

Selen-, Kupfer- und Zink-Gehalte in braunen, schwarzen sowie weißen Deck-, Mähnen- und Schweifhaaren bei Pferden zweier Standorte

Amelie Ratjen¹, Manfred Anke² und Manfred Füll³

¹ Tierarztpraxis Lottbek

² ehem. Institut für Ernährung und Umwelt der Friedrich-Schiller-Universität Jena

³ Medizinische Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät Leipzig

Zusammenfassung: Die Haaranalyse ist eine Methode auch zur Kontrolle der Versorgungslage mit Spurenelementen. Bei Pferden gibt es dazu nur wenige systematische Untersuchungen. Ziel der Studie war es, bei Deutschen Reitpferden mögliche Einflüsse durch Haarlokalisierung, Pigmentierung und Geschlecht sowie durch unterschiedliche Lebensräume für Se, Cu und Zn in Haaren zu analysieren und die Gesamtheit der Messdaten innerhalb der 80% Konfidenzintervalle für Mähnen-, Deck- und Schweifhaare zusammenzufassen. Untersucht wurden im September schwarze, braune und weiße Mähnen-, Deck- sowie Schweifhaare von 73 gesunden Deutschen Reitpferden, davon 33 Pferde (13 Wallache, 20 Stuten) in Bayern und 40 (22 Walache, 18 Stuten) in Niedersachsen. Sie wurden mit Hafer und Heu aus den jeweiligen Regionen ohne zusätzliche Mineralstoffmischungen gefüttert und hatten täglich Weidegang. Die Messungen von 82Se, 63Cu und 68Zn in den Haaren erfolgten mittels des ICP-MS Perkin Elmer ELAN 6000. Die Mähnen- und Schweifhaare enthielten signifikant mehr Se und Cu als Deckhaare ($p < 0,05$). Das Mähnenhaar speicherte mehr Zn als die Deck- und Schweifhaare ($p < 0,05$). Se war am meisten in schwarzen Haaren enthalten ($p < 0,05$), auf den Zn- und Cu-Gehalt hatte die Pigmentierung keinen Einfluss. Bei Se überlappten sich die 10. bis 90. Perzentile von braunen und schwarzen Haaren und lagen zwischen 450–1700 $\mu\text{g Se/kg TS}$; bei weißen Haaren lagen sie zwischen 325–1600 $\mu\text{g/kg TS}$. Bei Cu schwankten in Mähnen- und Schweifhaaren die 10. bis 90. Perzentile für alle Pigmentierungen zwischen 4,6–7,9 mg/kg TS. Weiße Pferdehaare speicherten signifikant mehr Zn als schwarze ($p < 0,05$); die Perzentile schwankten zwischen 127–180 mg Zn/kg TS, bei braunen und schwarzen Haaren zwischen 119–178 mg Zn/kg TS. Das Geschlecht der Pferde hatte keinen gesicherten Einfluss auf die Se-, Cu- und Zn-Gehalte der Haare. Der Lebensraum in Bayern und Niedersachsen beeinflusste das Se und Cu im Haar signifikant und stützt die Hypothese, dass Pferdehaare deren Status im Mangel bzw. Überschuss anzuzeigen vermögen. Die Zn-Gehalte in den Pferdehaaren der beiden Standorte waren nahezu identisch. Diagnostisch reflektieren Haaranalysen mögliche Versorgungsstörungen von Se, Cu und Zn in längeren Zeiträumen gut; Geschlechtsunterschiede bestehen nicht. Für Se- und Cu-Analysen sind Mähnen- und Deckhaare den Schweifhaaren vorzuziehen. Bei weißen Haaren sind niedrigere Konzentrationen für Se zu beachten.

