

Kontinuierliche Zugkraftmessung und Leistungserhebung bei Arbeitspferden – eine Pilotstudie

Conny Herholz¹, Janina Siegwart¹, Rupert M. Bruckmaier², Ernst Rytz³, Inès Lamon^{1,4}, Manfred Muhr¹ und Roger Stirnimann¹

¹ Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften, CH-3052 Zollikofen

² Vetsuisse Fakultät, Universität Bern, CH-3001 Bern

³ Interessengemeinschaft (IG)-Arbeitspferde, CH-4305 Olsberg

⁴ Schweizer Nationalgestüt SNG, CH-1580 Avenches

Zusammenfassung: Sowohl im Sport als auch in der alternativen Landwirtschaft werden Pferde wieder mehr als Zugtiere eingesetzt. Auch bei Zugpferden kommt der effizienten Kraftübertragung eine wichtige Rolle hinsichtlich des Wohlbefindens zu. Ziel der Untersuchung war die Einstufung der Leistung von Arbeitspferden im Hinblick auf ihre physische und psychische Belastung. Zwei definierte Zugkraftstärken (1300 N und 2600 N = SOLL) wurden bei zwei Zweiergespannen mit Freibergern am gebremsten und geladenen Wagen kontinuierlich, während einer je 30 min andauernden Belastung aufgezeichnet und die geleistete Arbeit der Pferde beurteilt. Die tatsächlich geleisteten Zugkraftstärken, welche aufgezeichnet wurden, entsprachen den IST-Werten. Die Herzfrequenz wurde mit POLAR Trainingsuhren (V800) gemessen. Zur Einschätzung der Belastung einschließlich einer möglichen psychischen Komponente wurden zusätzlich vor, während und nach der Arbeit (0, 15, 30 und 60 min) Blutproben entnommen, in denen Cortisol, Glucose und freie Fettsäuren (FFS) bestimmt wurden. Die Datenauswertung erfolgte deskriptiv und statistisch (gepaarter t-Test, Pearson Korrelationskoeffizient, mit dem Statistikprogramm R, das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$). Die durchschnittlichen Zugkräfte entsprachen den Sollwerten von 1300 N bzw. 2600 N zufriedenstellend: IST-Werte Gespann 1/2: 1148 N bzw. 2543 N, IST-Werte Gespann 3/4: 1236 N bzw. 2538 N. Aus den Zugkräften und den Geschwindigkeiten ergaben sich Zugleistungen von 813 bzw. 2095 Watt (1,11 bzw. 2,85 Pferdestärken = PS) pro Pferd bei Gespann 1/2 und 919 bzw. 1934 Watt (1,25 bzw. 2,63 PS) pro Pferd bei Gespann 3/4. Die Herzfrequenzen bewegten sich bei beiden Gespannen bei der Zugkraftstufe 1300 N zwischen 94–124/min und bei 2600 N zwischen 124–171/min. Die Herzfrequenzen halbierten sich bei 1300 N um 50% 60sec nach 15 min Arbeit, bei längerer und intensiverer Arbeit stiegen die Erholungszeiten. Cortisol- (nmol/l), Glucose- (mmol/l) und FFS-Werte (mmol/l) wiesen auf mittlere bis schwere Arbeitsintensitäten hin. Die Cortisolwerte korrelierten signifikant ($p < 0,05$) mit der Herzfrequenz ($r = 0,64$) und FFS ($r = 0,53$), was auf eine ausgeglichene Aktivierung des adrenergen Systems und der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinde (HPA) -Achse hinweist und eine psychische Belastungskomponente als unwahrscheinlich erscheinen lässt.

Schlüsselwörter: Arbeitspferde, Zugkraft, Herzfrequenz, Cortisol, Glucose, freie Fettsäuren, Wohlbefinden

Continuous tractive force measurement and performance evaluation in working horses – a pilot study

In both equestrian sports and alternative husbandry horses are more and more used as draft animal. Also in draft horses an efficient power transmission plays an important role in regard to the animal's wellbeing. The aim of the study was to classify the performance of working horses regarding their physical and psychological stress. Two defined traction forces (1300 N and 2600 N = target values) were continuously recorded during a load lasting for 30 min each in two pairs of Freiberg horses each on the braked and loaded carriage. The tractive forces that were recorded corresponded to the actual values. The work performed by the horses was assessed. Heart rate was recorded using POLAR training watches (V800). To assess the workload including a possible psychological component, blood samples were additionally taken before, during, and after work (0, 15, 30, and 60 min) in which cortisol, glucose, and non-esterified fatty acids (NEFA) were determined. Data analysis was done in a descriptive and statistical manner (paired t-test, Pearson correlation coefficient, using the statistical program R, significance level was $p < 0.05$). The average tensile forces were satisfactorily in accordance with the target values (1300 N and 2600 N, respectively): actual value pair 1/2: 1148 N and 2543 N, respectively, actual value pair 3/4: 1236 N and 2538 N, respectively. Traction forces and speeds resulted in traction powers of 813 and 2095 watts (1.11 and 2.85 horse power = hp) for each horse of pair 1/2 and 919 and 1934 watts (1.25 and 2.63 hp) for each horse of pair 3/4, respectively. Heart rates ranged from 94–124/min for both pairs at 1300 N and 124–171/min at 2600 N. Heart rates decreased by 50% 60sec after 15 min of work at 1300 N, and recovery times increased with longer and more intense work. At the tensile forces in the present work, glucose values of 4.79 mmol/l were measured on average for all horses at 1300 N and values of 4.68 mmol/l were measured at 2600 N. In the case of the older French mountain horse pair of carriage 3/4, an initial drop in blood glucose and a subsequent rise were more pronounced than in the French mountain horse pair of carriage 1/2. The older French mountain horses of carriage 3/4 were fed exclusively hay, while the horses of carriage 1/2 received an additional 2 kg of concentrates per day. The extent to which the low concentrate supplementation of the horses of the carriage 1/2 influenced the glucose metabolism remains speculative. The four French mountain horses achieved average NEFA values of 0.30 mmol/l at 1300 N and 0.53 mmol/l at 2600 N. At a traction level of 1300 N, plasma cortisol levels for the four French mountain horses ranged from 29.3–50.3 ng/ml, and at the traction level of 2600 N, plasma cortisol levels ranged from 24.8–58.8 ng/ml. In comparison, the values were higher in a previous study, where the average plasma cortisol values of nine Warmblood driving horses after 30–40 min of intensive training ranged from 60.72 ± 9.51 to 63.66 ± 10.07 ng/ml (Krumrych et al. 2018). Cortisol (nmol/l), glucose (mmol/l), and NEFA (mmol/l) values in the present study indicated moderate to heavy work intensities. Cortisol levels correlated significantly ($p < 0.05$) with heart rate ($r = 0.64$) and NEFA ($r = 0.53$), indicating balanced activation of the adrenergic system and hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis and suggesting a psychological stress component as unlikely.

Keywords: working horses, tractive power, heart rate, cortisol, glucose, free fatty acids, welfare

Zitation: Herholz C., Siegwart J., Bruckmaier R. M., Rytz E., Lamon I., Muhr M., Stirnimann R. (2022) Kontinuierliche Zugkraftmessung und Leistungserhebung bei Arbeitspferden – eine Pilotstudie. *Pferdeheilkunde* 38, 109–117; DOI 10.21836/PEM20220202

Korrespondenz: Prof. Dr. Conny Herholz, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Länggasse 85, 3052 Zollikofen, Schweiz; conny.herholz@bfh.ch

Eingereicht: 1. Dezember 2021 | **Angenommen:** 2. Februar 2022

Einleitung

Der Einsatz von Arbeitspferden hat eine sehr lange Tradition in der Landwirtschaft (Herold 2016), wobei die Nutzung des Pferdes als landwirtschaftliches Zugtier in Europa erst gegen Ende des 1. nachchristlichen Jahrtausends an Bedeutung gewann. Ausschlaggebend dafür war die Erfindung und Einführung des Kumts, welches das Joch ablöste und zum ersten Mal die Nutzung der vollen Zugkraft des Pferdes ermöglichte (Benecke 1994, Schroll 2008). Die Aufgabe des Arbeitspferdes wurde in der Folge dahingehend definiert, dass es dem Menschen in der Ausübung seines Berufes als eine Energiequelle dient, welche beispielsweise durch Maschinen und andere Fortbewegungsmittel ersetzt werden könnte (Reynaud et al. 2018). Nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) kommt in Industrieländern auf 26 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche tierische Zugkraft zum Einsatz, in Entwicklungsländern beläuft sich dieser Wert auf 52 % (Lhoste et al. 2010). Aktuelle Zahlen im Hinblick auf den Beitrag von Zugtieren zum wirtschaftlichen Nutzen in Entwicklungsländern sind rar. Allerdings wurde geschätzt, dass die Hälfte der Weltbevölkerung von Arbeitstieren als Hauptenergiequelle abhängt (Wilson 2002).

