

Der Effekt von SHS Performer auf die Bewegung des Pferdes

MSC Lotte Kraus, Dr vet Claudine Anen, 2025

Zusammenfassung

In Phase 3 der SHS-Studie wurde untersucht, wie sich der geklebte Hufschutz „SHS Performer“ im Vergleich zum Barhuf auf die funktionelle Bewegung von Sportpferden auswirkt. Mittels hochauflösender inertialer Sensordaten (Alogo Move Pro) wurden über 20 biomechanische Parameter im regulären Training und unter Parcoursbedingungen analysiert. Die Ergebnisse zeigen signifikante Verbesserungen in Schrittlänge (+45 cm), Schrittdynamik (Stride Ratio +1.23) und Energieeffizienz (−0.45 kcal pro Schritt) unter der Performer-Bedingung. Auch die Balancewerte belegen eine stabilere laterale Kontrolle auf den Wegen sowie eine verbesserte Landungsqualität mit homogeneren Schrittlängen. In der Sprungtechnik wiesen Pferde mit Performer einen deutlich steileren Absprungwinkel (+13°) und eine um 15% höhere Regelmäßigkeit auf. Die Daten unterstützen die Annahme, dass geklebter Hufschutz biomechanische Vorteile bietet, die sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Prävention von Überlastungen im Springsport fördern können.

Abstract

In Phase 3 of the SHS study, the effects of the glued hoof protection SHS Performer were investigated in comparison to barefoot conditions, focusing on sport horses' functional locomotion. Using high-resolution inertial sensor data (Alogo Move Pro), over 20 biomechanical parameters were analyzed during regular training and under jumping course conditions. The results show significant improvements in stride length (+45 cm), stride dynamics (Stride Ratio +1.23), and energy efficiency (−0.45 kcal per stride) under the Performer condition. Balance metrics revealed enhanced lateral control on curves and more consistent landing stride lengths. In terms of jumping technique, horses with Performer showed a markedly steeper take-off angle (+13°) and 15% higher regularity. The data support the assumption that glued-on hoof protection offers biomechanical advantages that can improve both performance and injury prevention in equestrian jumping sports.

Inhaltsverzeichnis

- Einleitung
- Methode
- Ergebnisse
- Literaturverzeichnis
- Abbildung- und Tabellenverzeichnis

Appendix

- Erläuterung Stride Ratio Index
 - Analyseablauf
-

1. Einleitung

Die Gesunderhaltung von Sportpferden setzt eine feine Abstimmung zwischen Ausrüstung, Trainingsmanagement und individueller Biomechanik voraus. Besonders der Huf als biomechanische Schnittstelle zum Boden spielt hierbei eine zentrale Rolle. In Phase 3 der SHS-Studie wird untersucht, wie sich die Anwendung des SHS Performer, eines geklebten Hufschutzes, im Vergleich zum Barhuf auf das Bewegungsverhalten von Sportpferden auswirkt.

Die beiden vorangegangenen Studienphasen haben bereits wichtige Erkenntnisse geliefert: In Phase 1 wurde durch subjektives Feedback der beteiligten Reiter und Pferdebesitzer deutlich, dass sich Pferde unter dem Performer häufig zufriedener und leistungsbereiter zeigten. Phase 2 konnte diese Wahrnehmungen durch objektive Bewegungsdaten stützen: Pferde mit SHS Performer zeigten signifikant verbesserte Werte in der Schrittregulierung, im Kraftaufwand pro Schritt und in der lateralen Balance.

In Phase 3 liegt der Fokus nun auf dem direkten Vergleich von Barhuf und Performer-Bedingung unter kontrollierten Bedingungen im Dressur- und Springtraining. Hierzu wird ein valides Set an biomechanischen Parametern erhoben, darunter Thoraxlift, Stride Ratio, Balance in Landung und Kurve, Sprungregularität, Geschwindigkeit und Energieverbrauch.

Der Einsatz von geklebt montierten Hufschutzsystemen ist ein noch junges, aber vielversprechendes Feld. Studien wie die von Takahashi et al. (2022) zeigen, dass geklebte Schuhe eine reduzierte Trachtenausdehnung und andere dynamische Anpassungen gegenüber genagelten Beschlägen aufweisen – was Rückschlüsse auf Stoßdämpfung und Komfort erlaubt (Takahashi et al., 2022).

Auch Untersuchungen zur Druckverteilung, etwa durch Gill et al. (2020), belegen, dass moderne Hufschutzsysteme den Sohlenkontakt homogener gestalten und potenziell überlastungsbedingten Schäden vorbeugen können (Gill et al., 2020).

Mit Phase 3 der SHS-Studie soll somit die Wirkung des SHS Performer auf die funktionelle Bewegung von Pferden unter Sportbedingungen differenziert dargestellt werden. Das Ziel ist es, objektive Entscheidungshilfen zur Wahl eines geeigneten Hufschutzsystems bereitzustellen – und damit zu mehr Fairness, Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Pferdesport beizutragen.

Referenzen:

Takahashi et al. (2022)

Takahashi Y, Yoshihara E, Takahashi T. „Comparison of Heel Movement Between two Different Glue-on Type Shoes and Nailed Shoes in Thoroughbreds.” *Journal of Equine Veterinary Science*, Juni 2022;113:103939. DOI:10.1016/j.jevs.2022.103939.

/ Kernaussage:

Die Studie fand keine signifikanten Unterschiede in der mediolateralen Fersenausdehnung zwischen herkömmlich genagelten und neuen, PU-basierten Glue-on-Hufschuhen in allen Gangarten, mit Ausnahme beim Trab, wo die sogenannten Hanton-Schuhe eine leicht verringerte Ausdehnung (–14%) und erhöhte Kontraktion (+11%) zeigten, jedoch ohne Veränderung der Gesamtbewegung. [PubMed+4PubMed+4Mad Barn USA+4](#)

Gill et al. (2020 Press/Hoof-Boot-Studie)

Gill J., Lynn G., Stratton T. „Evaluation of hoof pressure, contact area, and force using Fujifilm in booted and shod horses.” Präsentiert an der International Canine and Equine Locomotion Conference, 2020; später als Poster/Press publiziert von Western Kentucky University / Cavallo. Quelle (Press Release / Artikel):

Gill et al. zeigten, dass Cavallo Trek Hoof Boots im Vergleich zu Stahlbeschlägen signifikant niedrigerer Druck im Hufbereich und eine größere Kontaktfläche aufwiesen – was auf eine bessere Druckverteilung und Komfort bei hartem Untergrund hindeutet.

1 a) Praktische Relevanz

Die Leistungsfähigkeit von Sportpferden hängt maßgeblich von ihrer Bewegungsökonomie und -gesundheit ab. In der Pferdesportpraxis gewinnen neue Hufschutzsysteme zunehmend an Bedeutung – insbesondere geklebte Hufschuhe, die als Alternative zu genagelten Eisen oder dem Barhuf-Konzept zum Einsatz kommen. Aufbauend auf den Ergebnissen aus Phase 1 (subjektives Feedback) und Phase 2 (erste Datenanalyse von Bewegungsparametern), fokussiert Phase 3 auf den direkten Vergleich von Barhuf- und Performer-Bedingungen. Ziel ist es, die objektiven biomechanischen Effekte zu untersuchen, die mit der Anwendung des SHS Performer im Vergleich zum Barhuf einhergehen.

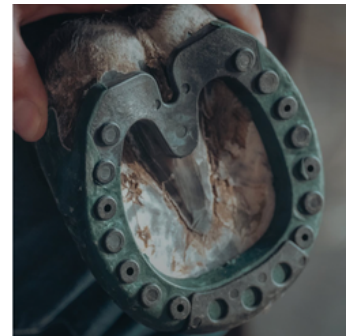


Abb. 1: Performer am Huf angebracht, rechts: Produktbilder SHS

Warum geklebte Hufschuhe?

Geklebte Hufschuhe gelten als moderne, flexible Alternative zu genagelten Eisen. Sie ermöglichen:

- bessere Stoßdämpfung (u.a. durch flexiblere Sohlen),
- reduzierte Belastung an der Hufwand,
- und eine potenziell natürlichere Abrollbewegung des Hufs.