Schlüsselwörter: Spurenelemente, Versorgungsstatus, Pferdehaare, Lebensräume, Haararten, Nachweis, Fütterung

Selenium, copper and zinc contents in brown, black and white mane, coat and tail hairs in horses of two locations

The hair analysis is a method also to control the supply of trace elements. In horses, there is this little systematic investigation. The aim of the study was in German riding horses to analyze possible effects of hair localization, pigmentation and gender as well as of different habitat for Se, Cu and Zn hair, to describe reference values for mane, coat and tail hair and to formulate a diagnostic procedure. We investigated in September black, brown and white mane, coat and tail hair of 73 healthy German riding horses, including 33 horses (13 geldings, 20 mares) in Bavaria and 40 (22 geldings, 18 mares) in Lower Saxony. They were fed only with oats and hay from the respective regions without additional mineral mixtures and were daily grazing. 82Se, 63Cu and 68Zn in the hair were measured by the ICP-MS Perkin Elmer ELAN 6000. Mane and tail hair contained significantly more Se and Cu as a coat ($p < 0.05$). The mane saved more Zn than coat and tail hair ($p < 0.05$). Se was most in black hair ($p < 0.05$). The pigmentation did not affect the Zn and Cu content of horse hair. In Se, the 10th and 90th percentiles overlapped in brown and black hair, and lay between 450–1700 $\mu\text{g Se/kg DM}$; in white hair, they ranged from 325–1600 $\mu\text{g/kg DM}$. In Cu fluctuated the 10th to 90th percentile in mane and tail hair between 4.6 to 7.9 mg/kg DM for all pigmentations. White hair stored Zn significantly more than the black ($p < 0.05$); percentiles ranged from 127 to 180 mg Zn/kg DM, in brown and black between 119–178 mg Zn/kg MD. The sex of the horse did not affect significantly the Se, Cu and Zn content of the hair. The habitat in Bavaria and Lower Saxony influenced by different offer the Se and Cu state in hair significantly and supports the hypothesis that horse hair can indicate their status in the deficiency or surplus. The Zn contents in the horse hair of the two locations were almost identical. Diagnostically blood tests of Se, Cu and Zn reflect actual deficiency situations well, the hair analysis informs about possible supply disorders in longer periods. For Se and Cu analyses are mane and coat hairs preferable to the tail hair. Lower limits are noted for Se in white hair.

Keywords: trace elements, supply status, horse hair, types of hair, habitats,

Zitation: Ratjen A., Anke M., Füll M. (2017) Selen-, Kupfer- und Zink-Gehalte in braunen, schwarzen sowie weißen Deck-, Mähnen- und Schweifhaaren bei Pferden zweier Standorte. *Pferdeheilkunde* 33, 59-65; DOI 10.21836/PEM20170108

Korrespondenz: apl. Prof. Dr. habil. M. Füll, Medizinische Tierklinik Leipzig, An den Tierkliniken 11, 04103 Leipzig; Email: mfuerll@rz.uni-leipzig.de

Einleitung

Die Haaranalyse ist eine u. a. in der Medizin, Veterinärmedizin, Biologie, Toxikologie und Forensik, Geologie und auch Paläontologie etablierte Untersuchungsmethode zur Kontrolle

der Ernährung (Anke und Risch 1979, Dunnett und Lees 2003, Shao und Zheng 2008, Madejón et al. 2012, Emara et al. 2013, Coenen 2016). Für Rinder wurde sie methodisch akribisch bearbeitet. Die Indikatorfunktion der Haare für Unter- und Überversorgung einschließlich Intoxikationen ist

für die meisten Spurenelemente gut belegt (Se, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, J, Cd, Cr, F, Si, Pb, Hg, Ni u. a.) (Anke und Risch 1979). Die klinische Bewährung dieser Methode wurde u. a. von Füll et al. (2004) sowie Habler (2006) und Schöder (2009) in jüngerer Zeit bei Rindern belegt.

Auch für Pferde gibt es methodische Untersuchungen zur Haaranalyse (Cape und Hintz 1982, Schmidt 1984, Anke et al. 1989, Košla et al. 1989, Asano et al. 2002, 2005a, b, c, 2006, Wichert et al. 2002). Cape und Hintz (1982) untersuchten 4 Monate lang bei 22 Ponys und Jungpferden Fe, Pi, Cu ($8,5 \pm 4,4$ mg/kg Trockensubstanz [TS]), Mo und Ca in weißem und pigmentiertem Deckhaar (DH). Košla et al. (1985, 1989) bearbeiteten bei Pferden methodisch Zn und Pb sowie Anke et al. (1989) Cd. Für Zn wurden bei 165 Pferden keine Rasse- und Geschlechtseinflüsse, aber ein höherer Zn-Gehalt mit zunehmendem Alter und Pigmentierung ermittelt. Im Mähnenhaar (MH) betrug der Zn-Gehalt 131 ± 14 mg/kg TS, - im Deckhaar (DH) bei Kaltblutpferden 140 ± 21 mg/kg TS und bei deutschen Reitpferden 146 ± 25 mg/kg TS. Das sich periodisch wechselnde DH (131 ± 30 mg/kg TS) enthielt weniger Zn als das sich kontinuierlich als Telogenhaar bildende MH (151 ± 19 mg/kg TS).

