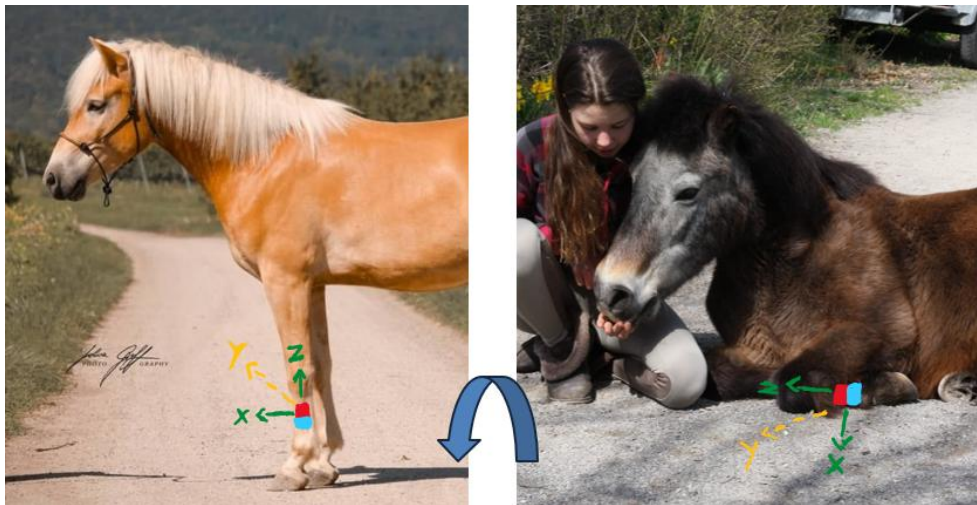


Abbildung 5 Sensorpositionierung am Bein
Quelle: eigene Aufnahme (2020)

Vergleichend dazu sieht man im untenstehenden Bild die Veränderung der Raumlage eines am Kopf befestigten Sensors zwischen Steh- (links) und Liegeposition (rechts). Die Raumorientierung bleibt weitgehend ähnlich und es kommt lediglich zu einer Abwärtsbewegung, wodurch eine eindeutige Unterscheidung erschwert wird. Es kann leicht zu falsch positiven Ergebnissen kommen, wenn das Pferd den Kopf im Stehen absenkt. (Abb. 6)

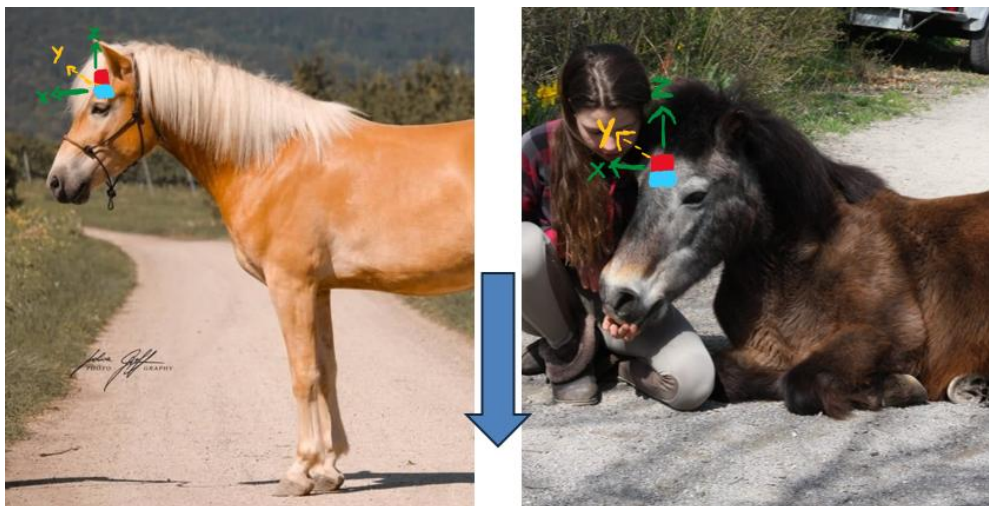


Abbildung 6 Sensorpositionierung am Kopf
Quelle: eigene Aufnahme (2020)

Auch Pirinen et al. (2020) berichten von ähnlichen Problemen. In dieser Studie wurden unterschiedliche Verhaltensmuster bei Fohlen mit einem am Schweif befestigten Accelerometer detektiert. Die Ergebnisse zeigten, dass der Schweif in Steh- und Gehposition eine vergleichbare Ausrichtung aufwies und dadurch eine Unterscheidung nicht möglich war. In beiden Fällen, egal ob Montage am Schweif oder wie in dieser Studie am Kopf, führt die geringe Lageveränderung bei Verhaltensänderungen zu ähnlichen Signalprofilen, was die genaue Aktivitätserkennung verhindert. (24)

