

# Vergleich der Spurenelementkonzentration von Kupfer in Blut- und Kotproben von Pferden in Deutschland

Cedric-Bo Lüpckemann<sup>1</sup>, Anja-Elvira Müller<sup>2</sup>, Leonie Berwanger<sup>3</sup>, Lydia Staufenbiel<sup>4</sup> und Heidrun Gehlen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Pferde, Freie Universität Berlin, Berlin

<sup>2</sup> Anne-Frank-Straße 7/2, 71701 Schwieberdingen

<sup>3</sup> Institut für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie, Freie Universität, Berlin

<sup>4</sup> Fritz-Reuter-Straße 5, 19372 Herzfeld

**Zusammenfassung:** Um eine Aussage über die metabolische Versorgungslage von Pferden treffen zu können, werden in der labor diagnostischen Analytik zum jetzigen Zeitpunkt ausschließlich Blutserumuntersuchungen durchgeführt. Zur Überprüfung der nutritiven Versorgungslage soll die Kotprobenanalyse als Diagnostikum hinzugezogen werden. Im Mittelpunkt dieser Studie steht das Spurenelement Kupfer, weil die Aussagekraft der Konzentration in Blutproben als ungenau gilt. Ziel dieser Studie ist es, die Aussagekraft der serologischen Auswertung mit der von Kotprobenuntersuchungen zu vergleichen und kritisch zu hinterfragen. Weiterhin ist zu hinterfragen, inwieweit die Kotprobenanalyse der serologischen Analyse vorgezogen werden kann. In der vorliegenden Studie wurde die Kupferkonzentration in Kot- und Blutproben von jeweils 10 Pferden aus den 13 Flächenbundesländern mit Hilfe von ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) analysiert und verglichen. Die Pferde waren Pferde aller Rassen, zwischen 3 und 35 Jahren und mit Zugang zur Weide. Es erfolgte keine einheitliche Fütterung. Es besteht keine Korrelation zwischen der Kupferkonzentration von Kot- und Blutproben. Die Kupferkonzentration der Serumproben korreliert jedoch mit der Konzentration in anderen Blutprobemedien (Plasma, EDTA). Die Aussagekraft der Kupferkonzentration in Blutproben ist durch die Speicherung von Kupfer in der Leber begrenzt. Da eine Leberbiopsie im klinischen Alltag weder praktikabel noch dem Aufwand entsprechend ist, sollen andere analytische Verfahren Anwendung finden. Die Kotprobenuntersuchung liefert einerseits eine bessere Aussagekraft bei marginalen Veränderungen der Kupferkonzentration und andererseits stellt die Probenentnahme ein minimal invasiveres Verfahren dar.

**Schlüsselwörter:** Messmethodenvergleich, Spurenelementanalyse, Kotprobenuntersuchung, Kupfer, Pferde

## Comparison of the trace element concentration of copper in blood and fecal samples from horses in Germany

In order to be able to make a statement about the metabolic supply situation of horses, only blood serum tests are currently used in laboratory diagnostics. Fecal sample analysis is to be used as a diagnostic tool to check the nutritional supply situation. This study focuses on the trace element copper, because the significance of the concentration in blood samples is considered to be inaccurate. The aim of this study is to compare and to critically scrutinize the informative value of serological analysis with that of fecal sample analysis. Furthermore, the extent to which fecal sample analysis can be preferred to serological analysis should be questioned. In the present study, the copper concentration in faecal and blood samples from 10 horses from each of the 13 German federal states was analyzed and compared using ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry). The horses were of all breeds, between 3 and 35 years of age and with access to pasture. There was no uniform feeding. There was no correlation between the copper concentration of fecal and blood samples. However, the copper concentration of the serum samples correlates with the concentration in other blood samples (plasma, EDTA). The significance of the copper concentration in blood samples is limited by the storage of copper in the liver. As a liver biopsy is neither practicable nor cost effective in everyday clinical practice, other analytical methods should be used. On the one hand, the examination of fecal samples provides better information in the case of marginal changes in copper concentration and, on the other hand, taking samples for fecal analysis is a minimally invasive procedure.