Mit der Nutzung des Pferdes auf landwirtschaftlichen Betrieben wurden ebenso Fragen zur Gesundheit und des Wohlbefindens der Tiere gestellt und Evaluationssysteme dafür erarbeitet (Hausberger et al. 2020). Es ist bekannt, dass gesunde Arbeitstiere mit gutem Wohlbefinden nachhaltiger zum Lebensunterhalt ihrer Besitzer beitragen als Arbeitstiere mit geringem Gesundheits- und Tierwohlstatus (FAO 2014). Bei Zugtieren hat die effiziente Kraftübertragung eine hohe Tierwohlimplikation, da sie den Ermüdungseintritt verzögert (Wilson 2002). Zur Beurteilung des Leistungsvermögens der Pferde stehen kardiovaskuläre Untersuchungen, Blut- inkl. Plasmalaktatuntersuchungen, respiratorische- und Muskeluntersuchungen zur Verfügung (Hinchcliff et al. 2008).

Bei Pferden, wie beim Menschen, steht der Herzfrequenzanstieg im submaximalen Belastungsbereich einer linearen Beziehung zur Geschwindigkeit, erst im individuellen maximalen Belastungsbereich beginnt die Kurve abzufallen (Ehrlein et al. 1970, von Wittke et al. 1994). Die Herzfrequenz-Geschwindigkeitsbeziehung ist ein zuverlässiges Kriterium, zur Beurteilung der Leistungsintensität und kann unter Praxisbedingungen einfach und zuverlässig bestimmt werden (Bitschnau et al. 2013). Die Bestimmung von Leistungskennwerten abgeleitet aus Geschwindigkeit und Laktat ist aufwendiger, da diese Beziehung exponentiell verläuft und in höheren Belastungsbereichen bereits geringe Geschwindigkeitsunterschiede große Plasmalaktatkonzentrationsunterschiede zur Folge haben (von Engelhardt et al. 1973, von Wittke et al. 1994). Damit müssen Blutproben in höheren

Belastungsbereichen in kurzen Intervallen entnommen werden, was unter Feldbedingungen nicht praktikabel ist. In Bezug auf leistungsphysiologische Parameter liegen für das Zugpferd wenige aktuelle Daten vor (Birlenbach Potard et al. 1998, Herold 2016, Higara und Sugano 2017). Eine Promotionsarbeit aus dem Jahre 1942 der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich beschäftigte sich mit der Arbeitsleistung des Schweizerischen Zugpferdes (Jurapferd) und Methoden zur Zugkraftmessung (Brunner 1942). Unter dem Jurapferd wurde der Freiburger verstanden, die einzige inländische schwere Warmblut Rasse in der Schweiz, welche die Anforderungen an ein Arbeitspferd hervorragend erfüllt (Reynaud et al. 2018). In der Schweiz setzt sich die Interessengemeinschaft Arbeitspferde (IG-Arbeitspferde) für den Erhalt der Kenntnisse und Fertigkeiten rund um das Arbeitspferd sowie den Wissenstransfer an nachkommende Generationen ein. Dabei sollen der Einsatz und die Arbeitsleistung der Pferde Tierschutz konform erfolgen.

Leistung ist eine bestimmte Menge an übertragener Energie in einer bestimmten Zeit. Historisch wird die Pferdestärke [PS] zur Leistungsmessung verwendet. Diese wurde von James Watt im 18. Jahrhundert eingeführt, um die Anzahl der Arbeitspferde zu definieren, die durch eine bestimmte Dampfmaschine ersetzt werden können (Herold 2016). Die europäische Pferdestärke wurde derzeit definiert als die Leistung, die erforderlich ist, um einen Gegenstand mit einer Masse von 75 kg in einer Sekunde senkrecht um einen Meter anzuheben ($P = F \times v = 75 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m/s} = 735,75 \text{ W} = 0,73575 \text{ kW} = 1 \text{ PS}$). Ein Zugpferd kann etwa 10–12 % seines Körpergewichtes als durchschnittliche Zugkraft über den ganzen Tag aufbringen und dabei eine Strecke von ca. 32 km zurücklegen (Collins und Caine 2017). In der Literatur hat sich die Angabe von 10–15 % des Körpergewichtes als durchschnittliche Zugkraftleistung über einen Arbeitstag durchgesetzt (Krüger 1958, Goe 1983, Hoffmann 1992, Inns 1996).

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Zugkraft von 10 bzw. 20 % der Körpergewichte von zwei Freibergergespanssen aufzuzeichnen und die Leistung der Arbeitspferde im Hinblick auf ihre physische und psychische Belastung hinsichtlich der Vereinbarkeit mit den Erfordernissen des Tierschutzes abzuschätzen.

Material und Methoden

Pferde

Für den Arbeitseinsatz wurden vier Freibergerpferde verwendet, drei Stuten und ein Wallach mit dem durchschnittlichen Alter von 10,3 Jahren und einem durchschnittlichen Körpergewicht (KGW) von 577,5 kg. Das erste Gespann (Gespann

1/2) bestand aus den beiden Stuten namens Hamira (8 Jahre, 560 kg KGW) und Laiana (6 Jahre, 600 kg KGW), das zweite Gespann (Gespann 3/4) aus dem Wallach Quinto (11 Jahre, 550 kg KGW) und der Stute Gana (16 Jahre, 600 kg KGW). Alle Pferde werden regelmäßig zu landwirtschaftlichen Arbeiten eingesetzt und gelegentlich geritten. In ihren Heimstätten werden alle Pferde mit Heu ad libitum und Mineralsalz gefüttert und haben täglich Weidegang. Die beiden Stuten aus Gespann 1/2 erhalten zusätzlich täglich 2 kg Kraffutter (Getreidemischung, Hypona 788 Optimal).

Zugkraftmessung und Leistungserhebung

Der Test fand am 25. Mai 2020 in Zollikofen, 594 m ü. M., bei Bern in der Schweiz statt. Bei der Vorbereitung des Zugversuches wurde ein durchschnittliches Körpergewicht der Pferde von 650 kg angenommen. Für die zumutbare Zugkraft wird davon ausgegangen, dass sie einem Gewicht von 10% des Körpergewichtes entspricht, welches entgegen der Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$) angehoben wird. Bei dem angenommenen Gewicht von 650 kg entspräche dies 65 kg, für das Gespann wurde also mit 130 kg gerechnet und man kam auf die zumutbare Zugleistung von 1300 N. Die doppelte der normalerweise zugemuteten Zugkraftleistung (20% des Körpergewichtes) betrug entsprechend 2600 N je Zweiergespann. Die Freiburger Pferde zogen einen gebremsten und beladenen Wagen, wobei die Zugkraft (N) über einen Zugkraftsensor und die Geschwindigkeit (m/s) über GPS kontinuierlich gemessen und mit einem Computer aufgezeichnet wurde (Abb. 1). Die Berechnung der Arbeitsleistung in Watt erfolgte anhand der Formel: $[\text{Watt}] = \text{Arbeit} [\text{Nm}] / t [\text{s}] = \text{Kraft} [\text{N}] \times \text{Geschwindigkeit} [\text{m/s}]$. Die Umrechnung in PS erfolgte mit dem Faktor 1,36, da 1 PS = 735,5 W entspricht. Die Tests mit den jeweiligen Zugstärken wurden auf einer ebenen Straße durchgeführt, mit einer Gesamtdauer von je 30 Minuten. Am Vormittag von 9.30 Uhr bis 10.00 Uhr (Gespann 1/2, Hamira und Laiana) bzw. von 10.30 Uhr bis 11.00 Uhr (Gespann 3/4, Quinto und Gana) erfolgten die Tests mit der geplanten Zugkraftstärke von 1300 N bei einer durchschnittlichen Temperatur von $12,9^\circ\text{C}$ und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 66,4%. Die Pferde wurden anschließend ausgeschirrt, erhielten Wasser und Heu, sowie eine vierstündige Erholungspause, um ihre Energiereserven zu regenerieren. Die zweiten Arbeitseinsätze mit einer Zugkraftstärke von geplanten 2600 N fanden am Nachmittag von 15.00 Uhr bis 15.30 Uhr (Gespann 1/2) bzw. 16.00 Uhr bis 16.30 Uhr (Gespann 3/4) bei einer durchschnittlichen Temperatur von $19,5^\circ\text{C}$ und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchte von 48,2% statt. Die Herzfrequenzen der Pferde wurden kontinuierlich mit Pulsuhren aufgezeichnet (Polar, V800), anschließend auf dem Computer abgespeichert, in Excel-Tabellen übertragen und ausgewertet bzw. grafisch dargestellt. Die Interpretation der erhobenen Herzfrequenzen zur Beurteilung der Arbeitsintensität erfolgte nach der Einstufung der Polar Herzfrequenzonen (Polar, abgerufen 2021) gemäß Bitschnau et al. (2013) für Dressur- und Springpferde, da für andere Pferdesportarten keine aktuellen Referenzwerte vorlagen.