Studien belegen, dass geklebte Beschläge die laterale und mediale Ausdehnung der Trachten (heel expansion) deutlich beeinflussen können. Takahashi et al. (2022) zeigten etwa, dass geklebte Schuhe aus Polyurethan im Trab eine 14% reduzierte Trachtenausdehnung und eine 11% höhere Fersenkontraktion aufwiesen – im Vergleich zu genagelten Beschlägen.

Auch eine Studie aus 2023 von Gill et al. untersuchte die Druckverteilung bei geklebten Schuhen (z. B. Cavallo Trek Boots) und zeigte eine deutlich homogenere Drucklast auf der Hufsohle gegenüber genagelten Eisen, mit potenzieller Relevanz für Prävention und Rehabilitation.

Die von SHS eingesetzten geklebten Performer-Beschläge bauen auf diesem Prinzip auf – allerdings mit sportartspezifischem Fokus, etwa auf maximalen Halt bei hoher Bodenbeanspruchung und Sprungeinsatz.

Wissenschaftlicher Ansatz

Alle Messungen erfolgen mit dem Alogo Move Pro Sensor, einer validierten, FEI-konformen Technologie, die auf Basis von Inertialsensorik und AI-Verarbeitung biomechanische Daten mit hoher Präzision liefert.

[3,6,7]

Die Analyse erfolgt in Excel, R, und python Code, pro Kondition werden mindestens 3000 verwertbare Schritte vorausgesetzt.

Erwartungen & Bedeutung

Die bisherigen Ergebnisse (Phase 2) weisen darauf hin, dass Pferde mit SHS Performer:

- regelmäßigere Trab- und Gallopschritte zeigen,
- mit reduzierter Kraft effizienter arbeiten,
- und potenziell weniger kompensatorische Bewegungen zeigen.

Phase 3 wird diese Ergebnisse durch kontrolliertes Studiendesign und erweiterte Parameter validieren. Die Resultate sollen helfen, objektive Entscheidungsgrundlagen für die Nutzung geklebter Hufschutzsysteme im Sportpferdebereich zu liefern – sowohl im Training als auch im Wettkampf.

Zielsetzung Phase 3

Phase 3 der Studie ist als kontrollierte Datenerhebung angelegt

Die Ergebnisse von Phase 2 legen nahe, dass der SHS Performer positiven Einfluss auf die Bewegungsökonomie von Pferden im Flatwork hat. Sowohl biomechanisch (längere, gleichmäßigere Schritte bei reduzierter Kraft) als auch subjektiv zeigt sich ein Gewinn an Komfort und Effizienz.

Diese Beobachtungen stützen die Zielsetzung von Phase 3, in der durch kontrolliertes Studiendesign und erweiterte Parameter (inkl. Balance & Sprungtechnik) noch detailliertere Aussagen getroffen werden sollen.

Methode

Studiendesign

Phase 3 der SHS-Studie wurde als kontrollierte Vergleichsuntersuchung konzipiert. Jedes der teilnehmende Pferde-Reiter-Paar absolvierte definierte Trainingseinheiten unter zwei Bedingungen:

- Condition 1: Barhuf
- Condition 2: SHS Performer (geklebter Hufschutz)

Die Reihenfolge der Bedingungen wurde zufällig variiert, um Trainingseffekte und Ermüdungseinflüsse zu minimieren. Jedes Pferd durchlief in beiden Bedingungen vergleichbare Szenarien in Flat Work, Springgymnastik, und Parcours-Springen. Der Parcours entspricht Alter und der jeweiligen Leistungsklasse von 90 cm (E, bzw. Jungpferde A) bis 135cm (M/S*).

Teilnehmer

Teilnahmeberechtigt waren Sportpferde mit regulärer Trainingsbelastung, die sich zum Zeitpunkt der Studie in gesundem Allgemeinzustand befanden (Bestätigung durch Reiter und Tierarzt) und mind. 1 Jahr barfuss belastet wurden. Die Auswahl umfasste Pferde im Alter von 4 – 10 Jahren aus dem Springsport.

- Pro Pferd / Kondition:
 - min. 2 Flatwork-Sessions
 - min. 2 Parcours-Sessions
- Reiter, Ausrüstung und Reitplatzbedingungen blieben konstant zwischen den Bedingungen.
- Keine Änderung bei Gebiss, Sattel, Gamaschen, Sporen etc. zwischen den Bedingungen.

Teilnehmer

Teilnahmeberechtigt waren Sportpferde mit regulärer Trainingsbelastung, die sich zum Zeitpunkt der Studie in gesundem Allgemeinzustand befanden (Bestätigung durch Reiter und Tierarzt) und mind. 1 Jahr barfuss belastet wurden. Die Auswahl umfasste vier Pferde im Alter von 4 – 10 Jahren aus dem Springsport.

Zwei Teilnehmer haben aus organisatorischen Gründen nicht ausgesetzt, ein Teilnehmer wurde aufgrund von Lahmheit ausgeschlossen.

	Gender	Age	Performance Level	Stable		
TN 1	gelding	10	130/140 cm (M/S*)	vdB SH		
TN 2	mare	6	100 cm (A)	ProHorse		
TN 3	gelding	9	115 cm (A **)	CJL		
TN 4	gelding	4	Young Horse	Stal Egberink		
TN 5	mare	4	Young Horse (4y)	Stal Egberink	drop out 1	lost PF
TN 6	mare	4	Young Horse	Hazan	drop out 2	compliance
TN 7	mare	4	Young Horse	Hazan	drop out 3	compliance

Tabelle 1: Teilnehmer und drop outs



Abb. 2: Springparcour auf Sand – Textile Boden (Locations: HV Rjdbodem, Sander Geerink Sporthose / Stal Egberink)

Messtechnologie

Die Bewegungsdaten wurden mittels des wissenschaftlich validierten Alogo Move Pro Sensors erhoben. Dieser wurde FEI-konform am Gurt befestigt (Vorderseite, mediane Position) und erfasst über GNSS und IMU-Technologie (Inertialsensorik) mit hoher zeitlicher Auflösung (200 Hz) die dreidimensionale Bewegung des Pferdekörpers.

Erhobene Parameter:

- Umgebungsparameter (Bsp: Temperatur)
- [STRIDE} Schrittparameter in allen Gaengen (Bsp: Schrittlänge)
- [JUMP] Springparameter (Bsp: Absprungwinkel)
- Balanceparameter (Bsp: Laterale Balance auf den Wegen)
- Analyseparameter (Bsp: Stride Ratio)

Für jede Bedingung wurden pro Pferd mindestens 3000 valide Gangparameter erhoben.



Abb. 3: Alogo Move Pro Sensor angebracht am Sattelgurt. Basierend auf GNSS und IMU Technologie.

Datenerfassung & Dokumentation

Die Messung erfolgte durch den Reiter selbst mithilfe der Alogo-App, nach Einweisung.

Jede Session wurde dokumentiert:

- Pferd
- Disziplin

Alle Daten wurden unmittelbar nach der Erhebung an das Analyse-Team von CJL Equine übermittelt und zentral gespeichert.

Datenaufbereitung & Analyse

Die Rohdaten wurden mittels Excel und R verarbeitet. Dabei wurden folgende Schritte durchlaufen:

1. Datenbereinigung: Entfernung fehlerhafter Schritte oder Sessions mit Störfaktoren
2. Aggregation von mind. 4 Datensätzen / Pferd für Schritt- und Sprunganalyse
3. Segmentierung: Einteilung in Schrittarten (Trab, Galopp, Sprung)
4. Segmentierung: Sprung, Wege zwischen den Sprüngen
5. Segmentierung: Approach (5 Strides) – Jump – Landing (5 Strides)
6. Segmentierung Landungsschritt (ID 1)
7. Aggregation: Berechnung der Mittelwerte/Mediane und Standardabweichungen pro Parameter und Bedingung
8. Korrelationsanalyse
9. Vergleichsanalyse:
 - intraindividuell (Pferd Barhuf vs Performer)
 - interindividuell (Gruppenvergleich)
 - Statistische Analyse
10. Interpretation mit Bezug auf funktionelle Zusammenhänge

Statistische Analyse

Für die Analyse der biomechanischen Parameter in Phase 3 der SHS-Studie wurde ein pragmatischer, datenzentrierter Ansatz gewählt. Die Auswertung erfolgt auf Einzeltierbasis mit dem Ziel, belastbare Unterschiede zwischen Barhuf- und Performer-Hufschutzbedingungen zu identifizieren.