5.4 Zukünftige Forschungsperspektiven

Aufgrund der deutlichen Abweichungen zwischen den beiden Systemen wäre es sinnvoll, die Studie mit einer zusätzlichen externen Kontrollmethode zu wiederholen. Videoüberwachung oder direkte Verhaltensbeobachtung könnten genauere Rückschlüsse darauf ermöglichen, ob die Unterschiede zwischen den beiden Systemen durch technische Messfehler, fehlerhafte Anbringung oder tatsächliche Limitierungen des HoofSteps entstehen.

Um die allgemeine Funktion von HoofStep zu testen, wäre es interessant andere Aktivitätsmuster mit der in dieser Studie verwendeten Methode zu untersuchen. Beispielsweise könnte die Auswertung des soeben erwähnten Fressverhaltens zusätzliche Erkenntnisse über die generelle Eignung eines am Kopf befestigten Sensors für die Verhaltens- und Bewegungsanalyse von Pferden liefern.

Außerdem könnte man in weiteren Studien überprüfen, ob HoofStep am Bein und umgekehrt Voltcraft am Kopf bessere Übereinstimmungen erbringen würden. Untersuchungen, ob der HoofStep Sensor am Bein genauere Ergebnisse liefert, könnte die generelle Funktion des Gerätes kontrollieren und würde die Hypothese, dass der Kopf kein geeigneter Ort für die Anbringung ist, bestätigen. Die Größe des Sensors könnte sich jedoch bei einer alternativen Montage als hinderlich erweisen.

6 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Messungen des HoofStep-Systems in dieser Studie nicht in ausreichender Weise mit den Referenzwerten des Voltcraft-Systems übereinstimmen. Es ergaben sich deutliche Abweichungen sowohl in der täglichen Gesamtliegedauer pro Pferd als auch in der Erkennung einzelner Liegephasen. Eine Korrelation zwischen den beiden Datensätzen konnte nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Sensorposition am Kopf für die Detektion vom Liegeverhalten ungeeignet ist: Lageänderungen zwischen Stehen und Liegen führen am Kopf nur zu geringen Orientierungsunterschieden, wodurch Fehlklassifikationen begünstigt werden.

In der praktischen Anwendung könnten solche fehlerhaften Aufzeichnungen zu Fehleinschätzungen der Ruhe- und Schlafphasen eines Pferdes führen und somit das Management- und Tierwohl-Monitoring erheblich verfälschen. Eine scheinbar ausreichende Liegedauer könnte in Wirklichkeit einen wichtigen Hinweis auf Schlafmangel, orthopädische Einschränkungen oder Erkrankungen überdecken.

Für eine erneute Anwendungsbewertung sind daher Folgestudien mit externer Referenz (z.B. Videoaufzeichnung) erforderlich. Darüber hinaus sollte die Platzierung des Sensors systematisch untersucht werden, etwa durch eine Befestigung am Bein, um zu klären, ob die beobachteten Diskrepanzen primär positionsbedingt sind. Bis dahin erscheint der Einsatz kopfmontierter Accelerometer zur quantitativen Erfassung von Liegezeiten nicht zu empfehlen.

Literaturverzeichnis

1. Dallaire A. Rest behavior. Vet Clin North Am Equine Pract 1986; 2(3), 591–607, doi:10.1016/S0749-0739(17)30708-3.
2. Wöhr A-C. Schlafverhalten und Schlafstörungen beim Pferd. Pferdespiegel. 2022; 25(02):78–91, doi: 10.1055/a-1584-2470.
3. Kelemen Z, Grimm H, Long M, Auer U, Jenner F. Recumbency as an Equine Welfare Indicator in Geriatric Horses and Horses with Chronic Orthopaedic Disease. Animals. 2021; 11(11), 3189; doi:10.3390/ani11113189.
4. Kiefner LC. Untersuchungen zu Schlafstörungen beim Pferd: Narkolepsie versus REM-Schlafmangel. Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität. 2016.
5. Fuchs C. Narkolepsie oder REM-Schlafmangel? : 24-Stunden-Überwachung und polysomnographische Messungen bei adulten „narkoleptischen“ Pferden. Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität. 2017.
6. Kalus M. Schlafverhalten und Physiologie des Schlafes beim Pferd auf der Basis polysomnographischer Untersuchungen, Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität. 2014.
7. Luinge HJ, Veltink PH. Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers. Med Biol Eng Comput. 2005; 43(2):273–282, doi:10.1007/BF02345966.
8. Breves G, Diener M, Gäbel G, Bruckmaier RM, Gerstberger R, Fromm M, et al. Physiologie der Haustiere. 6. Auflage. Stuttgart: Thieme. 2022, doi:10.1055/b0000000456.
9. Blaszczyk K, van den Hoven R. Narkolepsie oder Schlafdeprivation – Schlafkrankheiten beim Pferd. pferde spiegel 2017; 20(02):69–74, doi:10.1055/s-0042-112433.
10. Belling TH. Sleep patterns in the horse. Equine Practice. 1990, 12, 22–26.
11. Haßenberg L. Ruhe und Schlaf bei Säugetieren. 2. Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften; 2011.