Nach 15 min und 30 min Zugarbeit wurden zudem die Erholungsherzfrequenzen 60 sec nach Ende der Arbeit ermittelt, da die Pferde zur Blutentnahme angehalten wurden bzw. nach

30 min die Zugarbeit beendet war. Im Rahmen dieser kurzen Pausen wurden die Pferde in Bezug auf ihren Allgemeinzustand (Haltung, Verhalten, Atemtyp) äußerlich betrachtet, sowie der Schweißscore nach Zeyner et al. (2013) eingeschätzt.

Laboranalysen

Zur Einschätzung der Belastung einschließlich einer möglichen psychischen Komponente wurden vor, während und nach der Arbeit (0, 15, 30 und 60 min) Blutproben abwechselnd aus der rechten und linken Vena jugularis entnommen. Bestimmt wurden Cortisol, Glucose und freie Fettsäuren (FFS). Die Glucose-Konzentration wurde mit einem Kit von bioMérieux (Genf, Schweiz; Nr. 61269) und von FFS mit dem Kit Nr. FA 115 (Randox Laboratories Ltd, Schwyz, Schweiz) bestimmt. Cortisol wurde mit einem Radioimmunoassay (RIA) gemäß Thun et al. (1981) bestimmt. Da Cortisol pulsatil ausgeschüttet wird und eine einmalige Blutentnahme im Rahmen dieser Leistungsüberprüfung jeweils nur eine Momentaufnahme bieten konnte, sind Vergleiche von verschiedenen Basalwerten nur wenig aussagekräftig. Deshalb wurde nur ein Basalwert am Morgen erhoben, bzw. der Fokus auf die Beurteilung des Deltas bei den einzelnen Belastungsstufen gesetzt. Dies ist gerechtfertigt, da belastungsbedingte Ausschläge deutlich über das Niveau einer möglichen Variation von Basalwerten hinausgehen.

Datenauswertung und statistische Analyse

Die Datenauswertung erfolgte aufgrund der kleinen Stichproben überwiegend deskriptiv. Die kontinuierlich aufgezeichneten Zugkraftstärken (N) wurden mit den Sollwerten von 1300 und 2600 N verglichen und die berechneten Arbeitsleistungen (Watt) in Form von Box-Plots dargestellt. Weiter wurden die Herzfrequenzen und die Laborwerte (Cortisol, FFS, Glucose) bei den jeweiligen Belastungsstufen grafisch dargestellt (Microsoft® Excel® für Microsoft 365 MSO, Version 2110). All-



Abb. 1 Freibergergespann 1/2 am gebremsten Wagen mit einer Zugkraftleistung von 2600 N. Über dem Vorderrad sichtbar die Apparatur zur simultanen Zugkraftmessung; auf dem Wagen die Computerüberwachung. | French mountain horse carriage 1/2 on the braked carriage with a tractive effort of 2600 N. Visible above the front wheel is the equipment for simultaneous tractive force measurement, and on the wagon is the computer monitoring system.

fällige Unterschiede der Herzfrequenzen der Gespanne bei den jeweiligen Zugkraftstärken wurden mit dem zweiseitigen gepaarten t-Test und mögliche Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz und Cortisol bzw. Cortisol und FFS wurden mit dem Pearson Korrelationskoeffizienten ermittelt. Die Berechnung erfolgte mit der Software R (R Core Team 2019), das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$.

Resultate

Die Zugkraftmessungen konnten bei beiden Gespannen wie vorgesehen durchgeführt und aufgezeichnet werden. Die durchschnittlichen Zugkräfte entsprachen dabei den Sollwerten (1300 N bzw. 2600 N) und waren somit zufriedenstellend (Abb. 2). Der gemessene Ist-Durchschnittswert lag bei

der ersten Belastungsstufe für Gespann 1/2 bei 1148 N (Soll 1300 N) bzw. bei 2543 N (Soll 2600 N). Bei Gespann 3/4 lag der gemessene Ist-Durchschnittswert bei 1246 N (1300 N Soll) und 2538 N (2600 N Soll).

Die Schrittgeschwindigkeiten lagen bei dem Zugkrafttest mit 1300 N bei Gespann 1/2 zwischen 1,25–1,9 m/s, im Durchschnitt 1,58 m/s, mit 2600 N zwischen 1,42–1,98 m/s, durchschnittlich bei 1,70 m/s. Das Gespann 3/4 erreichte bei der Zugkraftmessung mit 1300 N eine Schrittgeschwindigkeit von 1,30–1,77 m/s, im Durchschnitt 1,54 m/s und bei der Zugkraftstärke von 2600 N lagen die Schrittgeschwindigkeiten zwischen 1,25–1,81 m/s, im Durchschnitt bei 1,52 m/s. Bei beiden Zugkraftstärken und bei beiden Gespannen lag die Geschwindigkeit somit im Durchschnitt gerundet zwischen 5 und 6 km/h.

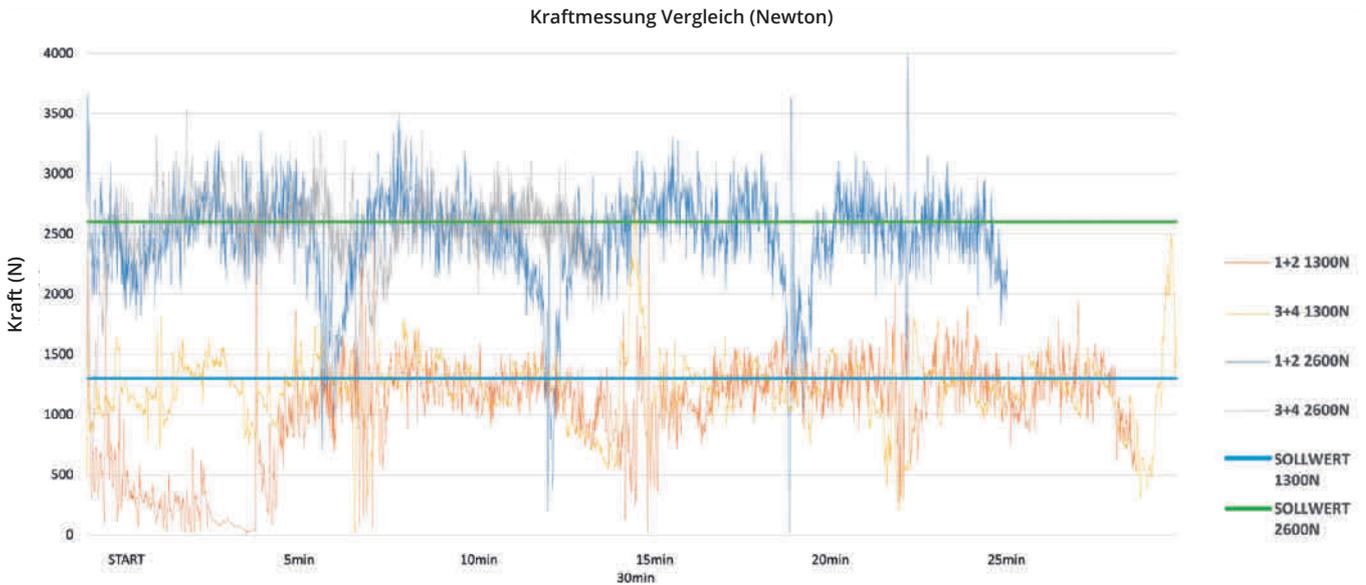


Abb. 2 Sollwerte und gemessene Werte der aufgezeichneten Zugkraftleistungen bei 1300 N und 2600 N. | Target values and measured values of the recorded tensile forces at 1300 N and 2600 N