Die folgenden Schritte definieren den statistischen Ablauf:

1. Analyselogik – intraindividuelle Vergleiche

Die Datenanalyse erfolgt innerhalb jedes Pferdes. Jedes Pferd liefert mindestens zwei Sessions unter Barhuf- und Performer-Bedingungen. Pro Session werden die definierten Analyseparameter berechnet. Je nach Verteilungsform werden Mittelwerte oder Medianwerte verwendet.

2. Prüfung der Datenverteilung

Für jeden Parameter wird die Verteilungsform geprüft:

- Visuelle Kontrolle (Histogramm, Boxplot)
- Shapiro-Wilk-Test, wenn ausreichend Werte vorliegen ($n \geq 8$)

3. Wahl des geeigneten Testverfahrens

- Bei normalverteilten Daten:
 - t-Test für gepaarte Stichproben (Barhuf vs. Performer)
- Bei nicht-normalverteilten Daten:
 - Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test oder deskriptiver Vergleich über Median und Spannweite
- Bei geringer Stichprobengröße ($n \leq 5$):
 - Kein Signifikanztest, sondern interpretative Bewertung anhand von Streuung, Abweichung und Effektstärke

4. Vergleichsparameter je Analyseart

- Metrische Parameter mit gleichmäßiger Verteilung
 - Mittelwert (MW) und Standardabweichung (STD)
- Parameter mit asymmetrischer Verteilung oder Ausreißergefahr
 - Median, Spannweite (Range) und ggf. Interquartilsabstand (IQR)

5. Visualisierung

- Balkendiagramme mit Fehlerbalken (SD oder Range)
- Linienplots für zeitliche Trends über Sessions
- Boxplots zur Darstellung nicht-normalverteilter Parameter

6. Bewertung der Relevanz

Signifikanz wird mit $p < 0,05$ bewertet. In Fällen ohne Signifikanztest erfolgt die Interpretation über Effektausmaß (z. B. %-Abweichung), Richtung der Veränderung und Konsistenz über Sessions hinweg.

Phase 3: Analyseparameter

Diese Parameter werden systematisch quantifiziert und dienen als Hauptkennzahlen für die wissenschaftliche Auswertung zum Vergleich Performer vs Barhuf

Sie ermöglichen eine differenzierte Analyse, wie sich das Hufschutzsystem auf die Bewegung auswirken. So können gezielt Verbesserungspotenziale identifiziert werden.

Parameter	Kategorie	Nr in Report
Schrittlänge (Stride Length)	Gesundheit + Leistung	9
Schritt- und Sprungkraft (Force)	Gesundheit	2
Energie (Energy)	Energie (Energy)	3
Gangregelmäßigkeit im Trab	Gesundheit	5
Gangregelmäßigkeit im Galopp	Gesundheit	6
Stride Ratio Index	Gesundheit + Leistung	4
Balance Longitudinal (allg.)	Leistung	7
Long. Balance Approach	Technik	11
Lat. Balance Approach	Technik	12
Schrittlänge Landung	Technik + Leistung	15
Long. Balance Landing	Technik	16
Lat. Balance Landing	Technik	17
Tempoentwicklung (Speed Evolution)	Leistung	10
Absprungwinkel (Take-Off Angle)	Technik	13
Laterale Balance auf den Wegen	Leistung	8
Sprungregelmäßigkeit	Technik	14
Anomalien	Gesundheit	1

Tabelle 2: Übersicht Analyseparameter:



Erläuterungen der Analyseparameter im
praktischen Zusammenhang

a] Gesundheit

.Anomalien / Fitness Index

Maschine Learning Algorithmus, trainiert an lahmen / gesunden Pferden

- Dieser Indikator wird verwendet, um vorausgehend zu bestimmen, ob die Untersuchungspferde 'gesund' sind, und fuer Untersuchungen im Sport herangezogen werden koennen. Der hieraus berechnete Fitness Index muss ueber 41% liegen, daruter wird das Pferd von der Untersuchung ausgeschlossen.

.Energie (Energy)

Ein zusammengesetzter Parameter, der verschiedene Bewegungsparameter korreliert.

- Wird genutzt, um den "motorischen Ausdruck" und die Leistungsbereitschaft zu beurteilen.

Siehe: Chateau et al. (2010), "A kinematic and energetic comparison of dressage and jumping horses"

Gangregelmäßigkeit im Trab (Trot Regularity)

Misst, wie symmetrisch die Bewegungen der diagonalen Beinpaare sind.

- Aufdecken von Asymmetrien, Lahmheitsfrüherkennung oder feinen Rittigkeitsproblemen.

Gangregelmäßigkeit im Galopp (Canter Regularity)

Bewertet die Konstanz des Dreitakt-Galopps – z.B. Taktfehler oder unruhige Übergänge.

- Relevant bei Ermüdung, Rückenverspannung oder schlechter Balance.

a] Allgemeine Locomotion

1. Schrittlänge (Stride Length)

Die horizontale Distanz, die ein Bein während eines Schritts zurücklegt – also von Abfußen bis erneutem Aufsetzen.

- Beurteilung der Losgelassenheit, Bewegungsökonomie und Raumgriff.

2. Schrittkraft (Stride Force)

Ein Maß für die vertikale Beschleunigung beim Abfußen – je höher, desto kraftvoller der Abdruck.

- Ein niedriger Wert kann auf Ermüdung oder Schonhaltungen hinweisen.

3. Energie (Energy)

Ein zusammengesetzter Parameter, der verschiedene Bewegungsparameter korreliert.

- Wird genutzt, um den "motorischen Ausdruck" und die Leistungsbereitschaft zu beurteilen.

Siehe: Chateau et al. (2010), "A kinematic and energetic comparison of dressage and jumping horses"

c] Dynamik und Kontrolle

1. Stride Ratio

Verhältnis zwischen Schritthöhe, Schrittlänge und Dauer – vereinfacht: wie viel Bewegung der Körper vertikal macht im Verhältnis zur Vorwärtsbewegung.

- Disziplinabhaengig. Ideal ist eine kraftvolle, aber ökonomische Bewegung. Hier wurde Regelmässigkeit als Qualitätskriterium gewertet

Siehe: Pfau et al. (2005), "Gait analysis of trotting horses: Stride parameters and symmetry"

2. Laterale Balance (auf den Wegen zwischen den Spruengen)

Bewertet die seitliche Neigung des Pferdes in Wendungen oder auf Linien mit Richtungswechsel.

- Starke Abweichungen deuten auf Balanceprobleme, einseitige Lastverlagerung oder schwache äußere Schulter hin.

3. Longitudinale Balance (Allgemein)

Erfasst die Vor-/Hinterhandlastverteilung während der Bewegung.

- Insbesondere im Gallop wichtig zur Beurteilung der Selbsthaltung und des Tragens. Vorhandlastigkeit kann auf Ermüdung oder Rückenprobleme hinweisen.

4. Longitudinale Balance in der Landung

Gibt an, ob das Pferd nach einem Sprung gleichmäßig ausbalanciert landet – oder z.B. zu stark „auf der Nase“ und wie effektiv es nach dem Sprung wieder zu einer guten Balance kommt.

- Ein Anzeichen für ungenügendes Aufrichten im Sprung oder fehlendes Kraftpotenzial in der Hinterhand.

b] Springen und Transfer

6. Longitudinale Balance im Anritt

Bewertet die Körperausrichtung vor dem Sprung – z. B. ob das Pferd „auf der Vorhand“ oder im Gleichgewicht ist.

- Ein vorhandlastiges Pferd springt flacher und mit höherem Risiko für Springfehler und Landungsüberlastung.