Asano et al. (2002) untersuchten in Spanien bei 24 gesunden, 2–4 Jahre alten Rennpferden Al, Br, Ca, Cl, Co, Cu, Cr, Fe, Ga, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Se, Si, Sr, Ti, V, Y und Zn in hautnahem MH. Sie ermittelten Se-, Cu- und Zn-Gehalte (Tab. 1) unabhängig von Alter, Rasse und Geschlecht. In einer erweiterten Studie analysierten Asano et al. (2005a) bei 47, 4–23 Jahre alten Reit- und Rennpferden verschiedener Rassen MH für Se, Cu und Zn bei gesunden Pferden (Tab. 1). Alters-, Rasse- und Geschlechtsunterschiede bestanden nicht. Bei weiteren 56 Pferden prüften Asano et al. (2005c) den Einfluss der Pigmentierungen weiß, braun sowie schwarz. Der Spurenelementgehalt in weißem (w) Haar unterschied sich z. T. von dem in braunem (b) und schwarzem (s) MH, z. B. bei Cu (w: $8,2 \pm 5,1$; b: $6,4 \pm 0,8$; s: $6,3 \pm 1,4$ mg/kg TS) und Zn (w: 269 ± 46 ; b: $207 \pm 5,56$; s: 190 ± 38 mg/kg TS), aber nicht im Schweifhaar (SH) (w: $0,58 \pm 0,35$; b: $0,54 \pm 0,38$; s: $0,66 \pm 0,30$ mg/kg TS).

Wichert et al. (2002) analysierten bei 106 1–20 Jahre alten, gesunden Pferden verschiedener Rassen in 13 bayrischen

Betrieben im Sommer die Zn-, Cu- und Se-Versorgung sowie deren Status in Blut, Haaren (Tab. 1) und Hufhorn. Gleichartige Untersuchungen stellten Coenen und Spitzlei (1996) in Niedersachsen an Tab. 1).

Literaturberichte über Haaranalysen gibt es weiterhin zur Prüfung der Versorgungslage (Wichert et al. 2002, Emara et al. 2013) und von Standorteinflüssen (Košla et al. 1985, 1989, Anke et al. 1989, Shao und Zheng 2008), zu Selenintoxikationen (Witte et al. 1992, Coenen et al. 1998, Davis et al. 2014), zu Arzneimittelanwendungen (Cape und Hintz 1982, Dunnett und Lees 2003), zur Bewertung organischer und anorganischer Supplemente (Kania et al. 2009), zur Verträglichkeit kontaminierter Weiden (Madejón et al. 2009, 2012) sowie zum Status bei Krankheiten, wie dem AV-Block (Asano et al. 2006, Suzuki et al. 2007, Murase et al. 2012). So konnte man z. B. die halbjährig gesteigerte Se-Aufnahme auf Se-belasteten Weiden über 3 Jahre in MH zurückverfolgen (Davis et al. 2014).

Se, Cu und Zn sind für Pferde essentielle Spurenelemente. Die Versorgungsempfehlungen für arbeitende Pferde betragen für Se $0,015$ mg/kg LM, für Cu $1,0$ mg/kg LM und für Zn $4,5$ mg/kg LM (GfE 2014). Se ist in Deutschland regional unterschiedlich verteilt. Hartfiel und Bahners (1988) fanden im Gras mit $\bar{x} = 40$ bis $0,42$ μ g/kg TS in Niedersachsen, Reinland-Pfalz, Bayern und Schleswig-Holstein die niedrigsten und mit $\bar{x} = 49$ μ g/kg TS in Baden-Württemberg die höchsten Se-Konzentrationen. Etwas abweichend sind die Befunde von Meyer et al. (1995) (Se in Gras $34,1 \pm 5,9$ μ g/kg TS, Se in Hafer $12,6 \pm 1,7$ μ g/kg TS) für Norddeutschland sowie von Wichert et al. (2002) (Se in Gras 29 ± 43 μ g Se/kg TS, Se in Hafer 45 ± 61 μ g/kg TS) für Oberbayern. Nach Müller et al. (2012) bestehen ein West-Ost- sowie ein Nord-Süd-Gefälle in der Se-Versorgung von Pferden. Zu den Se-Mangelsymptomen zählen Nachgeburtshaltungen, Fertilitätsstörungen, Immunschwäche, Muskeldystrophie, exsudative Diathese, Kardiomyopathien und zentralnervöse Störungen. Se hat eine geringe therapeutische Breite, so dass Intoxikationen leicht möglich sind und reduzierte Futtermittelaufnahme, Haarverlust (MH, SH), Entzündungen von Hufen, Arthritiden, Lähmungen, Muskelschwäche, Bewegungsstörungen und Photophobie verursachen (Anke et al. 1989 und 2002, Coenen 2016).