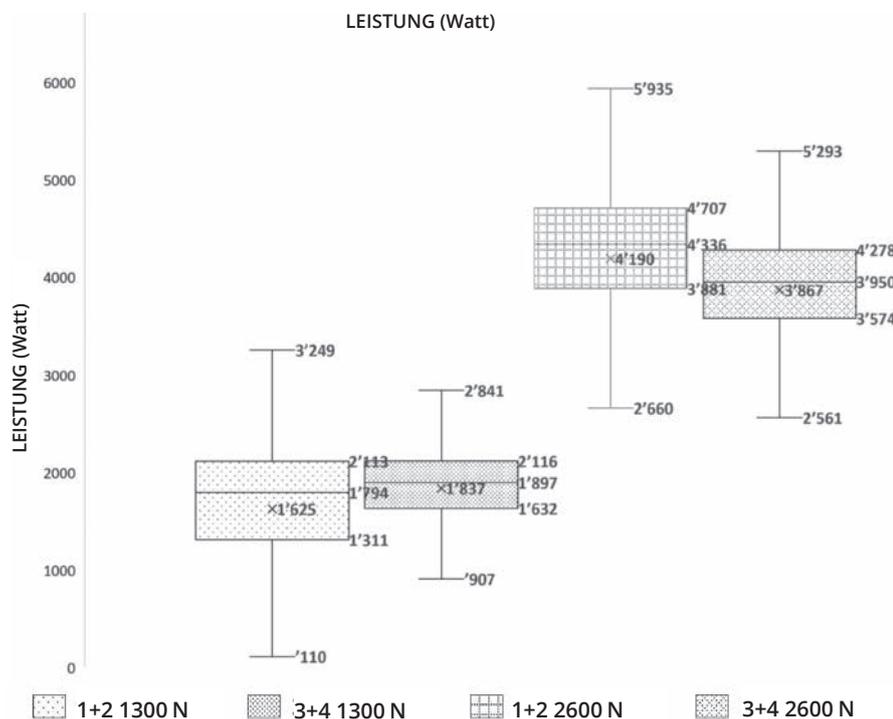


Abb. 3 Aus den Zugkraftstärken und der Geschwindigkeit errechnete Leistungen (Watt) pro Gespann. Dargestellt in den Boxplots sind die Minima, Maxima, die Mediane, die Quartilsgrenzen, sowie die Mittelwerte in der Box (x). | Power (watts) calculated from the tensile forces and the speed for each carriage. The boxplots show the minima, maxima, medians, quartile limits and the mean values in the box (x).

Aus den Zugkräften und den Geschwindigkeiten ergaben sich pro Pferd Zugleistungen von 813 bzw. 2095 Watt (1,11 bzw. 2,85PS) bei Gespann 1/2 und 919 bzw. 1934 Watt (1,25 bzw. 2,63PS) pro Pferd bei Gespann 3/4. Die Wattleistungen bei den Zugkraftstärken 1300N und 2600N sind pro Gespann in den Boxplots der Abbildung 3 dargestellt, eine Übersicht über die durchschnittlich gelaufenen Geschwindigkeiten und erhaltenen Watt bzw. PS Leistungen je Pferd und je Zugkraftstufe der beiden Gespanne bietet Tabelle 1.

Die Herzfrequenzen der einzelnen Pferde beider Gespanne bei den jeweiligen Zugkraftstufen sind in Abbildung 4 dargestellt. Bei den Boxplots fällt auf, dass bei allen Pferden und beiden Zugkraftstufen ähnlich breite Variationen der Herzfrequenzen auftraten (Antennen der Boxplots). Die Streuung der Daten war bei 2600N größer (Breite der Box), mit Ausnahme beim Pferd Gana im Gespann 3/4. Die mittleren Herzfrequenzen bei der Zugkraftstufe von 2600N lagen deutlich höher als bei 1300N, wobei sich dieser Unterschied als statistisch signifikant erwies ($p < 0,05$). Die in den Boxplots dargestellten Medianwerte (Querstrich in der Box) sind dahingehend zuverlässiger, als dass sie gegenüber Ausreißern nicht anfällig sind (Abb. 4). Die Erholungsherzfrequenzen

60sec nach Ende der Arbeit lagen im Durchschnitt für die vier Pferde nach 15 min bei einer Zugkraft von 1300N bei 50%, d.h. dass sich die Arbeitsherzfrequenz von 112/min auf 56/min verringerte. Nach 30 min der gleichen Zugkraftstärke verringerte sich die Arbeitsherzfrequenz von 112/min (Durchschnitt für die vier Pferde beider Gespanne) nach 60 Sekunden auf 79/min, was einer Reduktion von 29% entspricht. Bei der höheren Zugkraft von 2600N betrug die Erholungsrate der durchschnittlichen Arbeitsherzfrequenz der vier Pferde 60 Sekunden nach 15 min Arbeit 38% (von 160/min auf 99/min) und nach 30 min Arbeit 35% (von 160/min auf 104/min).

Die Laborresultate für FFS (mmol/l), Glucose (mmol/l) und Cortisol (ng/ml, mmol/l) der vier Pferde aus Gespann 1/2 und 3/4 bei den Zugkräften von 1300N und 2600N bei 0, 15, 30, und 60 min nach Belastung finden sich in Tabelle 2.

Es konnten signifikante Korrelationen zwischen der Herzfrequenz und der Cortisolkonzentration (mmol/l) im Blut ($r = 0,64$, $p < 0,05$), sowie zwischen der Herzfrequenz und der Konzentration der FFS (mmol/l) im Blut ($r = 0,53$, $p < 0,05$) ermittelt werden.

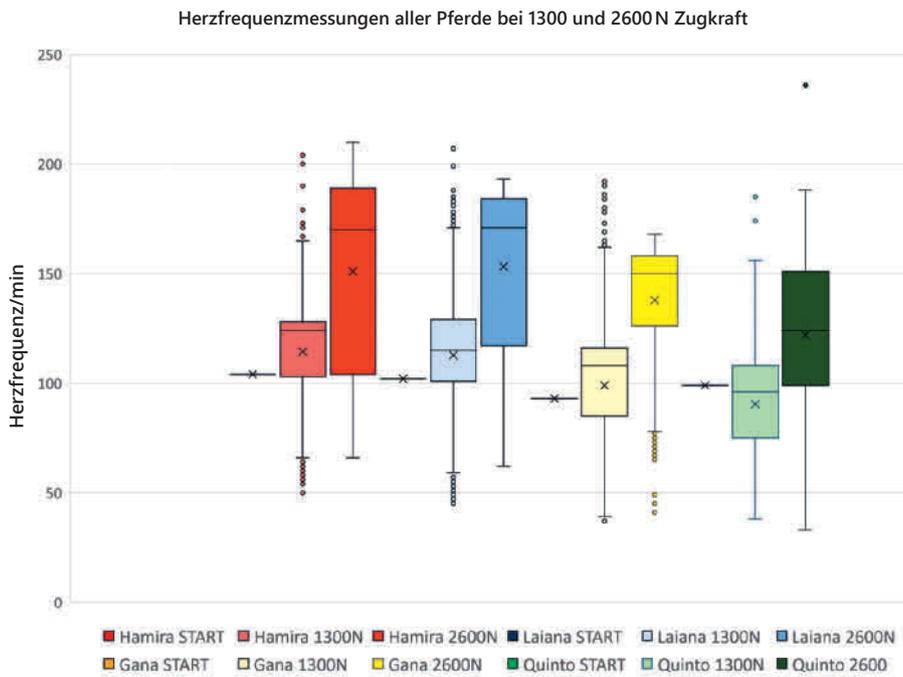


Abb. 4 Boxplots der aufgezeichneten Herzfrequenzen pro Pferd mit den Minima, Maxima, den Medianen, den Quartilsgrenzen, sowie den Mittelwerten in der Box (x). Die Punkte stellen die Ausreißer der Datenpunkte da. Hamira und Laiana = Gespann 1/2; Gana und Quinto = Gespann 3/4. | Boxplots of the recorded heart rates per horse with the minima, maxima, the medians, the quartile limits, as well as the mean values in the box (x). The dots represent the outliers of the data points. Hamira and Laiana = carriage 1/2; Gana and Quinto = carriage 3/4.