Abbildung 4: Peerformer auf sand – textil Boden

7. Laterale Balance im Anritt

Bewertet das seitliche Gleichgewicht im Anreiten – z. B. ob das Pferd auf eine Schulter kippt.

- Kann auf Unsicherheit in der Linie, falsche Hilfengebung oder ungleiche Lastverteilung hinweisen

6. Schrittlänge Landung

Die Distanz des ersten Schritts nach einem Sprung – ein Indikator für Vorwärtsfluss, Balance und Losgelassenheit.

- Ein im Vergleich verkürzter Landungsschritt weist oft auf vorsichtiges Springen, muskuläre Ermüdung oder Schmerzen hin.

7. Tempoentwicklung (Speed Evolution over the Course)

Analysiert die Geschwindigkeitsveränderung über die Zeit – zeigt, ob das Pferd z. B. konstant, beschleunigend oder verlangsamt geht.

- Eine abfallende Kurve kann Ermüdung oder mentale Spannung anzeigen; abrupte Wechsel deuten auf Kontrollprobleme.

8. Absprungwinkel (Take-Off Angle)

Gibt an, in welchem Winkel das Pferd abdrückt – also wie steil oder flach es abspringt.

- Flacher Winkel = Risiko für Stangenfehler; steiler Winkel = höhere Belastung der Hinterhand. ein steiler Absprungwinkel gilt als Indikator fuer eine gute Show Jumping Springtechnik.



Ergebnisse

- Zusammenfassung von Phase 2
- Ergebnisse Phase 3

Zusammenfassung Phase 2

Vergleich von zwei Fallbeispielen Barhuf vs Performer (Flatwork)

In Phase 2 wurden zwei Konditionen analysiert:

- Barhuf
- SHS Performer

Ergebnisse im Überblick (Durchschnittswerte)

Parameter	Barhuf	SHS Performer	Veränderung / Tendenz
Thorax Lift	0,16	0,18	↑ leicht erhöht
Trot Regularity	88,5	90	↑ verbessert
Canter Regularity	82,5	89	↑ deutlich verbessert
Stride Length	2,17 m	2,765 m	↑ deutlich verlängert
Stride Height	0,16 m	0,18 m	↑ erhöht
Duration	0,585 s	0,625 s	↑ etwas länger
Stride Ratio	0,274	0,288	↑ leicht erhöht
Stride Force	2,0 N	1,8 N	↓ reduziert

Datentabelle 1: Analyseparameter Phase 2

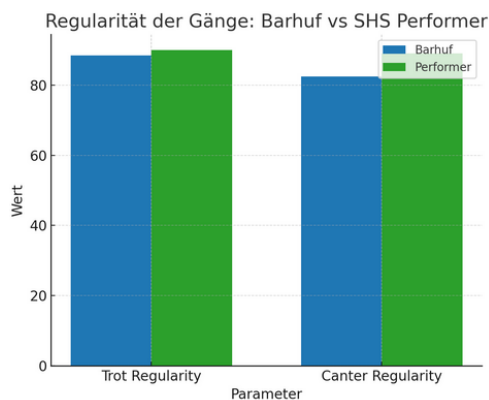


Chart 1: Vergleich der Gangregelmässigkeit

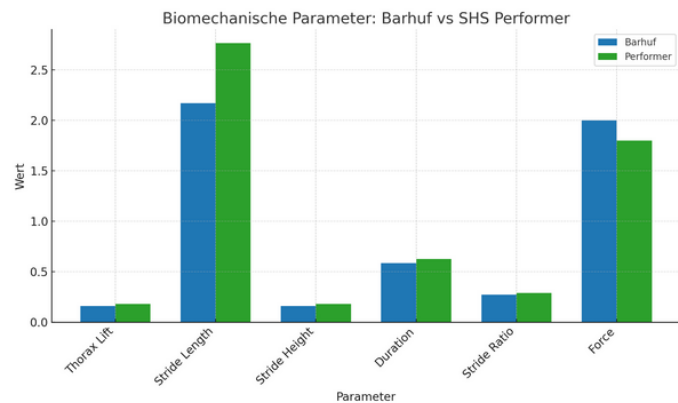


Chart 2: Vergleich der Analyseparameter

Interpretation

- Der größte signifikante Unterschied zeigt sich in der Schrittlänge: Mit dem Performer verlängerte sich die durchschnittliche Schrittlänge signifikant um ca. 27cm, was auf einen freieren Bewegungsablauf hinweist.
- Gleichzeitig sank die erforderliche Kraft pro Schritt (Force) um 0,2 N – ein Zeichen für höhere Effizienz und geringere Belastung.
- Die Regelmäßigkeit der Gänge (Trot und Canter Regularity) verbesserte sich unter Performer-Bedingung deutlich.
- Auch die Stride Ratio (Längen-Zeit-Verhältnis) sowie die vertikale Dynamik (Thoraxlift, Stride Height) waren unter Performer-Einfluss erhöht, was für eine aktivere Bewegungsqualität spricht.

Fazit Phase 2

Die Ergebnisse legen nahe, dass der SHS Performer positiven Einfluss auf die Bewegungsökonomie von Pferden im Flatwork hat. Sowohl biomechanisch (längere, gleichmäßigere Schritte bei reduzierter Kraft) als auch subjektiv zeigt sich ein Gewinn an Komfort und Effizienz.

Diese Beobachtungen stützen die Zielsetzung von Phase 3, in der durch kontrolliertes Studiendesign und erweiterte Parameter (inkl. Balance & Sprungtechnik) noch detailliertere Aussagen getroffen werden sollen.



Ergebnisse Phase 3

Ergebnisse

Vergleich von Barfuss vs. Performer

Überblick über die Ergebnisse von Phase 3.

Parameter	Einheit	Auswertung	Barhuf Ergebnis	Performer Ergebnis
Schrittlänge (Stride Length)	m	Avg + STD	2.75 ± 0.13	3.20 ± 0.82
Schrittkraft (Stride Force)	G	Avg	2,69	2,22
Energie (Energy)	kcal	Avg	4.19 ± 0.58	3.74 ± 0.98
Gangregelmäßigkeit im Trab	%	Wert	91	89
Gangregelmäßigkeit im Galopp	%	Wert	89	86
Stride Ratio	Index	Avg + STD	12.48 ± 2.1	13.71 ± 1.90
Balance Longitudinal (allg.)	*	Avg	0.44 F	2,24 B
Long. Balance Approach	*	Median / IQR / Range	6.05 / 10.38 / 31.63	4.1 / 9 / 45
Lat. Balance Approach	*	Median / Range / IQR	0.83 / 26.41 / IQR 8,15	0.8 F / 7.2 / ..
Schrittlänge Landung	m	Avg + STD + Range	2.11 ± 0.82 / 3.51 (1.16 - 4.67)	2.70 ± 0.10 / 0.40
Long. Balance Landing	*	Median / IQR / Range	0.8 F / 4.4 / 27	1.72 B / 7.53 / 31.63
Lat. Balance Landing	*	Median + Range	0.1 / 8.7	1.21 / 6.91
Tempoentwicklung (Speed Evolution)	m/min	Avg / STD + Min - Max / Range	346.11 ± 54.85 / 186-513 / 327	382 ± 21 / 325-415 / 90
Absprungwinkel (Take-Off Angle)	*	Avg / Min - Max / Range	20.7 / 10.0 - 29.9 / 19.9	33.08 / 23.66 - 44.70 / 21.04
Laterale Balance auf den Wegen	*	Median / Range / IQR	5 / 37.8 / 3.4	0.2 / 27.9 / 5
Sprungregelmässigkeit	%	Avg	67	82
Anomalien	Index	Avg / Min - Max / Range	53 / 27 - 79 / 52	79 / 68 - 85 / 17