Tab. 1 Die Selen-, Kupfer- und Zink-Gehalte in Haaren gesunder Pferde verschiedener Rassen nach Literaturberichten (Deckhaar = DH, Mähnenhaar = MH) | The selenium, copper and zinc contents in hair of healthy horses of different breeds according to literature reports (coat = DH, mane = MH).

		n	a	Se (μ g/kg TS)	Cu (mg/kg TS)	Zn (mg/kg TS)
Cape und Hintz 1982	DH	22	0,3-20	-	$8,5 \pm 4,4$	-
Schmidt 1984	?	6	adult	-	$12,0 \pm 4,2$	210 ± 30
Košla 1988	MH	165	1-20	-	$6,7 \pm 1,0$	131 ± 14
Coenen und Spitzlei 1996	WB	37		307 ± 68	$6,8 \pm 0,8$	151 ± 14
	VB	10	adult	386 ± 58	$6,6 \pm 0,9$	138 ± 8
	KB	12		217 ± 77	$11,6 \pm 6,2$	156 ± 18
Asano et al. 2002	MH	24	2-4	1290 ± 560	$4,8 \pm 1,4$	86 ± 24
Asano et al. 2005a	MH	47	4-23	650 ± 350	$6,7 \pm 2,0$	178 ± 36
Asano et al. 2005c	MH	56	4-23	580 ± 380	$6,6 \pm 2,2$	201 ± 48
Wichert et al. 2002	DH	106	1-adult	280 ± 140	$7,3 \pm 1,7$	126 ± 38

Der Cu-Gehalt im Pflanzenaufwuchs ist standortabhängig: Moor- und Torfböden sind Cu-arm, Kreide-, Sandstein- und Schieferböden sind Cu-reich (Anke und Risch 1979). Spitzlei (1996) fand in Niedersachsen in Gras $9,0 \pm 2,8$ und in Hafer $4,6 \pm 1,1$ mg Cu/kg TS, - Wichert et al. (2002) auf oberbayerischen Standorten in Gras $9,4 \pm 2,3$ und in Hafer $4,3 \pm 1,7$ mg Cu/kg TS. Pferde sind artspezifisch gegenüber Wiederkäuern weniger Cu-mangelgefährdet. Ein Cu-Mangel wird vor allem sekundär bei Mo- und Zn-Überangebot (Scarino et al. 1991, Anke et al. 2004) mit Anämie, verzögertem Wachstum, Knochenstoffwechselstörungen und Arthritiden, enzootischer Ataxie, Haarverfärbungen, Fertilitätsstörungen, Immunschwäche, Gefäßläsionen und Myokardinfarkten beobachtet (Anke et al. 2004).

Über ungenügende Zn-Versorgung bei Pferden durch den natürlichen Aufwuchs in Ost-Deutschland berichteten Košla et al. (1985), Spitzlei (1996) in Niedersachsen sowie in Bayern Wichert et al. (2002). Spitzlei (1996) beschrieb für Gras 46 ± 20 und für Hafer $36,7 \pm 6,9$ mg Zn/kg TS; Wichert et al. (2002) fanden auf oberbayerischen Standorten in Gras $37,9 \pm 8,5$ und in Hafer $25,4 \pm 8,7$ µg Zn/kg TS. Spitzlei (1996) errechnete lineare Beziehungen zwischen Se in MH und Hufhorn bzw. MH und Plasma; minderwertiges Hufhorn enthielt weniger Zn; es korrelierte mit weniger Zn in MH und Plasma sowie niedriger AP. Symptome von Zinkmangel sind Immunschwäche, verzögerte Wundheilung, geringere Spermaproduktion, geringes Knochenlängenwachstum, Haarausfall und parakeratotische Hautschäden (Peganova und Eder 2004). Pferde sind empfindlich gegenüber Zn-Übersorgung, die zu Lahmheit, Osteochondrose, Hyperplasie der Milz und der Lymphknoten führen. Nach Untersuchungen von Anke und Risch (1979) wurde bei chronisch Zn-mangelernährten Ziegen nur im Deckhaar der Gehalt signifikant auf 79% reduziert, in Blutplasma (91%) und Leber (82%) dagegen nicht gesichert, d.h., nur die Haaranalyse lässt gesicherte Ergebnisse über die Zn-Versorgung erwarten.