Tab. 1 Übersicht über die durchschnittlich gelaufenen Geschwindigkeiten (m/s) und erhaltene Watt bzw. PS. Leistungen je Pferd und je Zugkraftstufe der beiden Gespanne. | Overview of the average run speeds (m/s) and obtained watts or horsepower. Performance per horse (PS = horsepower) and per traction level of the two teams.

| | Ø Geschwindigkeit (m/s) | Watt | Pferdestärke (PS) |
|--------------------------------|-------------------------|------|-------------------|
| Zugkraftstufe 1300 N | | | |
| Gespann 1/2 (Angaben je Pferd) | 1,58 | 813 | 1,11 |
| Gespann 3/4 (Angaben je Pferd) | 1,54 | 919 | 1,25 |
| Zugkraftstufe 2600 N | | | |
| Gespann 1/2 (Angaben je Pferd) | 1,70 | 2095 | 2,85 |
| Gespann 3/4 (Angaben je Pferd) | 1,52 | 1934 | 2,63 |

Diskussion

Ziel der Arbeit war es, die Belastung von zwei Zweiergespannen mit einer als zumutbar geltenden Zuglast von 10% ihres Körpergewichtes und der doppelten Zuglast entsprechend 20% ihres Körpergewichtes einzustufen. Um die Gesundheit und das Wohlbefinden der Pferde sicherzustellen, ist es wichtig, entsprechende Arbeitsintensitäten in Bezug auf ihre physischen und psychischen Auswirkungen zu beurteilen. Der allgemeine Eindruck der Pferde 30 min nach den jeweiligen Zugbelastungen war nach äußerlicher Betrachtung gut. Nach Ende der Belastung machten die Pferde beider Gespanne einen aufmerksamen Eindruck und standen in gelöster Körperhaltung im Zug. Bei der doppelten, zumutbaren Zuglast von 2600 N äußerte sich die schwere Arbeit in einer deutlich erhöhten Atemfrequenz und die Pferde schwitzten weitaus stärker als bei der Zuglaststärke von 1300 N. Beiden Pferden tropfte der Schweiß von den Augen und unter dem Bauch, Hals und Flanken waren schweißnass, zwischen den Schenkeln fand sich weißer Schaum. Nach Einordnung von Zeyner et al. (2013) würde dies dem Schweißscore 5 entsprechen, gleichbedeutend mit einem Flüssigkeitsverlust zwischen 12 und 18 Litern. Bei der Zuglast von 1300 N schwitzten die Pferde demgegenüber deutlich weniger stark, etwa dem Schweißscore 2 zuzuordnen, mit schweißnassen Arealen an Hals und unter dem Zaumzeug bzw. Geschirr. Zu berücksichtigen ist, dass es am Morgen mit einer durchschnittlichen Temperatur von rund 13°C deutlich kühler war als am Nachmittag (19,5°C). Nachdem bereits der rein äußerliche Eindruck der Pferde auf eine mittlere bis schwere Arbeit hinwies, konnten die entsprechenden Zuglaststärken durch die kontinuierliche Aufzeichnung mit dem Zugkraftsensor bestätigt werden (Abb. 2). In Bezug auf die Festlegung der Zugkraftstärken müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden: Erstens wurde das Gewicht der Pferde bei der Einstellung der Zuglast am gebremsten Wagen überschätzt. Es wurde von 650 kg ausgegangen, tatsächlich wogen die vier Pferde im Durchschnitt aber nur rund 570 kg. Damit betrüge die zumutbare Zugleistung 1140 N, nicht 1300 N, das Doppelte wären 2280 N, nicht 2600 N. Im Mittel lag die tatsächlich geleistete Zugkraft beim Sollwert von 1300 N näher an 1100 N, bei der höheren Zugkraftstufe mit dem Sollwert

von 2600 N lag die tatsächlich geleistete Zugkraft bei rund 2500 N. Zweitens wurde bei der Festlegung des Sollwertes der Zugkraft der Effekt des Gespannverlustes vernachlässigt, da es sich nur um 30 min Arbeit handelte. In einem Gespann von zwei Pferden ist mit einem Dauerzugkraftverlust zwischen 7% bis 10% oder sogar 20% zu rechnen (Herrmann 1991, Herold 2016). Wäre die maximal zumutbare Dauerzugleistung bei einem tatsächlichen, durchschnittlichen Gewicht der Pferde von 570 kg insgesamt 144 kg, dann läge die maximal zumutbare Dauerzugleistung nach Abzug von 10% des Gespannverlustes (ca. 11 kg) bei 1030 N. Obwohl die beiden Gespanne eine hohe Zugleistung erbrachten, regenerierten sie sich rasch und wirkten 30 min nach Ende der Belastung bereits erholt, hatten getrunken und grasten ausgeschirrt bis zur letzten Blutentnahme im Schatten, am Halfter geführt von den Besitzern.

Zur Interpretation der Ergebnisse der Herzfrequenzaufzeichnungen nach Bitschnau et al. (2013) und der Laborresultate von Glucose, Cortisol und FFS im Blut bei den beiden Gespannen und den zwei Zugkraftstärken wurden verschiedene Überlegungen angestellt. Grundsätzlich sind Pferde zu sehr hohen Arbeitsleistungen fähig, bei Renngeschwindigkeiten kann sich der Metabolismus um das 60-fache gegenüber den Basalwerten steigern (Guthrie und Lund 1998). Um die Sauerstoffzufuhr zur Arbeitsmuskulatur der Pferde bei Anstrengungen sicherzustellen, bedient sich der Körper zweier wesentlicher «Stress-Mechanismen»: zum einen die Aktivierung des adrenergen Systems und zum anderen der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinde (HPA) -Achse. Die Aktivierung dieser Systeme führt bei Arbeitsbelastungen zum raschen Anstieg von Adrenocorticotropin (ACTH), Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol, so dass diese Hormone als Indikatoren für arbeitsinduzierten Stress herangezogen werden können (Hyypä 2005). Mit der Aktivierung des adrenergen Systems kommt es zum Anstieg der Herzfrequenz, des Herzminutenvolumens, dem Anstieg der zirkulierenden Erythrozyten infolge der Milzkontraktion und zum gesteigerten Blutfluss zur Arbeitsmuskulatur. Die gesteigerte Herzfrequenz konnte bei den beiden Gespannen und den zwei Zugkraftstärken aufgezeigt werden (Abb. 4). Bei eher Kaltblut betonten Pferderassen liegen die maximalen Herzfrequenzen tiefer als bei Vollblütern (Birlen-