Datentabelle 2: Überblick der Ergebnisse Barfuss vs Performer

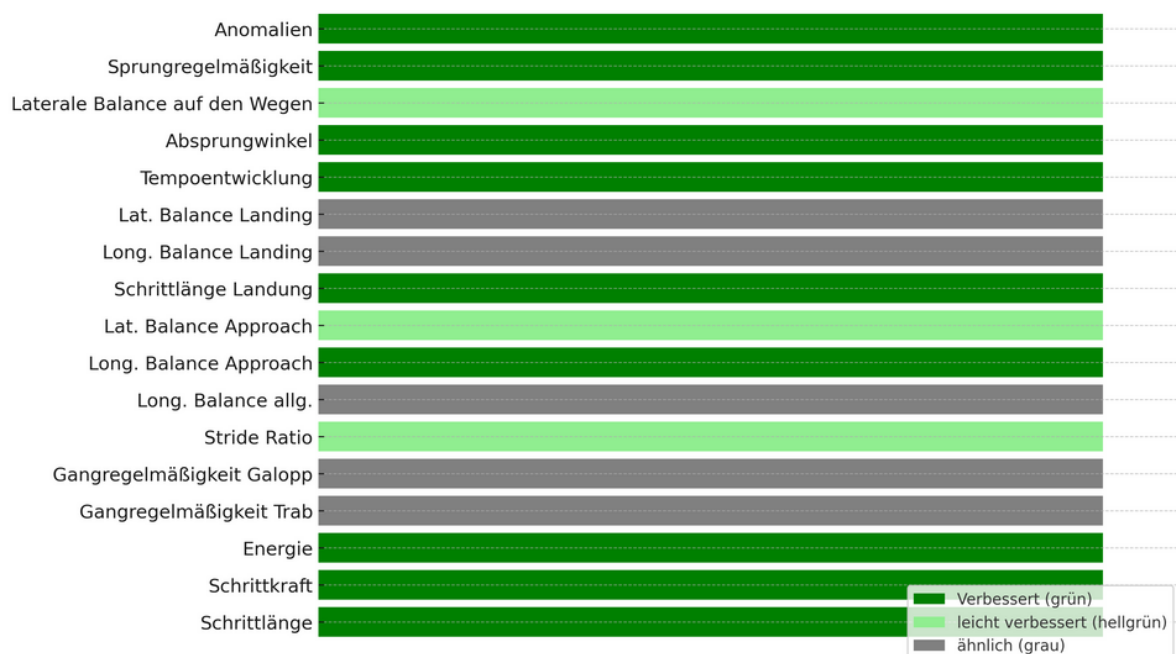


Chart 3: Visuelle Darstellung des Effektes von Performer Hufschutz

Ergebnisse: Gesundheit

1. Anomalien (%)

Anomalien sind von einem Machine Learning Algorithmus identifizierte Bewegungsanomalien. Eine hohe Zahl Anomalien weisen auf Diskomfort oder sogar Lahmheit hin.

Die Pferde zeigen mit Hufschutz **mit 26% signifikant weniger Anomalien im Trab.**

Interpretation: **Ein starker Indikator fuer eine gesuendere Bewegung**

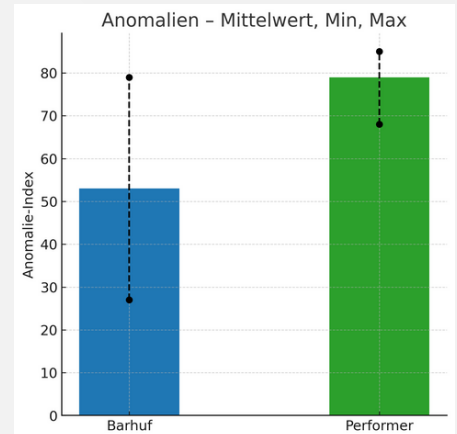


Chart4: Ergebnisse Anomalien

Anomalien	Index	Avg / Min - Max / R	53 / 27 - 79 / 52	79 / 68 - 85 / 17
-----------	-------	---------------------	-------------------	-------------------

Datentabelle 3: Ergebnisse Anomalien

2. / 3. Arbeitsaufwand

Der Arbeitsaufwand wird durch die a) Schrittkraft im Galopp und der Kraft im Absprung, und den b) benötigten kalkulierten Energiebedarf ermittelt.

a) Kraftaufwand im Galopp und im Absprung

Es zeigt sich ein signifikant geringerer Kraftaufwand im Absprung und verminderter Energieaufwand in den Schritten.

b) Energie

Die Pferde verwenden weniger Energie fuer Gallopspruenge und Absprung.

Interpretation: Der Arbeitsaufwand ist fuer die Pferde geringer mit Hufschutz. Dies kann durch eine verbesserte Technik und oder verminderter Stabilisierungskraft (durch verbesserten Grip) in Zusammenhang gebracht werden. [6,7]

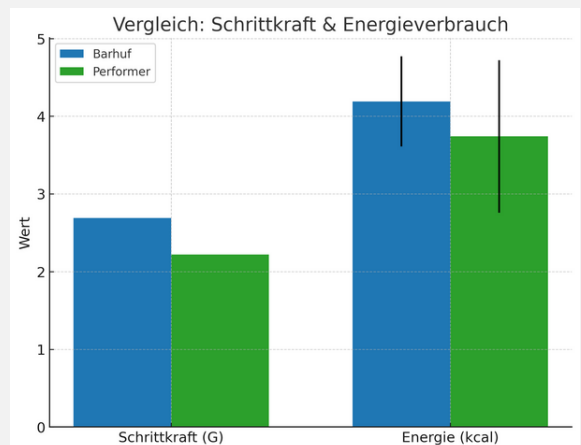


Chart 5: Ergebnisse Kraft und Energie

Schritt & Absprungkraft (Stride /Jump Force gemittelt)	G	Avg	269	222
Energie (Energy)	kcal	Avg	4.19 ± 0.58	3,74 ± 0.98

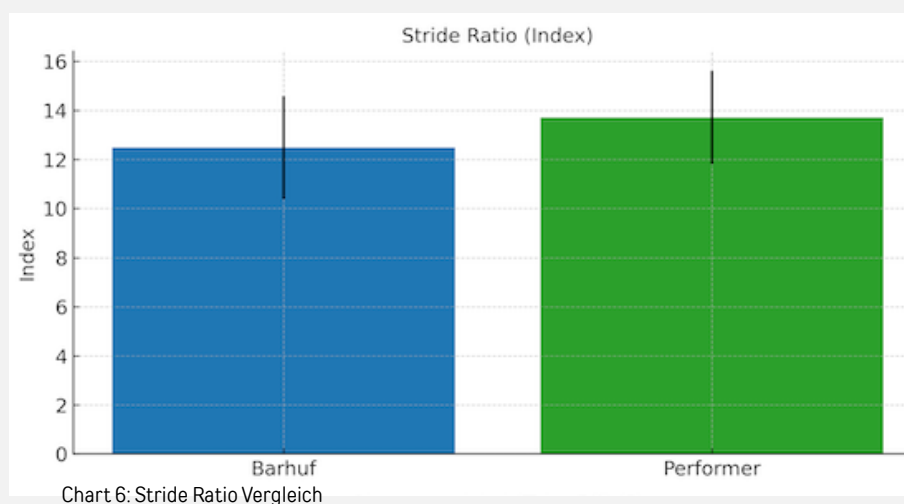
Datentabelle 4: Ergebnisse Kraft und Energie

4. Gallopdynamik

Die Stride Ratio verwendet den Thorax Lift (auch Schritthöhe), Schrittlänge und die Dauer des Schrittes.

Ein **von 12,48 auf 13,71 erhöhter Stride Ratio Index** spricht für ein dynamischeres Abfassen der Pferde mit Hufschutz. [1,2,4,5]

Dies ist ein besonders starkes Qualitätskriterium im Zusammenhang mit der verringerten Energieaufwendung.



Stride Ratio	Index	Avg + STD	12.48 ± 2.1	13.71 ± 1.90
--------------	-------	-----------	-------------	--------------

Datentabelle 5: Ergebnisse Stride Ratio

5. / 6. Gangregelmäßigkeit im Trab und Galopp

Die Gangregelmäßigkeit, (vor allem im Trab) weist auf Ganggesundheit, und wird in der Alogo Analyse als gut bezeichnet, wenn sie über 85 % liegt. [2,6,5]

Sie ist in beiden Konditionen gut, und deutet auf lahmfreie Pferde in der Untersuchung hin.