Die zitierte Literatur zeigt, dass es für Pferde nur wenige systematische Arbeiten über die Spurenelementanalyse in Haaren gibt (Tab. 1), obwohl sie eine Reihe Vorteile besitzt (nicht invasiv, kein Infektionsrisiko, keine homöostatische Kontrolle bei der Speicherung sowie einfache und lange Lagerfähigkeit).

Ziel vorliegender Studie war es deshalb, bei Deutschen Reitpferden die endogenen Einflussfaktoren Haarlokalisierung, Pigmentierung und Geschlecht sowie den exogenen Faktor „unterschiedlicher Lebensraum“ für Se, Cu und Zn in Pferdehaaren zu prüfen und die 80% Konfidenzgrenzen für Mähnen-, Deck- und Schweifhaare zu beschreiben.

Tiere, Material und Methoden

Rasse, Standort, Geschlecht und Farbe der Pferde

Untersucht wurden Haarproben von 73 Deutschen Reitpferden, davon 33 Pferde (13 Wallache, 20 Stuten) im oberbayerischen Achselschwang (A) und 40 (22 Walache, 18 Stuten) im niedersächsischen Wunstorf (W). Die Pferde hatten folgende Farben: 45 Braune (in A 21, in W 24), 21 Rappen (in A 9, in W 12), 7 Schimmel (in A 3, in W 4). Die Pferde wurden in den letzten 3 Monaten regelmäßig bewegt, waren in gutem

Futter- und Trainingszustand, nicht tierärztlich behandelt und bei der klinischen Untersuchung gesund. Sie wurden ausschließlich mit Hafer und Heu aus den jeweiligen Regionen ohne zusätzliche Mineralstoffmischungen gefüttert und hatten täglich Weidegang.

Se-, Cu- und Zn-Gehalte in Gras und Hafer von zeit- und ortsnahe entnommenen Proben sind für W bei Heikens (1992) und Spitzlei (1996) sowie für A bei Frank (2001) ausgewiesen.

Entnahme der Haarproben

Pro Proband wurden jeweils etwa 200 mg MH, SH und DH in der Wachstumsphase im September möglichst hautnah und immer mit der gleichen Haarlänge entnommen: Mähnenkamm im Abstand von 10 cm direkt am Haaransatz und SH-Proben beidseits der Schweifrübe am Haaransatz. Für DH-Proben wurde beidseits an den Dorsalfächern der Unterarme ein ca. 10 × 20 cm großes Areal kurzgeschoren.

Waschen, Aufschluss und Verdünnung der Haarproben

Es wurden je 200 mg Haare abgewogen und in Teflonbechern zweimal jeweils 10 Minuten lang im Ultraschallbad mit Aceton (p.A. Qualität) gewaschen. Anschließend erfolgte das jeweils 3-malige Spülen der Proben mit Aqua dest. ($\alpha = 0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$) und Trocknen über Nacht bei 100 °C im Trockenschrank. Am nächsten Tag wurden die Haarproben 30 Minuten auf Raumtemperatur abgekühlt und in PTFE-Tiegeln eingewogen (je $100 \pm 0,2$ mg). Die einzuwiegenden Referenzhaare wurden 5 min. durch Schütteln homogenisiert. Es folgte der Aufschluss der Probeniegel, 2er Leertiegel für Blindwerte und 2er Referenzmaterialien, ein zertifiziertes und ein laboreigenes. Die eingewogenen Haarproben wurden mit 10 µl Internen Standards (Yttrium)[®] 200 mg/l, mit 2 ml 65% Salpetersäure (suprapur) versetzt, in einer Parr-Bombe verschlossen und nach 15 Minuten Aufheizzeit 2 Stunden bei 190 °C aufgeschlossen. Die über Nacht unter dem Abzug abgekühlten Proben wurden in vorbereitete Probenröhrchen pipettiert und anschließend jede Probe in zwei Verdünnungen gemessen: A) Verdünnung 1:100 → 9,9 ml Aqua dest. + 100 µl Aufschlusslösung; B) Verdünnung 1:10 → 9,9 ml Aqua dest. + 1,1 ml Aufschlusslösung.