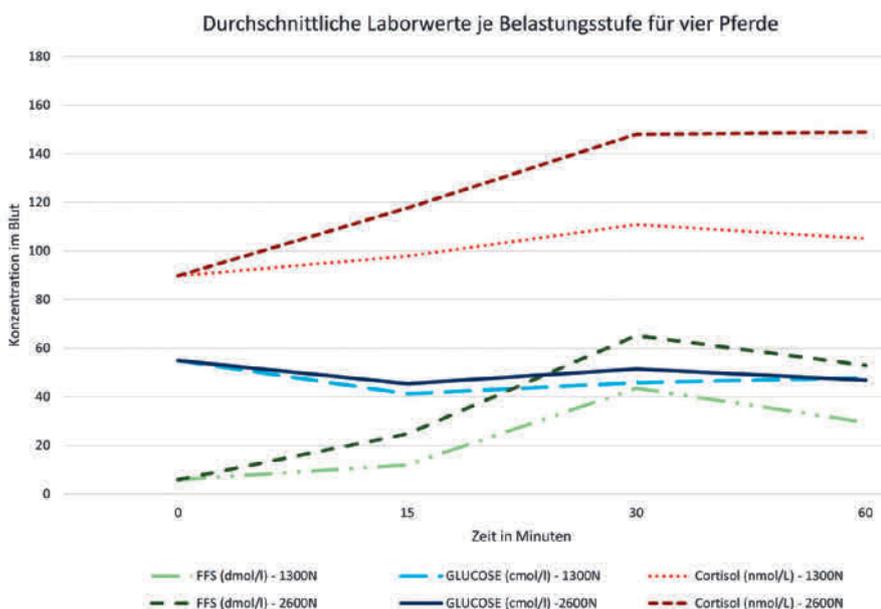


Abb. 5 Durchschnittliche Blutkonzentrationen der vier Pferde an freien Fettsäuren (FFS, dnmol/l), Cortisol (nmol/l), und Glucose (cmol/l) vor der Belastung, nach 15 min und 30 min Belastung, sowie 30 min nach Belastungsende (60 min) bei 1300 N und 2600 N Zugkraftstärke. | Average blood concentrations of non-esterified free fatty acids (NEFA, dnmol/l), cortisol (nmol/l), and glucose (cmol/l) of the four horses before traction, after 15 min and 30 min of traction, and 30 min after the end of traction (60 min) at 1300 N and 2600 N tensile force.

bach Potard et al. 1998), so dass diese Arbeitsintensitäten in Bezug auf die gemessenen Herzfrequenzen für die Freibergpferde als mittel bis hoch eingestuft wurden (Abb. 4). In einer Übersichtsarbeit zur Leistungsphysiologie von Zugpferden in Japan von Higara und Sugano (2017) wurden Beziehungen zwischen Herzfrequenzen und Zugbelastungen zwischen 40–125 kg bei einer Belastungsdauer von 20 min dargestellt, wobei die aufgezeigten Herzfrequenzen je nach Zuglast zwischen 30–175/min lagen, in einem ähnlichen Bereich wie in der vorliegenden Studie, wenn auch unter gänzlich anderen Umweltbedingungen. Eine Trainerregel zur Beurteilung der Kondition der Pferde besagt, dass sich die Arbeitsherzfrequenz 60 Sekunden nach Ende der Belastung halbiert haben sollte. Dies traf bei den in vorliegender Studie eingesetzten Pferde einzig 15 min nach der Zugarbeit bei 1300 N zu. Bei längerer und höherer Belastung verlängerte sich die Zeit bis zum Erreichen der Ruheherzfrequenz deutlich. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Lindner et al. (2020), die aufzeigen konnten, dass die Dauer der Erholung bis zur Ruheherzfrequenz von der Dauer und der Intensität der Arbeit abhängt, aber auch von der Höhe der Ruheherzfrequenz selbst. So zeigten Pferde mit einem tiefen Ruhepuls eine raschere Erholung auf die vorgegebenen Werte. Bei den Veterinärkontrollen in Distanzpferderennen liegt dieser Wert in der Regel bei Herzfrequenzen von 64/min. Die Autoren folgerten daraus, dass statt festgelegten Grenzen für die Erholungsherzfrequenzen diese individuell vorgängig bestimmt werden sollten. Bei den Freibergpferden mit eher höheren Ruheherzfrequenzen zwischen

40 und 44/min und in Bezug auf die Dauer bzw. Intensität der Belastung wurden die erhobenen Erholungszeiten und Herzfrequenzen der Pferde einem angemessenen Konditionsniveau entsprechend eingeordnet.

Die hormonalen Mechanismen haben nicht nur große Bedeutung für die Erhöhung der Herzleistung und der Sauerstoffzufuhr, sondern spielen auch eine bedeutende Rolle für die Mobilisierung und Umsetzung von Substraten zur Energiegewinnung. Es wurde gezeigt, dass die Herzfrequenz positiv mit den Cortisol- und FFS Werten korreliert (Casella et al. 2015, Hyyppä 2005), was sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt und die Cortisol-, als auch die FFS Werte positiv mit der Herzfrequenz korrelierten ($r = 0,64$ bzw. $r = 0,53$, $p < 0,05$).

Katecholamine führen zum Glykogenabbau in Muskulatur und Leber, erhöhen den Fettabbau und unterdrücken die Insulinfreisetzung. Diese Effekte manifestieren sich in einem Anstieg der Konzentrationen an FFS und Glucose im Blut, wobei beide Substrate der arbeitenden Muskulatur zugutekommen (Hyyppä 2005). Alle vier Pferde reagierten zu Beginn der Belastung in den ersten 15 min bei beiden Zugkraftstufen mit einem leichten Abfall der Glucosewerte im Blut, welche danach aber wieder anstiegen. Bereits in früheren Studien konnte gezeigt werden, dass Blutglucosekonzentrationen im Verlauf von Trainingsbelastungen progressiv ansteigen und die Anstiege in Abhängigkeit vom Trainingsstatus unterschiedlich hoch ausfallen (Geor

Tab. 2 Laborresultate für Freie Fettsäuren (FFS) (mmol/l), Glucose (mmol/l) und Cortisol (ng/ml, mmol/l) der vier Pferde aus Gespann 1/2 und 3/4 bei den Zugkräften von 1300 N und 2600 N bei 0, 15, 30, und 60 min nach Belastung. | Laboratory results for non-esterified fatty acids (NEFA) (mmol/l), glucose (mmol/l) and cortisol (ng/ml, mmol/l) of the four horses of the team 1/2 and 3/4 at the tensile forces of 1300 N and 2600 N at 0, 15, 30, and 60 min after loading.

| Laboranalyse | Zeit nach Belastung (min) | Pferde Gespann 1/2 | | | | Pferde Gespann 3/4 | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|
| | | Hamira Zugkraft (N) | | Laiana Zugkraft (N) | | Gana Zugkraft (N) | | Quinto Zugkraft (N) | |
| | | 1300 | 2600 | 1300 | 2600 | 1300 | 2600 | 1300 | 2600 |
| FFS (mmol/l) | 0 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,11 |
| | 15 | 0,12 | 0,17 | 0,10 | 0,19 | 0,07 | 0,26 | 0,19 | 0,37 |
| | 30 | 0,54 | 0,72 | 0,38 | 0,51 | 0,52 | 0,61 | 0,30 | 0,77 |
| | 60 | 0,17 | 0,22 | 0,22 | 0,29 | 0,42 | 0,90 | 0,37 | 0,71 |
| GLUCOSE (mmol/l) | 0 | 5,72 | 5,72 | 5,23 | 5,23 | 5,61 | 5,61 | 5,44 | 5,44 |
| | 15 | 4,85 | 5,14 | 4,15 | 4,66 | 3,52 | 4,19 | 4,00 | 4,19 |
| | 30 | 5,02 | 5,95 | 4,90 | 4,36 | 4,36 | 5,31 | 4,05 | 4,95 |
| | 60 | 5,03 | 5,03 | 4,75 | 4,46 | 4,77 | 4,74 | 4,61 | 4,50 |
| Cortisol (ng/ml) | 0 | 31,4 | 31,4 | 34,5 | 34,5 | 24,8 | 24,8 | 39,7 | 39,7 |
| | 15 | 50,3 | 51,6 | 34,5 | 55,2 | 29,3 | 40,2 | 27,9 | 47,5 |
| | 30 | 49,3 | 56,2 | 42,0 | 58,8 | 36,0 | 51,6 | 33,6 | 48,2 |
| | 60 | 41,9 | 57,2 | 41,5 | 53,8 | 34,1 | 52,6 | 34,9 | 52,4 |
| Cortisol (nmol/l) | 0 | 86,6 | 86,6 | 95,1 | 95,1 | 68,4 | 68,4 | 109,4 | 109,4 |
| | 15 | 138,7 | 142,2 | 95,1 | 152,3 | 80,7 | 110,9 | 76,9 | 65,5 |
| | 30 | 135,9 | 155,0 | 115,9 | 162,2 | 99,2 | 142,3 | 92,8 | 132,8 |
| | 60 | 115,5 | 157,7 | 114,5 | 148,5 | 94,1 | 145,0 | 96,4 | 144,4 |