Gangregelmäßigkeit im Trab	%	Wert	91	89
Gangregelmäßigkeit im Galopp	%	Wert	89	86

Datentabelle 6: Gangregelmäßigkeit im Trab und Galopp

Ergebnisse: Leistung

Balance auf den Wegen

7. Longitudinale Balance

Mit Performer Hufschutz **balancieren die Pferde um 3Grad mehr auf der Hinterhand.**

im Flatwork zeigt sich kein Unterschied.

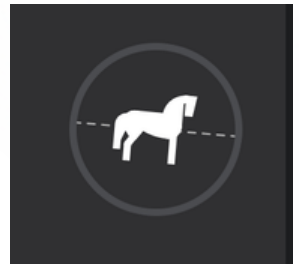


Abb 5: Longitudinale Balance

8. Laterale Balance

Ein deutlicher positiver Unterschied zeigt sich in der Balance auf den Wegen in der lateralen Balance mit eine **deutlich (10 Grad) verringerten Spannweite**. Das hisst pragmatisch, dass die Pferde mit Hufschutz mehr Stabilitaet in Kurven zeigen.

Interpretation: Eine verbesserte seitliche Stabilitaet laesst sich durch den besseren Grip erklären.

Praktischer Zusammenhang: Dies kann ein Vorteil in Speed Kursen und Jump Offs sein, und ist der Entwicklung von Sicherheit und Selbstvertrauen von jungen oder unerfahrenen Pferden dienlich.

[1,4,8]

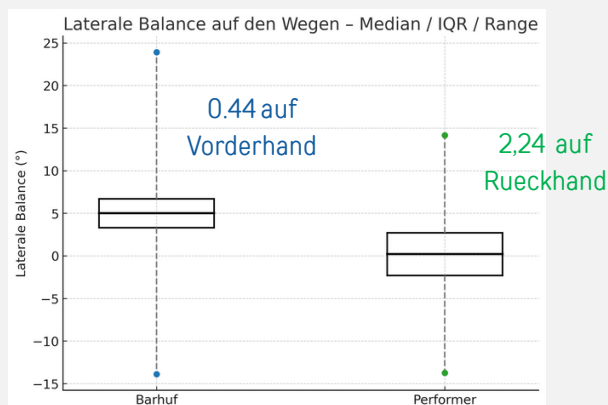


Chart 7: Ergebnisse Balance

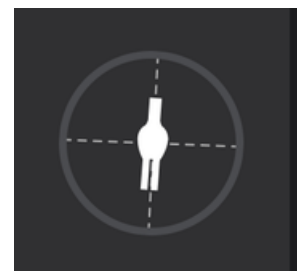


Abb 6: Laterale Balance

Balance Longitudinal (allg.)	◦	Avg	0.44 F	2,24 B
Laterale Balance auf den Wegen	◦	Median / Range / IQR (Q3-Q1)	5 / 37,8 / 3,4	0.2 / 27.9 / 3.4

Datentabelle 7: Ergebnisse Balance

9. Schrittlänge

Die **signifikant um gemittelt 45 cm verlaengerte Schrittlänge in Kombination mit einer erhöhten Schrittdynamik (Stride Ratio) ist ein starker Hinweis** auf eine verbesserte motorische Leistungsfähigkeit.

Ursachen fuer eine reduzierte Schrittlänge koennen Diskomfort, muskulaere Einschraenkungen, und Ermuedung sein. Da die Veraenderung sofort nach Umstellung erfolgte, weist auf Diskomfort bei den Barfuss Pferden hin. Diese These kann zusaetzlich durch die geringere Schrittdynamik (= Stride Ratio) und eine erhoehte Kadenz unterstuetzt werden.[1,2,4,6]

Die Schrittlänge ist ein etablierter biomechanischer Marker zur Beurteilung von Bewegungsoekonomie und Losgelassenheit des Pferdes (Clayton & Hobbs, 2017; Pfau et al., 2012). Studien mit inertialen Sensorsystemen zeigen, dass Veränderungen in der Stride Length auch als sensibles Maß für Ermüdung (Rhodin et al., 2022) und asymmetrische Belastung (Hobbs et al., 2014) dienen koennen.

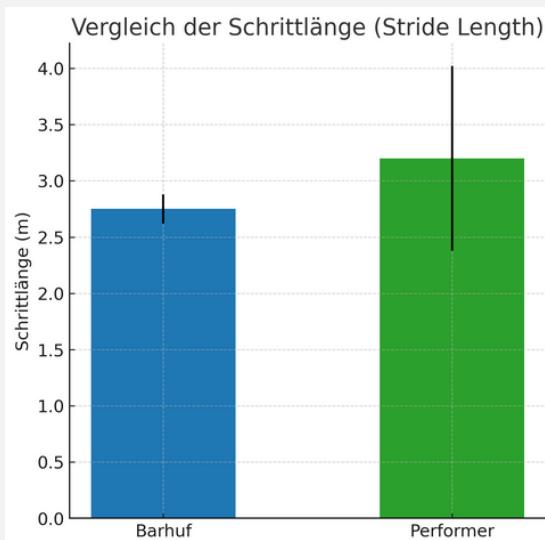


Chart 8: Ergebnisse Schrittlänge

Schrittlänge (Stride Length)	m	Avg + STD	2.75 ± 0.13	3.20 ± 0.82
---------------------------------	---	-----------	-------------	-------------

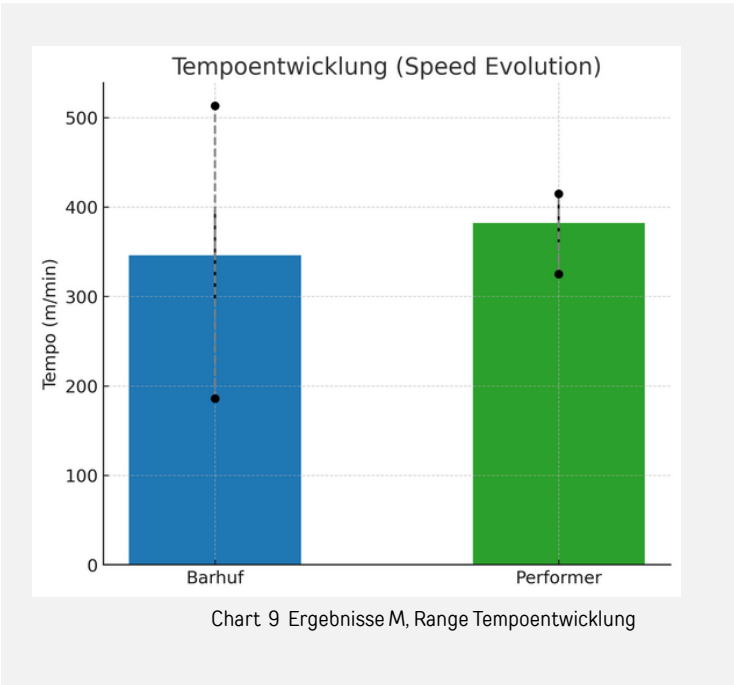
Datentabelle: 8: Ergebnisse Schrittlänge

10. Tempoentwicklung

Mit Hufschutze zeigen die Pferde eine **signifikant geringere Variabilitaet im Tempo, bei einem ueber 10% hoeheren Grundtempo.**

- Barhuf: 346,11m/min
- Performer: 382m/min

Spitzen von 513 m/min bei hoher Variabilitaet barfuss beschreibt ein hektisches, ‘rennendes’ Pferd im Parcour .



Tempoentwicklung (Speed Evolution)	m/min	Avg / STD + Min - Max / Range	346,11 ± 54,85 / 186–513 / 327	382 ± 21 / 325– 415 / 90
---------------------------------------	-------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------

Datentabelle 9 Ergebnisse Tempoentwicklung

Ergebnisse: Springtechnik

11. / 12. Technik im Anritt des Sprungs

Longitudinale und laterale Balance zeigen im Anritt auf den keine signifikante Veraenderung durch den Hufschutz.