**Keywords:** comparison of measurement methods, trace element analysis, fecal sample analysis, copper, horses

**Zitation:** Lüpckemann C-B, Müller A-E, Berwanger L, Staufenbiel L, Gehlen H (2024) Vergleich der Spurenelementkonzentration von Kupfer in Blut- und Kotproben von Pferden in Deutschland, *Pferdehkl Equine Med* 40, 533–538, DOI 10.21836/PEM20240601

**Korrespondenz:** Cedric-Bo Lüpckemann, Am Leinewehr 15, 30519 Hannover, Deutschland, cedric-bo.luepkemann@mail.de

**Eingereicht:** 5. September 2024 | **Angenommen:** 7. Oktober 2024

## Einleitung

Eine adäquate Zufuhr von Spurenelementen ist für die Erhaltung der Gesundheit und für das Erbringen von Leistung bei Pferden unabdinglich<sup>[1]</sup>. Hierbei spielt vor allem Kupfer eine essentielle Rolle in der Pferdefütterung. Die Kupferkon-

zentration ist unter anderem für die Mineralstoffbalance von Bedeutung<sup>[2]</sup>. Ursächlich für diese Interaktion zwischen den einzelnen Mengen- und Spurenelementen ist ein gegenseitiger Verdrängungsmechanismus an diversen Transportproteinen oder Bioliganden<sup>[3]</sup>. So ist Kupfer unter anderem für die Oxidation von Fe<sup>2+</sup> zu Fe<sup>3+</sup> verantwortlich<sup>[4]</sup>. Als Bestand-

teil von Proteinen und Enzymen erfüllt Kupfer verschiedene Aufgaben im Organismus. Diese sogenannten Kupferproteine sind an dem Elektronentransfer, der Sauerstoffaktivierung sowie an dem Sauerstofftransport beteiligt<sup>[5]</sup>. Daher kann ein Kupfermangel unter anderem zu Pigmentstörungen führen<sup>[6]</sup>. Bei jungen Pferden wird seit längerem ein kausaler Zusammenhang zwischen einer mangelnden Kupferversorgung und der Osteochondrose vermutet<sup>[7]</sup>. Des Weiteren ist Kupfer auch für die Knochenbildung essentiell, da es für die Regulierung der Osteoblastenaktivität mit verantwortlich ist. Somit kann es bei Mangelsituationen zu Entwicklungsstörungen des Skeletts kommen<sup>[7,8]</sup>. Auch die bedarfsgerechte Kupferversorgung der tragenden Stute ist von Relevanz für die Speicherung von Kupfer in der fötalen Leber, da der Kupferbedarf nicht durch die Milch der laktierenden Stute abgedeckt wird und ein Kupfermangel dadurch nicht ausgeglichen werden kann<sup>[4]</sup>.

Durch die oben aufgeführten Punkte soll die Relevanz der adäquaten Versorgung mit Kupfer bei Pferden verdeutlicht werden. Zurzeit liegen lediglich Referenzwerte für die Kupferkonzentration in Serumproben vor (IDEXX Referenzwerte: 0,5–1,5 mg/l). Die Aussagekraft der Kupferkonzentration in Blutproben im Allgemeinen gilt zum heutigen Stand als ungenau. So sind Mangelsituationen aufgrund der Kupferspeicherung in der Leber erst nach Monaten feststellbar<sup>[9]</sup>. In der Rinderpraxis ist die Kotprobenuntersuchung bezüglich der Mengen- und Spurenelementkonzentration als Diagnostikum bereits etabliert<sup>[10,11]</sup>. Hieraus ergibt sich die Fragestellung, ob die Kotprobenuntersuchung ebenfalls in der Pferdemedizin die der Blutprobenanalyse vorzuziehen ist.

Schon 1981 wurde von Cymbaluk et al. ein linearer Zusammenhang zwischen der Kupferaufnahme und der fäkalen Kupferausscheidung festgestellt<sup>[12]</sup>. Hierbei wurde beschrieben, dass die fäkale Exkretion den Hauptausscheidungsweg für Mengen- und Spurenelemente darstellt<sup>[13]</sup>. Des Weiteren konnte Meyer et al. 1994 darlegen, dass die Kupferkonzentration in Serumproben eine große Variation aufweist, sodass hieraus Ungenauigkeiten resultieren<sup>[6]</sup>. Weiterhin führt der Gerinnungsprozess im Blut zur Sequestrierung von Coeruloplasmin, was zu einer Verfälschung der Werte in Blutproben führt<sup>[14]</sup>. Aktuelle Studien bestätigen dies. So konnte bei Pferden bzw. Fohlen ebenfalls keine eindeutige Assoziation zwischen der Fütterung von Kupfer und den Kupfergehalten im Blut nachgewiesen werden<sup>[15]</sup>. Weiterhin wurde bereits in diversen Studien dargelegt, dass sich Pferdekotproben prinzipiell für die Analyse der Mineralstoffversorgung eignen<sup>[16]</sup>. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit geeigneterer Messmethoden zur Bestimmung der Mengen- und Spurenelementkonzentration bei Pferden zu etablieren.