et al. 2002). In der Studie von Geor et al. (2002) wurden 5 Vollblut- und zwei Traberpferde 60 min auf dem Laufband belastet, wobei je nach Trainingsniveau nach 30 min Glucose-Werte zwischen 5,5 und 7 mmol/l gemessen wurden. Bei den Zugbelastungen in vorliegender Arbeit wurden durchschnittlich für alle Pferde bei 1300 N Glucose-Werte von 4,79 mmol/l und bei 2600 N Werte von 4,68 mmol/l gemessen. Bei dem älteren Freibergerpferd in Gespann 3/4, fiel der initiale Abfall der Blutglucose sowie der nachfolgende Wiederanstieg stärker aus als bei dem Freibergerpferd in Gespann 1/2. Die Freibergerpferde aus Gespann 3/4, wurden ausschließlich mit Heu gefüttert, das Paar aus Gespann 1/2 erhielt zusätzlich täglich 2 kg Kraftfutter. Jansson und Lindberg (2012) konnten aufzeigen, dass Pferde, die mit gehaltvollem Heu gefüttert wurden, gegenüber zusätzlich mit Kraftfutter gefütterten Pferden eine andere metabolische Antwort bzw. auch des Blutglucose Verlaufes bei Belastung aufwiesen, diese Veränderung aber als positiv in Bezug auf die Leistung angesehen wurde. Inwieweit die geringe Kraftfutterzulage bei Gespann 1/2 einen Effekt ausübte, bleibt spekulativ, denn neben der Fütterung beeinflussen auch andere Faktoren, wie der Trainingszustand den Glucose Metabolismus (Geor et al. 2002). Beim Gespann 1/2 handelte es sich um das Gespann mit den jüngeren Pferden, welche eine geringere Trainingserfahrung im Zug aufwiesen. Freie Fettsäuren, FFS sind Metaboliten mit hohem energetischem Potential und spielen vor allem im aeroben Stoffwechsel mit geringer Intensität und langer Dauer eine große Rolle. Die Pferde beider Gespanne zeigten eine höhere Mobilisierung der FFS bei der Zuglast von 2600 N, zum einen zurückzuführen auf den erhöhten Energiebedarf, zum anderen könnte auch ein tageszeitlicher Faktor eine Rolle spielen. Piccione et al. (2009) konnten einen höheren Anstieg der FFS am Nachmittag feststellen, wobei auch in vorliegender Arbeit der Arbeitseinsatz mit der höheren Zuglast am Nachmittag stattfand, so dass ein entsprechender Effekt eine Rolle spielen kann. Bei beiden Zugbelastungen wurden höhere Konzentrationen der FFS erreicht als in der Studie von Piccione et al. (2014). In deren Arbeit durchliefen die Springpferde einen Parcours von 350 m Länge und 14 Sprüngen von 1,20 m Höhe, die Vollblüter liefen ein 1700 m langes Rennen bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 800 m/min. Hier erreichten die Blutplasmakonzentrationen der FFS-Werte zwischen 0,06 und 0,08 mmol/l, während die vier Freibergerpferde durchschnittliche FFS-Werte von 0,30 mmol/l bei 1300 N und 0,53 mmol/l bei 2600 N erreichten. Die beobachteten Unterschiede sind am naheliegendsten in der unterschiedlichen Muskelfaserrekrutierung mit jeweils unterschiedlichem Energiestoffwechsel der vier Freibergerpferde zu suchen.

Die Plasmacortisol-Basalwerte lagen in Ruhe zwischen rund 24,8–39,7 ng/ml und damit tiefer als in der Studie von Krumrych et al. (2018). Diese Autoren untersuchten Rennpferde, Traber und Warmblutpferde der Disziplinen Springen und Fahren, wobei die Basalwerte von Plasmacortisol bei diesen Pferden zwischen rund 39,4–50,2 ng/ml angesiedelt waren, Werte die von den Autoren als im normalen physiologischen Bereich interpretiert wurden. Tiefere Basalwerte von Speichelcortisol bei Freibergerpferden gegenüber Warmblutpferden wurden erstmals von den Autoren Scheidegger et al. (2016) beschrieben, wobei es sich bei der Stichprobe ausschließlich um Freibergerpferde handelte, so dass der Effekt nicht eindeutig der Rasse oder dem Geschlecht zugeordnet werden konnte. Nach analogen Ergebnissen in der uns vorliegenden

kleinen Stichprobe bei Freibergerpferden und einem Wallach scheint sich diese Beobachtung auf die Freibergerpferde zu beziehen. Hier müssten zur Bestätigung größere Stichproben unter weitgehend standardisierten Bedingungen untersucht werden. Weiter ist zu erwähnen, dass es sich in der Studie von Scheidegger et al. (2016) um Speichelcortisolproben, in der vorliegenden Studie jedoch um Plasmacortisolproben handelte. Die Vergleichbarkeit ist aber gegeben, da eine hohe Korrelation zwischen Speichel- und Plasmacortisolwerten bei Pferden nachgewiesen wurde (Peeters et al. 2010, Schwinn et al. 2018). Bei einer Zugkraft von 1300 N lagen die Plasmacortisolwerte bei den vier Pferden in Bereichen zwischen 29,3–50,3 ng/ml, bei der Zugkraftstufe von 2600 N zwischen 24,8–58,8 ng/ml (Tab. 2). Bei beiden Zugkraftstärken reagierten die Pferde des Gespannes 1/2 mit höheren Cortisolwerten im Vergleich zu den entsprechenden Proben von Gespann 3/4. Bei Gespann 1/2 handelte es sich um die jüngeren und unerfahreneren Pferde. Bereits frühere Studien zeigten auf, dass jüngere Pferde höhere Plasmacortisol-Werte aufwiesen als ältere Pferde mit größerer Trainingserfahrung (Fazio et al. 2014). Um die Größenordnung des Anstieges der Plasmacortisolwerte der vier Freibergerpferde bei 2600 N einzuordnen, kann wiederum die Studie von Krumrych et al. (2018) dienen, in der die durchschnittlichen Plasmacortisolwerte von neun Warmblut-Fahrpferden nach 30–40 min intensiven Trainings zwischen $60,72 \pm 9,51$ und $63,66 \pm 10,07$ ng/ml lagen, so dass auch in der vorliegenden Studie von keiner Überforderung der vier Freibergerpferde ausgegangen werden kann.

Schlussfolgerungen

Die kontinuierliche Aufzeichnung der Zugleistung von 1300 N und 2600 N mit dem Dynamometer bei zwei Freibergergespannen erlaubte in Kombination mit der Herzfrequenzmessung und der Erhebung von Cortisol-, FFS- und Glucose-Werten im Blut die Einstufung der Leistung im Hinblick auf ihre physische und psychische Belastung. Die erhobenen Werte wiesen auf mittlere bis hohe Arbeitsintensitäten hin. Da Herzfrequenzen und Cortisol-, bzw. FFS-Werte positiv korreliert waren, konnte von einer ausgeglichenen Aktivierung des adrenergen Systems und der HPA (Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinde) -Achse ausgegangen werden, so dass eine psychische Belastungskomponente als unwahrscheinlich erschien. Anhand der Herzfrequenzanstiege und Erholungswerte wurde deutlich, dass das ältere und erfahrenere Freibergergespann einen höheren Fitnesszustand aufwies. Geringere Cortisolanstiege während der Belastung beim älteren Gespann weisen darauf hin, dass Erfahrung und Training mögliche psychische Stresssituationen reduzieren. Bei weiterführenden Studien könnten Effekte durch Trainings- und Fütterungsoptimierung auf die Gesundheit, das Tierwohl und die Dauerzugleistung von Arbeitspferden bei einer größeren Stichprobe und über eine längere Zeit untersucht werden.