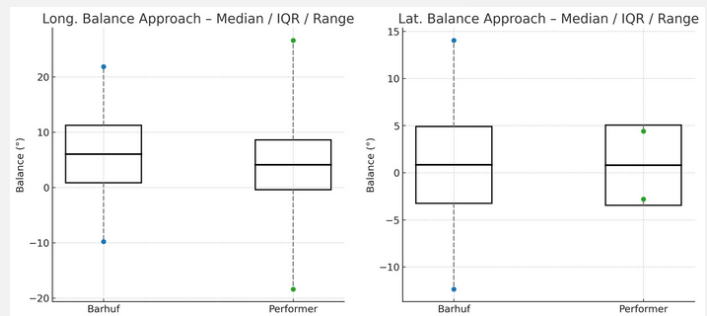


Chart 10: Ergebnisse Balance

Balance Longitudinal (allg.)	°	Avg	0.44 F	2,24 B
Laterale Balance auf den Wegen	°	Median / Range / IQR (Q3-Q1)	5 / 37,8 / 3,4	0.2 / 27.9 / 3.4

Datentabelle 10: Ergebnisse Balance

13. Absprungwinkel

Ein steiler Absprungwinkel gilt als besser als ein flacher in der Betrachtung von Springpferden. [5,8]

Ein gemittelt um 13° steilerer Absprungwinkel mit Hufschutz ist eine sehr deutliche Veraenderung.

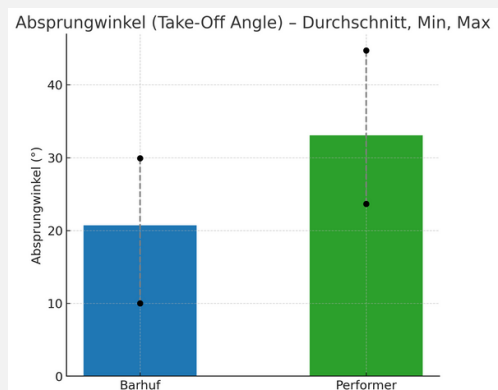


Chart 11: Ergebnisse Absprungwinkel

Absprungwinkel (Take-Off Angle)	°	Avg / Min - Max / Range	20.7 / 10.0 – 29.9 / 19.9	33.08 / 23.66 – 44.70 / 21.04
---------------------------------	---	-------------------------	---------------------------	-------------------------------

Datentabelle 11: Ergebnisse Absprungwinkel

14. Regelmäßigkeit der Spruenge

Mit Hufschutz zeigten die Pferde eine um **15% gesteigerte Regelmässigkeit**. Dies ist unter Umstaenden mit dem verbesserten Grip zu erklären, kann aber auch begründet indem die Pferde barfuss 'umkomfortable auf den Fuessen' sind.

Zusammen mit einem gemittelt um 13° steilerer Absprungwinkel, ausgeglichenerer Tempoentwicklung und reduzierten Tempospitzen zeigt sich mit Hufschutz das Bewegungsbild einer verbesserte Springqualität

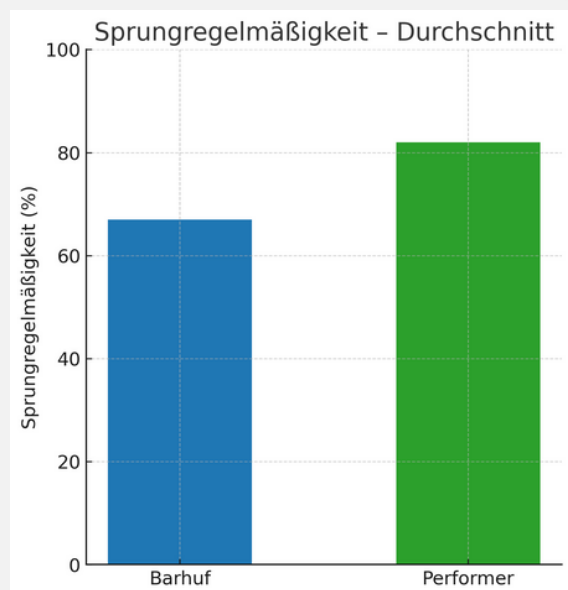


Chart 12: Ergebnisse MW Vergleich Sprungregelmässigkeit

Sprungregelmaessigkeit	%	Avg	67	82
------------------------	---	-----	----	----

Datentabelle 12: Sprungregelmässigkeit

Praktischer Zusammenhang:

Ein regelmässiger Sprung ist ein Qualitätsmerkmal.

Ein junges Pferd gewinnt Sicherheit, wenn es die Spruenge ähnlich durchführen kann.

Ein erfahrenes Pferd zeigt durch eine regelmässigen Sprung , dass es der Leistungsklasse gewachsen ist.

15. / 16. / 17. Landung

- Schrittlänge des Landungsschrittes

Pferde zeigen mit Hufschutz **konstant mit im Mittel um 59 cm deutlich längere Landungsschritte und geringe Streuung**, was auf ein effizienteres, planbares Bewegungsmuster hinweist.

Barhuf zeigen sie dagegen eine hohe Variabilität – von kurz bis übermäßig lang –, was auf Uneinheitlichkeit in der Krafteinleitung oder Balance hindeuten kann.

- Longitudinale Balance des Landungsschrittes

Barhuf neigen sie zur Vorwärtsverlagerung bei der Landung (auf die Vorhand), mit mäßigem Streubereich.

Performer zeigen eine leichte Rücklage (hinterhandlastiger), was biomechanisch oft günstiger für eine schnelle Reaktivierung nach dem Sprung ist – allerdings mit größerer Variabilität.

Der höhere Range bei beiden Gruppen zeigt, dass es generell eine hohe Schwankung in der Vor-/Rücklage bei der Landung gibt.

- Laterale Balance in Landung

In beiden Konditionen sind die Pferde gut seitlich balanciert in der Landung.

Die größere Range (8.7°) barfuss weist jedoch darauf hin, dass gelegentlich auch stärkere Seitabweichungen vorkommen.

Schrittlänge Landung (ID 1)	m	Avg + STD + Range	2.11 ± 0.82 / 3.51 (1,16 - 4,67)	2.70 ± 0.10 / 0.40
Long. Balance Landing (ID 1)	°	Median / IQR / Range	0.8 F / 4.4 / 27	1,72 B / 7,53 / 31,63
Lat. Balance Landing	°	Median + Range	0.1 / 8.7	1,21 / 6,91

Datentabelle 13: Technik in der Landung

Praktischer Zusammenhang:

Dies korreliert mit der generell verbesserten Schrittlänge und Sprungtechnik. Die Pferde zeigen somit eine verbesserte Landung, was neben dem Leistungsaspekt ein reduzierten Verletzungsrisiko der Vorderläufe bedeutet.

Quellenverzeichnis

1. Clayton, H. M., & Hobbs, S. J. (2017). The role of biomechanical analysis in equine locomotion research: Past, present and future. *Equine Veterinary Journal*, 49(5), 560–568. <https://doi.org/10.1111/evj.12734>
2. Pfau, T., Spence, A., Starke, S., Ferrari, M., & Wilson, A. (2012). Limb coordination and variability patterns in horses with naturally occurring lameness. *Equine Veterinary Journal*, 44(6), 556–560. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00568.x>
3. Keegan, K. G., Wilson, D. A., Kramer, J., Reed, S. K., Yonezawa, Y., Maki, H., ... & Pai, P. F. (2011). Comparison of a body-mounted inertial sensor system-based method with subjective evaluation for detection of lameness in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 72(9), 1133–1138. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.9.1133>
4. Hobbs, S. J., Weller, R., & Clayton, H. M. (2014). Assessment of ground reaction force and centre of pressure parameters in the trotting horse: A review. *Equine Veterinary Journal*, 46(6), 700–708. <https://doi.org/10.1111/evj.12247>
5. Chateau, H., Degueurce, C., Denoix, J.-M., & Biau, S. (2006). Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: Articular motion in the sagittal, frontal, and transverse planes. *Equine Veterinary Journal*, 38(Suppl. 36), 649–653. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05612.x>
6. Rhodin, M., Roepstorff, L., French, A., Keegan, K. G., Pfau, T., & Weishaupt, M. (2022). Inertial sensor-based stride characteristics and symmetry indices in horses before and after induced fatigue. *Equine Veterinary Journal*, 54(1), 96–104. <https://doi.org/10.1111/evj.13448>
7. Burger, D., van Weeren, R., van der Kolk, J., & Pfau, T. (2023). Identifying signs of fatigue in eventing horses based on biomechanical parameters measured with inertial sensors. *Equine Veterinary Education*. <https://doi.org/10.1111/eve.13916>
8. Chateau, H., Holden-Douilly, L., Falala, S., Robert, C., Biau, S., Camus, M., ... & Ravary-Plumioen, B. (2013). Kinetics and kinematics of the forelimb in horses circling in a round pen. *Equine Veterinary Journal*, 45(5), 552–556. <https://doi.org/10.1111/evj.12036>