## Material und Methodik

### *Probanden, Probengewinnung und Analysen*

Insgesamt wurden 130 Pferde aus den 13 Flächenbundesländern im Rahmen einer Vorsorgeuntersuchung beprobt. Dabei handelte es sich um Pferde aller Rassen, im Alter zwischen 3 und 35 Jahren, welche nach den allgemeingültigen

klinischen Referenzwerten als gesund eingestuft wurden<sup>[17]</sup>. Die Pferde wurden sowohl freizeitlich, als auch sportlich genutzt. Des Weiteren stammten die Pferde aus unterschiedlichen Betrieben und hatten Zugang zur Weide. Es erfolgte keine einheitliche Fütterung. Bei einem Teil der Pferde wurde ein kupferhaltiges Mineralfutter supplementiert. Von allen Pferden wurden jeweils Kot-, sowie Serum-, Plasma- und EDTA-Blutproben entnommen. Die Kotproben wurden aus einem frisch abgesetzten Kothaufen gewonnen. Hierbei hat sowohl der Entnahmeort als auch der -zeitpunkt der Probengewinnung keinen Einfluss auf die Mengen- und Spurenelementkonzentration<sup>[18]</sup>. Die Lagerfähigkeit der Proben bei Raumtemperatur wurde durch eine 48-stündige Trocknung im Wärmeschrank bei 60°C erreicht. Die Kotproben wurden daraufhin bis zur weiteren Verarbeitung bei -18°C gelagert. Die Analyse der Proben fand in einem externen Labor (IDEXX, Labor Kornwestheim) statt. Um eine Separation und Zerkleinerung von groben Partikeln zu erreichen, wurden die Proben fein gesiebt. Eine definierte Probenmenge (Einwaage zwischen 0,028g und 0,04g) wurde mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES (inductively coupled plasma – optical emission spectrometry): Cu) nach einem zertifizierten Methodenstandardverfahren analysiert. Diese Methode stellt für das ausgewählte Spurenelement eine validierte Analytik dar und wurde bereits bei Untersuchungen von Kotproben bei Rindern und Pferden angewendet<sup>[18]</sup>. Die Serum-, Plasma- und EDTA-Blutproben wurden unter antiseptischen Bedingungen aus der Vena jugularis externa zu randomisierten Tageszeiten gewonnen. Die Probenentnahme bezüglich der Mengen- und Spurenelementkonzentration unterliegt keinen tageszeitlichen Schwankungen<sup>[19]</sup>. Nach der Probengewinnung wurden die Blutserum- und Plasmaproben für 10 Minuten ruhen gelassen und anschließend zentrifugiert. Daraufhin wurden diese bei einer Temperatur von 2–8°C (Serum) bzw. 15–25°C (EDTA-Blut und Plasma) gelagert und innerhalb von 24 Stunden in das Labor geschickt. Die Analyse der Proben fand ebenfalls in einem externen Labor (IDEXX, Labor Ludwigsburg) statt. Die Proben wurden ebenfalls mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES: Cu) nach zertifizierten Methodenstandardverfahren analysiert.

### *Statistische Auswertung*

Die Datenerfassung und -verwaltung erfolgte mit dem Programm Excel (Microsoft Excel 2016, Microsoft Corporation), die statistische Auswertung mithilfe von Python (Visual Studio Code). Tabelle 1 zeigt die deskriptive Statistik der Kupferkonzentration in Kotproben von insgesamt 130 Pferden (n = 130) aus 13 Flächenbundesländern.

Des Weiteren wurde auf eine Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Das Signifikanzniveau wurde hierbei auf 0,05 festgelegt. Zur Überprüfung einer Korrelation erfolgte die Berechnung des Rangkorrelationskoeffizientens nach Spearman zwischen den Serum- und Plasmaproben sowie den Serum- und EDTA-Blutproben und den Serum- und Kotproben. Um den Zusammenhang der verschiedenen Blutwerte graphisch zu verdeutlichen, wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