Literatur

Bencke N. (1994) Der Mensch und seine Haustiere. Die Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung. Konrad Theiss Verlag; Stuttgart; <https://doi.org/10.11588/ai.1997.1.16269>

- Birlenbach Potard U. S., Leith D. E., Fedde M. R. (1998) Force, speed, and oxygen consumption in Thoroughbred and draft horses. *J. Appl. Physiol.* 84, 2052–2059; DOI 10.1152/jappl.1998.84.6.2052
- Bitschnau C., Jones J., Haldi J., Laukkanen R., Weishaupt M. (2013) White Paper – Polar Sport Zones for horses, 1–7; <https://www.polar.com/sites/default/files/static/science/white-papers/polar-sport-zones-for-horses-whitepaper.pdf>
- Brunner W. (1942) Untersuchung über die Arbeitsleistung des Schweizerischen Zugpferdes (Jurapferd). Diss. ETH Zürich; <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000276776>
- Casella A., Vazzana I., Giudice E., Fazio F., Piccione G. (2015) Relationship between serum cortisol levels and some physiological parameters following reining training sessions in horses. *J. Anim. Sci.* 87, 729–735; DOI 10.1111/asj.12478
- Collins E. V., Caine A. B. (2017) Testing draft horses. *Bulletin* 20, No. 240, Article 1; <https://lib.dr.iastate.edu/bulletin/vol20/iss240/1>
- Ehrlein H. J., von Engelhardt W., Hörnicke H., Tolkmitt G., Dusek J. (1970) Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden. *Zbl. Vet. Med. A.* 17, 577–591
- FAO (2014) The role, impact and welfare of working (traction and transport) animals. *Anim. Prod. Health Rep.* 5. Rome
- Fazio E., Medica P., Cravana C., Molinari P., Ferlazzo A. (2014) Effect of experience on adrenocortical and thyroid responses of Arabian horses to gymkhana games. *J. Equine Vet. Sci.* 34, 799–804; DOI 10.1016/j.jevs.2014.02.003
- Geor R. J., McCutcheon L. J., Hinchcliff K. W., Sams R. A. (2002) Training-induced alterations in glucose metabolism during moderate-intensity exercise. *Equine Vet. J. Suppl.* 34, 22–28; DOI 10.1111/j.2042-3306.2002.tb05386.x
- Goe M. R. (1983) Current status of research on animal traction. *World Anim. Rev.* 45, 2–17
- Guthrie A. J., Lund R. J. (1998) Thermoregulation. *Vet. Clin. North. Am. Equine Pract.* 14, 45–59; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30211-0
- Hausberger M., Lerch N., Guilbaud E., Stomp M., Grandgeorge M., Henry S., Lesimple C. (2020) On-farm welfare assessment of horses: the risks of putting the cart before the horse. *Animals* 10, 371; DOI 10.3390/ani10030371
- Herold P. (2016) Untersuchungen zum Leistungspotenzial des Einsatzes von Arbeitspferden und moderner pferdebezogener Technik im Ökologischen Landbau am Beispiel der Mahd im Grünland. Diss. Univ. Kassel; urn:nbn:de:hebis:34-2017061352613
- Herrmann K. (1991) Historische Überlegungen zur Zugleistung der Pferde. *Zugpferd* 4, 9–14
- Hinchcliff K. W., Geor R. J., Kaneps A. J. (2008) *Equine Exercise Physiology*. Saunders Ltd., 441–463; <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2857-1.X5001-X>
- Higara A., Sugano S. (2017) Studies on the exercise physiology of draft horses performed in Japan during the 1950s and 1960s. *J. Equine. Sci.* 28, 1–12; DOI 10.1294/jes.28.1
- Hoffmann V. (1992) Untersuchung physischer Beanspruchungen des Pferdes bei Rückarbeiten. Dipl. Fachbereich Forstwirtschaft der FH Hildesheim/Holzminden; Göttingen, 68 S.
- Hyyppä S. (2005) Endocrinal responses in exercising horses. *Livest. Prod. Sci.* 92, 113–121; <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.11.014>
- Inns F. (1996) Matching tillage implements to draught animal potential. *World Anim. Rev.* 86, 40–49
- Jansson A., Lindberg J. E. (2012) A forage-only diet alters the metabolic response of horses in training. *Animal* 6, 1939–1946; DOI 10.1017/S1751731112000948
- Krüger L. (1958) Die Bestimmung der Arbeitsfähigkeit bei Pferd und Rind durch Leistungsprüfungen, physiologische und psychologische Messwerte und durch die Exterieurbeurteilung. *Z. Tierz. u. Zücht. Biol.* 70, 1–20; <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1957.tb01030.x>
- Krumrych W., Golda R., Golynski M., Markiewicz H., Buzala M. (2018) Effect of physical exercise on cortisol concentration and neutrophil oxygen metabolism in peripheral blood of horses. *Ann. Anim. Sci.* 18, 53–68; DOI 10.1515/aoas-2017-0019
- Lhoste P., Havad M., Vall E. (2010) *La traction animale. Agri-cultures tropicales en poche*; www.pressesagro.be/e-book/9782870161081.pdf
- Lindner A., Esser M., López R., Boffi F. (2020) Relationship between resting and recovery Heart Rate in Horses. *Animals* 10, 120; DOI 10.3390/ani10010120
- Peeters M., Sulon J., Beckers F., Ledoux D., Vandenheede M. (2010) Comparison between blood serum and salivary cortisol concentrations in horses using an adrenocorticotropic hormone challenge. *Equine Vet. J.* 43, 487–493; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00294.x
- Piccione G., Assenza A., Borruso M., Fazio F., Caola G. (2009) Daily pattern of some fatty acids in the athletic horse. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93, 7–14; DOI 10.1111/j.1439-0396.2007.00790.x
- Piccione G., Arfuso F., Fazio F., Bazzano M., Gianetto C. (2014) Serum lipid modification related to exercise and polyunsaturated fatty acid supplementation in jumpers and thoroughbred horses. *J. Equine Vet. Sci.* 34, 1181–1187; DOI 10.1016/j.jevs.2014.07.005
- Polar® (2021) Polar heart rates zones for horses. <https://www.polar.com/en/products/equine/polar-heart-rate-zones-for-horses>
- R Core Team R (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- Reynaud E., von Niederhäusern R., Ackermann C. (2018) *Das Arbeitspferd in der Schweiz*. Agroscope Transfer, N. 217.
- Scheidegger M. D., Gerber V., Ramseyer A., Schüpbach-Regula G., Bruckmaier R. M., van der Kolk J. H. (2016) Repeatability of the ACTH stimulation test as reflected by salivary cortisol response in healthy horses. *Domest. Anim. Endocrinol.* 57, 43–47; DOI 10.1016/j.domaniend.2016.04.002
- Schroll E. (2008) Brustblattgeschirre – Geschirre zum Fahren und Arbeiten? – *Starke Pferde* 12, 36–45
- Schwinn A.-C., Sauer F. J., Gerber V., Bruckmaier R. M., Gross J. J. (2018) Free and bound cortisol in plasma and saliva during ACTH challenge in dairy cows and horses *J. Anim. Sci.* 96, 76–84; <https://doi.org/10.1093/jas/skx008>
- Thun R., Eggenberger E., Zerobin K., Lüscher T., Vetter W. (1981) Twenty-four-hour secretory pattern of Cortisol in the Bull: Evidence of Episodic Secretion and Circadian Rhythm. *Endocrinology* 109, 2208–2212; DOI 10.1210/endo-109-6-2208
- Von Engelhardt W., Hörnicke H., Ehrlein H. J., Schmidt E. (1973) Laktat, Pyruvat, Glukose und Wasserstoffionen im venösen Blut bei Reitpferden in unterschiedlichem Trainingszustand. *Zbl. Vet. Med. A.* 20, 173–187
- Von Wittke P., Lindner A., Deegen E., Sommer H. (1994) Effects of training on blood lactate-running speed relationship in thoroughbred racehorses. *J. Appl. Physiol.* 1, 298–302; DOI 10.1152/jappl.1994.77.1.298
- Wilson R. T. (2002) *The Welfare of Horses*, Waran N. (ed.) 203–218; DOI 10.1007/978-0-306-48215-1
- Zeyner A., Romanowski K., Vernunft A., Harris A., Kienzle E. (2013). Scoring of sweat losses in exercised horses – a pilot study. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*; 98 (2); 246–250; DOI: 10.1111/jpn.12073