Diese Quellen decken folgende Parameter ab:

- Stride Ratio und Stride Length: [1], [2], [4]
- Gait Regularity und Sensor-Methodik: [3], [6], [7]
- Jump Mechanics (Take-Off Angle, Jump Force): [5], [8]
- Balance lateral und longitudinal (auch in Kurven): [1], [4], [8]
- Energie und Ermüdung: [6], [7]



Appendix

Stride Ratio Erläuterung

$\text{Stride Ratio} = (\text{Stride Length} \times \text{Stride Duration}) / \text{Stride Height}$

- Ein höherer Wert bedeutet mehr vertikale Bewegung im Verhältnis zur Vorwärtsbewegung → möglicherweise weniger ökonomisch.
- Ein niedriger Wert zeigt einen „flachen, raumgreifenden“ Schritt – oft effizienter, aber auch weniger dynamisch.

Diese Definition ist gängig in der Pferde-Ganganalyse (ähnlich wie in: Pfau et al., 2005), aber kann je nach Quelle leicht variieren.

Ist die Berechnung der Standardabweichung (STD) für Stride Ratio statistisch sinnvoll?

Ja, unter folgenden Voraussetzungen:

Ziel ist die Charakterisierung der Variabilität innerhalb einer Session:

Dann liefert die Standardabweichung der Stride Ratio über viele Einzelschritte eine wertvolle Information über die Bewegungskonstanz – auch wenn die Verteilung nicht streng normal ist.

Die Stride Ratio ist ein kontinuierlicher numerischer Parameter:

Das rechtfertigt die Anwendung der Standardabweichung als Streumaß grundsätzlich.

Du interpretierst die STD deskriptiv, nicht inferenziell:

Das heißt, du beschreibst, wie gleichmäßig (oder variabel) ein Pferd sich bewegt, nicht ob der Unterschied zu einem anderen Pferd „signifikant“ ist.

Einschränkungen:

Nicht-normalverteilte Daten:

Wenn du einen Gruppenvergleich (z. B. Barhuf vs. Performer) machen willst, solltest du besser auf Median + IQR (Interquartilsabstand) zurückgreifen oder vorher prüfen, ob eine Normalverteilung (z. B. mit Shapiro-Wilk) vorliegt.

Ausreißerempfindlichkeit:

Da die Stride Ratio durch drei Parameter berechnet wird (Höhe, Länge, Dauer), kann sie empfindlich auf Ausreißer reagieren → eventuell glätten oder mit robusten Verfahren arbeiten.

Fazit:

Für eine intraindividuelle Beschreibung wie in deiner Phase-3-Studie ist die Durchschnitt + STD der Stride Ratio über alle Tritte pro Session absolut zulässig und gängig.

Analyseablauf

1. Datenaufbereitung

a. Dateien vorbereiten

- Strides-Datensatz: Enthält Wegstrecken zwischen Sprüngen
- Jumps-Datensatz: Enthält Approaches, Sprünge und Landungen
- Statistics-Datensatz: Enthält Kontrollparameter (z. B. Dauer, Anzahl Sprünge)

b. Spaltenbereinigung (alle numerischen Felder):

- Entferne Einheiten wie "m", "ms", "cm", "kcal", "°" aus allen Spalten
- Ersetze Dezimal-Kommas durch Punkte
- Wandle alle Spalten in float
- Filtere ggf. Gait = "Canter" für spezifische Analysen

2. Kontrollparameter (Aus Statistics- und Jumps-Datei)

- Dauer (min)
- Distanz (m)
- Durchschnittsgeschwindigkeit (m/min)
- Kadenz (berechnet: Anzahl Canter-Strides / Zeit)
- Anzahl der Sprünge (Zeilen mit Wert in "Jump height (m)")

3. Analyseparameter (Schrittweise Auswertung)

A. General Locomotion (Strides-Datei)

- Stride Length (m): Mittelwert + Standardabweichung
- Stride Force (G): Mittelwert aus "Strike power" (Jumps)
- Energy (kcal): Mittelwert und STD (Jumps)
- Gait Regularity Trot/Gallop (%): Werte aus Statistics
- Stride Ratio: Bereinigung von Ausreißern, Berechnet als → MW & STD

B. Jump & Transition (Jumps-Datei)

- Long. Balance Approach: Median + Spannweite aus ID -5 bis -1
- Lat. Balance Approach: Median + Spannweite aus ID -5 bis -1
- Long. Balance Landing: Median + Spannweite aus ID 1 bis 5
- Lat. Balance Landing: Median + Spannweite aus ID 1 bis 5
- Jump Take-Off Angle (°): Mittelwert, Min, Max, Range (nur Sprünge)
- Landing Stride Length (m): MW, STD, Range aus ID 1

C. Dynamik & Kontrolle (Strides-Datei + Jumps)

- Balance in der Kurve (Strides – Lateral Balance): Median, STD, Spannweite, IQR
- Speed Evolution (Avg Speed, nur Jumps): Mittelwert, STD, Min, Max

4. Statistische Interpretation

- Für nicht normalverteilte Parameter: Nutzung von Median + Range oder IQR anstelle von Mittelwert + STD

5. Ergebnisdarstellung

- Übersichtstabelle in Excel mit Spalten: Parameter | Einheit | Auswertung | Ergebnis Barhuf | Ergebnis Performer

Code

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from scipy.stats import ttest_rel, wilcoxon, shapiro

# Load the dataset
df = pd.read_excel("Single_Horse_Data_Barefoot_vs_Performer.xlsx")

# Initialize result container
results = []

# Plot style
sns.set(style="whitegrid")

# Create one plot per parameter
parameters = df["Parameter"].unique()

for param in parameters:
    # Subset and pivot
    df_param = df[df["Parameter"] == param]
    df_pivot = df_param.pivot(index="Horse", columns="Condition", values="Value")
    barefoot = df_pivot["Barefoot"]
    performer = df_pivot["Performer"]
    diff = performer - barefoot

    # Normality test
    p_shapiro = shapiro(diff).pvalue
    normal = p_shapiro > 0.05

    # Statistical test
    if normal:
        stat, p_value = ttest_rel(performer, barefoot)
        test_type = "Paired t-test"
    else:
        stat, p_value = wilcoxon(performer, barefoot)
        test_type = "Wilcoxon"

    # Store results
    results.append({
        "Parameter": param,
        "Mean Barefoot": round(barefoot.mean(), 2),
        "Mean Performer": round(performer.mean(), 2),
        "p-value": round(p_value, 4),
        "Significant (<0.05)": p_value < 0.05,
        "Test Used": test_type,
        "Normal Diff": normal
    })

# Plot
plt.figure(figsize=(6, 4))
for horse in df_pivot.index:
    plt.plot(["Barefoot", "Performer"],
             [df_pivot.loc[horse, "Barefoot"], df_pivot.loc[horse, "Performer"]],
             marker="o", linestyle="-", label=horse)
plt.title(f"{param}\n{test_type}, p = {p_value:.4f}")
plt.ylabel("Value")
plt.xlabel("Condition")
plt.tight_layout()
plt.grid(True)
plt.show()

# Create results DataFrame
df_results = pd.DataFrame(results)
print(df_results)
```