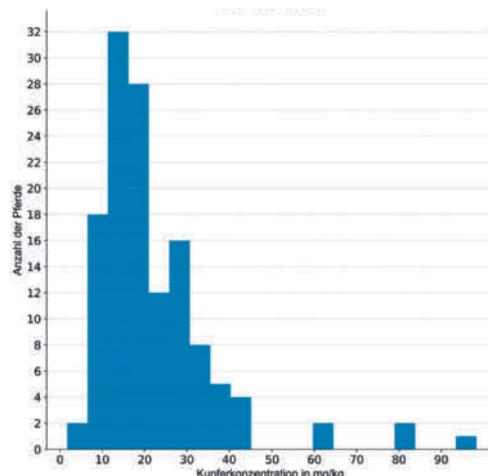
### Ergebnisse

Die gemessenen Kupferkonzentrationen in Kotproben zeigen Werte von 1,7 bis 98,3 mg/kg mit einem Mittelwert von 22,10 mg/kg auf (Tab. 1). Der ermittelte p-Werte der Kupferkonzentration in Kotproben liegt bei 0,0000000000012 und somit deutlich unter dem Signifikanzniveau von 0,05 (Tab. 2). Die visuelle Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Kupferkonzentration in Kotproben (Abb. 1) sowie der Shapiro-Wilk-Test bestätigen, dass keine Normalverteilung vorliegt. Die vergleichende Darstellung der Kupferkonzentrationen in Serum-, EDTA-Blut- und Plasmaproben (Abb. 2) zeigt, dass eine Assoziation zwischen den verschiedenen Blutprobemedien vorhanden ist. Dies wird weiterhin in Abbildung 3 und Abbildung 4 verdeutlicht und kann durch die Bestimmung des Korrelationskoeffizientens bestätigt werden. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Werten der Serum- und Plasmaproben liegt bei 0,94 und der zwischen Serum- und EDTA-Blutproben bei 0,85. Dementsprechend liegt erwartungsgemäß eine Korrelation zwischen den Werten der Blutproben vor. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Werten der Serum- und Kotproben liegt bei 0,04. Dieser und die visuelle Darstellung (Abb. 5) zeigen, dass keine lineare Korrelation zwischen Serum- und Kotproben vorliegt. Weiterhin lässt die Häufigkeitsverteilung der Kupferkonzentration in den Kotproben (Abb. 1) erkennen, dass der Median kleiner als das arithmetische Mittel ist, wodurch sich die Verteilung rechtsschief darstellt. Für die Blutwerte lässt sich eine ähnliche Tendenz erkennen (Abb. 2). Aufgrund der Deklaration der Kupferkonzentration in mg/kg TS in Kotproben und in mg/l in den Blutproben unterscheiden sich der Wertebereiche stark. Aus der Berechnung des Variationskoeffizientens wird deutlich, dass eine breitere Streuung der Kotproben im Vergleich zu den Blutproben vorliegt.

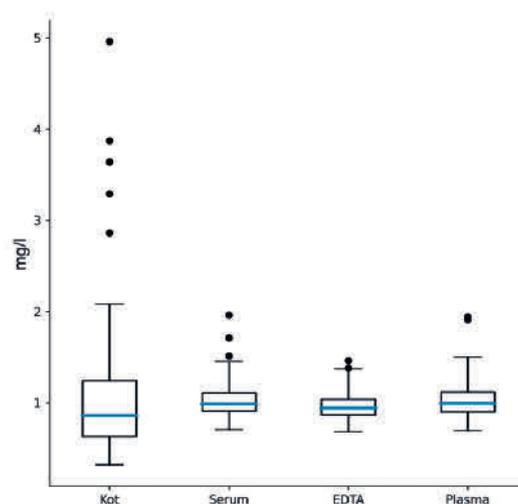
### Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es zu ermitteln, inwieweit sich die Kupferkonzentration in Blut- und Kotproben unterscheidet und ob die Kotprobenanalyse der Untersuchung von Blutserumproben als Diagnostikum für Mengen- und Spurenelemente bei Pferden vorgezogen werden kann. Um eine Aussagekraft über die Kupferversorgung bei Pferden treffen zu können, stellt aktuell die serologische Analyse neben der Rationsanalyse das einzige diagnostische Verfahren dar. Zunächst ist zu sagen, dass die Blutprobenuntersuchung bezüglich der Kupferkonzentration bei Pferden nicht obsolet ist. Die Aussagekraft der serologischen Auswertung ist lediglich durch mehrere Faktoren limitiert. So reflektiert die Blut-

probenuntersuchung keine kurz- bis mittelfristigen Engpässe in der Kupferversorgung, sondern lediglich eine langfristige Über- bzw. Unterversorgung mit Kupfer<sup>[9]</sup>. Dies liegt unter anderem an der Speicherung von Kupfer in der Leber. So



**Abb. 1** Verteilung der Kupferkonzentration (mg/kg) in Kotproben von 130 klinisch gesunden Pferden. | Distribution of copper concentration (mg/kg) in faecal samples from 130 clinically healthy horses.