12. Kelemen Z, Grimm H, Vogl C, Long M, Cavalleri JMV, Auer U et al. Equine Activity Time Budgets: The Effect of Housing and Management Conditions on Geriatric Horses and Horses with Chronic Orthopaedic Disease. *Animals*. 2021, 11, 1867, doi:10.3390/ani11071867.
13. Fritz C, Maleh S. Zivilisationskrankheiten des Pferdes. Stuttgart: Thieme. 2020, doi:10.1055/b-006-166356.
14. Brehm W, Gehlen H, Ohnesorge B, Wehrend A. Handbuch Pferdepraxis. Stuttgart: Thieme. 2017, doi: 10.1055/b-004-129693.
15. Brown DD, Kays R, Wikelski M, Wilson R, Klimley A. Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Anim Biotelemetry*. 2013; 1(1):20, doi: 10.1186/2050-3385-1-20.
16. Naughton S. Wearable Monitors for Improved Equine Welfare. Master Thesis. Virginia: Polytechnic Institute and State University, 2022.
17. DuBois C, Zakrajsek E, Haley DB, Merkies K. Validation of triaxial accelerometers to measure the lying behaviour of adult domestic horses. *Animal*. 2015; 9(1):110–114, doi: 10.1017/S175173111400247X.
18. HoofStep. Monitor the horse's health | HoofStep - we give the horse a voice [Internet]. Aktualisierte Version. 2025 [zitiert 16. März 2025]. Verfügbar unter: <https://www.hoofstep.com/>.
19. Mathie MJ, Coster ACF, Lovell NH, Celler BG. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiol Meas*. 2004; 25(2):1-20, doi: 10.1088/0967-3334/25/2/r01.
20. Voltcraft. Bedienungsanleitung Voltcraft DL-131G [Internet]. 2013 [zitiert 22. März 2025]. Verfügbar unter: <https://www.bedienungsanleitung.ng/voltcraft/dl-131g/anleitung?p=6>.
21. Williams M, Hatto S. Evaluation of accelerometer fitting position, sampling intervals and data editing techniques for measuring equine lying postures when stabled. *Applied Animal Behaviour Science*. 2023; doi: 10.1016/j.applanim.2023.106036.

22. Fries M, Montavon S, Spadavecchia C, Levionnois OL. Evaluation of a wireless activity monitoring system to quantify locomotor activity in horses in experimental settings. *Equine veterinary journal*. 2017; 49(2):225–231, doi: 10.1111/evj.12568.
23. Eerdekens A, Deruyck M, Fontaine J, Martens L, Poorter E de, Joseph W. Automatic equine activity detection by convolutional neural networks using accelerometer data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2019.105139.
24. Pirinen N, Pastell M, Mykkänen A, McGowan C, Hyytiäinen H. Validation of a tail-mounted triaxial accelerometer for measuring foals' lying and motor behavior. *Journal of Veterinary Behavior*. 2020; 39:14–20, doi: 10.1016/j.jveb.2020.06.004.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 HoofStep Sensor Positionierung	10
Abbildung 2 Boxplot - Verteilung der Liegezeiten und Differenzen	16
Abbildung 3 Relative Häufigkeit der Codierung - Voltcraft vs. HoofStep.....	17
Abbildung 4 Vergleich der Gesamtliegezeit pro Tag Scatterplot inkl. Vergleichsgerade (y=x)	18
Abbildung 5 Sensorpositionierung am Bein.....	22
Abbildung 6 Sensorpositionierung am Kopf.....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pferde im Stall A.....	7
Tabelle 2: Pferde im Stall B.....	8
Tabelle 3: Übersicht der Messzeiträume Stall A & B	11
Tabelle 4: Gesamtliegezeit in Minuten, Differenz und prozentuelle Abweichung.....	14