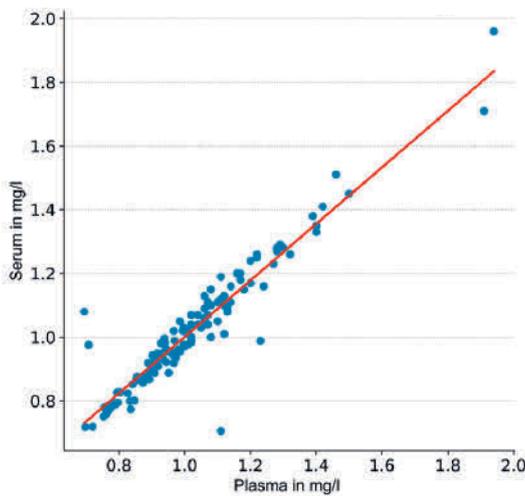


**Abb. 2** Vergleichende Verteilung der Kupferkonzentration (mg/l) in Serum-, EDTA-Blut- und Plasmaproben von 130 klinisch gesunden Pferden als Boxplot-Diagramm. Dargestellt sind Medianwert (-), der Interquartilsbereich, Erwartungsbereich (Federn) sowie Ausreißer (.). | Comparative distribution of the copper concentration (mg/l) of serum, EDTA blood and plasma in clinically healthy horses as a boxplot. The diagram shows the median (-), interquartile range, expected minimum and maximum as well as statistical outliers (.).

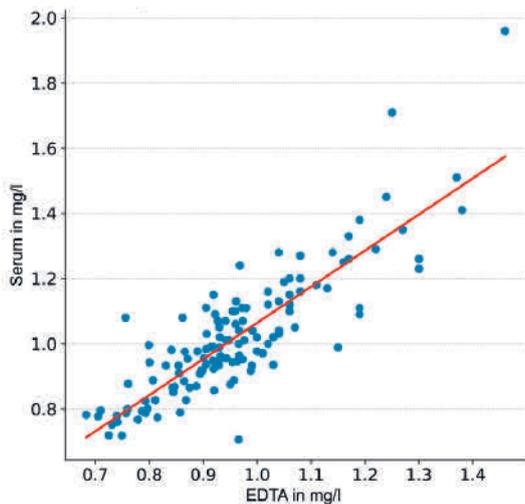
Parameter Cu	Kot (mg/kg)	Serum (mg/l)	Plasma (mg/l)	EDTA (mg/l)
Min. Wert	1,70	0,71	0,70	0,68
Max. Wert	98,30	1,96	1,94	1,46
Mittelwert	22,10	1,02	1,02	0,96
Median	18,20	0,99	1,00	0,94
Standardabweichung	14,30	0,19	0,20	0,15
Variationskoeffizient (%)	64,80	18,85	19,91	15,40

ist die zuverlässigste analytische Methode zur Messung von Kupfer eine Probenentnahme aus der Leber<sup>[20]</sup>. Dies konnte bereits in einem Fütterungsexperiment von Cymbaluk et al. 1986 gezeigt werden. Dabei wurde die Kupferkonzentration im Blut sowie in der Leber nach einer diätetischen Kupfergabe gemessen. Es konnte festgestellt werden, dass die Sensitivität der Kupferkonzentration in der Leberbiopsie höher als die in Blutproben und damit aussagekräftiger ist<sup>[21]</sup>. Da das Verfahren der Leberbiopsie als Standardverfahren einerseits nicht praktikabel ist und andererseits ein zu hohes Komplikationsrisiko darstellt, soll auf andere Messmethoden zurückgegriffen werden.

Wie oben bereits beschrieben ist die Kotprobenuntersuchung für die Konzentration von Mengen- und Spurenelementen in der Rinderpraxis bereits etabliert. So liegen in der Studie von Herold et al. die Referenzwerte für die Kotkupferkonzentration bei Rindern zwischen 25 und 125 mg/kg<sup>[11]</sup>. Sowohl



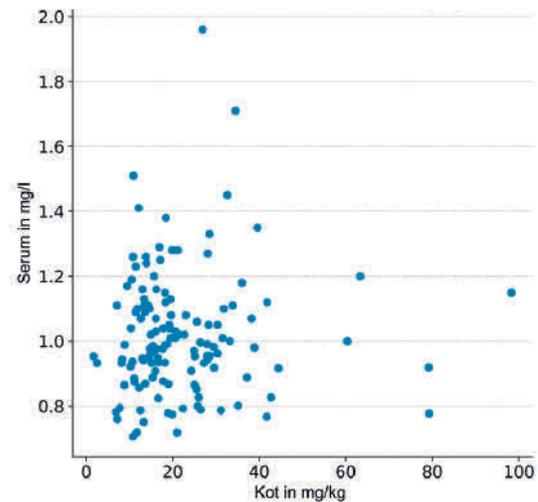
**Abb. 3** Korrelation der Kupferkonzentration (mg/l) von Serum- und Plasmaprobe, Streudiagramm mit Regressionsgerade. | Correlation of the copper concentration of serum and plasma blood samples, declaration in mg/l, scatterplot with linear regression line.



**Abb. 4** Korrelation der Kupferkonzentration (mg/l) von Serum- und EDTA-Bloodproben, Streudiagramm mit Regressionsgerade. | Correlation of the copper concentration (mg/l) of serum and EDTA blood samples, declaration, scatterplot with linear regression line.

die Spannweite dieser Werte als auch die rechtsschiefe Verteilung der Daten lässt sich durch die Referenzpopulation erklären<sup>[22]</sup>. Die rechtsschiefe Verteilung der Werte lässt auf eine große Schwankung bezüglich der Kupferkonzentration in Kotproben schließen. Dies konnte ebenfalls in der vorliegenden Studie beobachtet werden. Aufgrund der Etablierung der Kotprobenuntersuchung für die Messung der Mengen- und Spurenelementkonzentration bei Rindern kann die Hypothese verfolgt werden, dass dies auch für andere Tierarten gilt.

In der durchgeführten Studie konnte keine Korrelation zwischen den Werten der Blut- sowie den Kotproben festgestellt werden. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass Kotproben sensitiver gegenüber marginalen Schwankungen in der Kupferversorgung sind. So kann beispielsweise bei Pferden mit einer Kupferkonzentration, welche bei der serologischen Auswertung im Normbereich liegt, ein niedriger Kupfergehalt in Kotproben aufgezeigt werden, der schon erste Anzeichen einer beginnenden Unterversorgung darstellen könnte. Dies konnte ebenfalls in weiteren aktuellen Studien bei Rindern gezeigt werden. So zeigte Weber et al. in einem Rinderbetrieb, dass eine chronische Kupferübersorgung zuverlässig über Kot- und TMR-Analyse bestimmt werden kann, jedoch nicht über Blut-, Harn- oder Haarproben<sup>[23]</sup>. Weiterhin ist zu hinterfragen, inwieweit Alter, Rasse und Geschlecht Einfluss auf die Kupferaufnahme und -versorgung



**Abb. 5** Korrelation der Kupferkonzentration von Serum- (mg/l) und Kotproben (mg/kg), Streudiagramm mit Regressionsgerade. | Correlation of the copper concentration of serum (mg/l) and faecal samples (mg/kg), declaration, scatterplot with linear regression line.

**Tab. 2** Werte für die Referenzwertbestimmung von Kupferkonzentrationen in Kotproben von klinisch gesunden Pferden (n = 130). | Values for the reference value determination of copper concentrations in fecal samples from clinically healthy horses (n = 130).

Parameter Cu	Kot (mg/kg)
p-Wert	<<0,05
2,5% Quantil	7,1
Konfidenzintervall 2,5% Quantil	[2,12–46,25]
97,5% Quantil	62,6
Konfidenzintervall 97,5% Quantil	[11,79–103,4]

haben. So sinkt beispielsweise der Resorptionskoeffizient für Calcium im Alter bei Tieren. Dies entspricht der Resorption von oral aufgenommenem Calcium<sup>[24]</sup>. Eventuell gilt dies auch für andere Mengen- und Spurenelemente. In einer Studie von Mainzer konnten Unterschiede in der Kupferkonzentration aus Leberbiopsaten von Pferden unterschiedlichen Geschlechts und Alter ermittelt werden<sup>[20]</sup>.

Eine weitere Spekulation die sich aus der vorliegenden Studie ergibt, aber hier nicht weiter berücksichtigt wurde, ist die Einflussnahme der geographischen Lage auf die Kupferversorgung bei Pferden. Gründe für die schwankenden Spurenelementkonzentrationen sind vor allem pH-Wert und Bodenart sowie Düngung, Klima, Emissionen und der pflanzliche Vegetationsstand<sup>[4]</sup>. Des Weiteren hat auch die Saisonalität und Fütterung Einfluss auf den Kupfergehalt im Organismus<sup>[11]</sup>. So weist beispielsweise Weidegras Kupfergehalte von 2 bis 15 mg/kg TS und Heu Gehalte von 6 mg/kg TS auf<sup>[25]</sup>, was darauf schließen lässt, dass die Fütterung sowie die Haltung, als auch individuelle geographische Gegebenheiten einen Einfluss auf die Kupferaufnahme bei Pferden haben. Diese Studie soll die obligate Vorarbeit für weitere Studien und die Ermittlung und Etablierung von Referenzwerten für die Mengen- und Spurenelementkonzentration in Kotproben bei Pferden anhand von Fütterungsversuchen bilden.

### Fazit für die Praxis

Schlussendlich ist die Aussagekraft der Blutanalyse bezüglich der Mengen- und Spurenelementkonzentration bei Pferden begrenzt. Die Kotprobenuntersuchung ist besser für die Ermittlung von marginalen Veränderungen der Kupferkonzentration geeignet und stellt ein minimal invasiveres Verfahren dar.

### Danksagung

Die Autoren danken für die Unterstützung durch den Publikationsfonds der Freien Universität Berlin.

### Ethische Anerkennung

Die Autoren versichern, während des Entstehens der vorliegenden Arbeit die allgemeingültigen Regeln guter wissenschaftlicher Praxis befolgt zu haben.

### Erklärung zum Interessenskonflikt

Die Autoren versichern, dass keine geschützten, beruflichen oder anderweitigen persönlichen Interessen an einem Produkt oder einer Firma bestehen, welche die in dieser Veröffentlichung genannten Inhalte oder Meinungen beeinflussen können.

### Finanzierung

Diese Arbeit wurde unterstützt durch den Publikationsfonds der Freien Universität Berlin. Die Autoren versichern, dass sie Daten hierzu auf begründete Nachfrage hin bereitstellen.

### Autorenbeitrag

Diese Arbeit unterliegt einer kritischen Revision aller Autoren. Des Weiteren stimmen die Autoren der Veröffentlichung der vorliegenden Version zu. Manuskriptentwurf C. Lüpke mann, Datenauswertung und -verarbeitung A. Müller, Konzept der Arbeit H. Gehlen, Statistische Methoden und Interpretation L. Berwanger, Datenerhebung L. Staufenbiel.

### Literatur

- 1 Vervuert I (2019) Wie gut reflektieren die Kupfer-, Zink- und Selengehalte im Blut die entsprechende Versorgung beim Pferd?, 115–116, LBH: 8. Leipziger Tierärztekongress – Tagungsband 2, DOI 10.1055/a-1406-6753
- 2 Jeffcott LB (1996) Osteochondrosis – An international problem for the horse industry, J Equine Vet Sci 16, DOI 10.1016/S0737-0806(96)80063-3
- 3 Puls R (1994) Mineral levels in animal health. 2<sup>nd</sup> Ed. Clearbrook, Sherpa International, Clearbrook 82, OCLC 450544723
- 4 Troschke S (2009) Die Versorgung des Pferdes mit Kupfer und Selen. Institut für Tierernährung Universitätsklinik für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin, Veterinärmedizinische Universität Wien, Bachelorarbeit, DOI AC07667463
- 5 Kaim W, Schwederski B (2005) Bioanorganische Chemie: Zur Funktion chemischer Elemente in Lebensprozessen. 4. Auflage, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden, DOI 10.1007/978-3-663-01605-2
- 6 Meyer, H (1994) Kupferstoffwechsel und Kupferbedarf beim Pferd. Übersichten. Tierernährung 22, 363–394, DLG Verlag, Frankfurt am Main, PPN: 360950884
- 7 Jeroch H, Drochner W, Simon O (2008) Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, DOI 10.36198/9783838587639
- 8 Eamens GJ, Macadam JF, Laing EA (1984) Skeletal abnormalities in young horses associated with zinc toxicity and hypocuprosis. Aust Vet J 61, 205–207, DOI 10.1111/j.1751-0813.1984.tb05989.x
- 9 Vervuert I (2021) Wie gut reflektieren Spurenelemente im Serum die entsprechende Versorgung beim Pferd? Pferdespiegel 24, 113–118, DOI 10.1055/a-1406-6753
- 10 Herold A, Pieper L, Müller A-E, Staufenbiel R (2018) Konzentrationen an Mengenelementen beim Rind in verschiedenen Probemedien unter besonderer Berücksichtigung von Kotproben. Tierärztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 46, 221–228, DOI 10.15653/TPG-180239
- 11 Herold A (2017) Untersuchungen zu den Konzentrationen an Mengen- und Spurenelementen beim Rind in verschiedenen Probemedien unter besonderer Berücksichtigung von Kotproben. Diss Med Vet FU Berlin, DOI 10.17169/refubium-16348
- 12 Cymbaluk NF, Schryver HF, Hintz HF (1981) Copper metabolism and requirement in mature ponies. Nutrition 111, 87–95, DOI 10.1093/jn/111.1.87
- 13 Neustädter L-T (2015) Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer unterschiedlichen Mengenelementversorgung auf den Mineralstoffhaushalt von Pferden. Diss Med Vet Hannover, PPN 845038397
- 14 Laven R, Livesey C (2006) An evaluation of the effect of clotting and processing of blood samples on the recovery of copper from bovine blood. Vet J 171, 295–300, DOI 10.1016/j.tvjl.2004.11.008
- 15 Hanauška T (2019) Untersuchung der Mineralstoffversorgung von Pferden durch die Analyse von Blutserum in einem Pensionsstall in Baden-Württemberg. Bachelorarbeit Bernburg, PPN 845038397

- 16 Staufenbiel L, Müller A-E, Gehlen H (2021) Methodische Untersuchung zu Mengen- und Spurenelementkonzentrationen in Pferdekotproben unter besonderer Berücksichtigung des Probenentnahmestortes. *Tierärztl Praxis G* 49,178–188, DOI 10.1055/a-1482-7379
- 17 Glitz F, Deegen E (2010) Allgemeine Untersuchung. In: Wissdorf H, Huskamp B, Gerhards H, Deegen E, Hrsg. *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*, 3. Aufl. Schaper Hannover, 856–859, ISBN 978-3-7944-0216-8
- 18 Staufenbiel L, Müller A-E, Gehlen H (2022) Methodische Untersuchungen zur Variation der Mengen- und Spurenelementkonzentrationen in Pferdekotproben im Tagesverlauf und über einen 15-Tages-Zeitraum. *Berlin Münchn Tierärztl Wschr* 135, DOI 10.2376/1439-0299-2022-5
- 19 Humann-Ziehank E, Ganter M (2012) Pre-analytical factors affecting the results of laboratory blood analyses in farm animal veterinary diagnostics. *Animals* 6, 1115–1123, DOI 10.1017/S1751731111002679
- 20 Mainzer B (2009) Strontium-, Barium-, Cadmium-, Kupfer-, Zink-, Mangan-, Chrom- und Antimonkonzentrationen in Leber, Nierenrinde und Nierenmark der Spezies Katze, Hund und Pferd in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. *Diss Med Vet Berlin*, DOI 10.17169/refubium-15216
- 21 Cymbaluk NF, Christensen DA (1986) Copper, Zinc and Manganese Concentrations in Equine Liver, Kidney and Plasma. *Can Vet J* 27, 206–210, PMID 17422656
- 22 Lucke S (2013) Methoden zur Bestimmung von medizinischen Referenzbereichen für labordiagnostische Parameter. *Diss Univ Greifswald*, URN urn:nbn:de:gbv:9-001987-4
- 23 Weber J, Roder A, Müller A-E, Pieper R, Staufenbiel R (2021) Chronische Kupferübersorgung als mögliches Bestandsproblem in einer deutschen Milchviehherde. *Tierärztl Prax G* 49, 203–209, DOI 10.1055/a-1418-3562.
- 24 Bissinger K (2000) Quantitativer Nachweis wichtiger Mengen- und Spurenelemente in Serum, Leber, Knochen und Vollblut sowie einige andere Gewebeparameter und Daten von gesunden, südafrikanischen Farmstraußen (*Struthio camelus* var. *domesticus*) im Schlachttalter. *Diss Med Vet Gießen*, DOI org/10.22029/jlupub-10604
- 25 Meyer H, Coenen M (2002) *Pferdefütterung*. 4. Auflage, Blackwell Berlin, ISBN 978-3-8304-4021-5