Probenanalyse

Die Messungen erfolgten mittels des ICP-MS Perkin Elmer ELAN 6000, Arcade, NY, 14009, United States. Nach viermaligem Waschen und Trocknen wurden 100 mg eingewogen und mit Salpetersäure im Druckverfahren aufgeschlossen. Zu jedem Probensatz wurde eine Blindprobe mit 12 ml Seradest und 1,5 ml Standard-Yttrium-Lösung angesetzt und mit gemessen. Die Kalibrierung des ICP-MS erfolgte mit Standardlösungen der zu messenden Elemente 82Se, 63Cu und 68Zn über je zwei Punkte. Zur Qualitätskontrolle wurden ein internes und ein zertifiziertes Haar-Referenzmaterial mitgeführt. Nach drei Haarproben wurde jeweils neu kalibriert, um eine Abdrift zu vermeiden.

Statistische Bearbeitung

Die statistischen Berechnungen wurden mittels SPSS 11.0.1 sowie alternativ mittels SAS Version 8 durchgeführt: Bei Häufigkeitsdaten waren dies absolute und relative Häufigkeiten (% Werte), bei metrischen Daten waren es das arithmetische

Mittel (\bar{x}), die Standardabweichung (s), das Minimum (Min.) und Maximum (Max.), die Fallzahl (n), sowie die Perzentile (10., Median = \bar{x} , 90.). Die Prüfung auf signifikante Unterschiede erfolgte mit dem Mann-Whitney-U-Test als parameterfreier Test für den Vergleich zweier Gruppen und mit dem Paarvergleich nach Wilcoxon-Mann-Whitney.

Tab. 2 Die Selen-, Kupfer- und Zinkgehalte in Mähnen- (MH), Deck- (DH) und Schweifhaaren (SH) gesunder Deutscher Reitpferde ($\bar{x} \pm s$; Minimal- und Maximalwerte; \bar{x} sowie 10. und 90. Perzentile) / *The selenium, copper and zinc contents in mane (MH), coat (DH) and tail hairs (SH) of healthy German riding horses ($\pm s$; minimum and maximum values; \bar{x} and 10th and 90th percentiles).*

	Haararten	n	\bar{x}	s	Min.	Max.	\bar{x}	10. Perz.	90. Perz.
Se ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS)	MH	73	1021	56	340	2270	850 ^a	540	1698
	DH	72	824	65	280	3550	735 ^b	370	1446
	SH	72	1033	57	390	2220	940 ^c	468	1678
Cu (mg/kg TS)	MH	73	6,6	0,15	4,6	13,0	6,4 ^a	5,4 ^a	7,9
	DH	72	5,3	0,08	4,4	7,8	5,2 ^b	4,7 ^b	6,2
	SH	72	5,6	0,07	4,2	7,1	5,5 ^b	4,8 ^b	6,2
Zn (mg/kg TS)	MH	73	155	2,3	125	244	153	132 ^a	175
	DH	72	136	1,4	115	179	135	124 ^b	151
	SH	72	142	2,0	113	193	137	122 ^b	166

Tab. 3 Die Selen-, Kupfer- und Zinkgehalte in Mähnen- (MH), Deck- (DH) und Schweifhaaren (SH) gesunder Deutscher Reitpferde unterschiedlicher Pigmentierung | *The selenium, copper and zinc contents in mane (M_{SH}), coat (DH) and tail hairs (SH) of healthy German riding horses of different pigmentation.*

		n	MW	SE	min.	max.	M	10. Perz.	90. Perz.		
Se ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS)	MH	b*	20	912	84	400	1640	795 ^a	537	1526	
		s	48	1096	101	440	2060	915 ^b	550	1620	
		w	6	928	225	360	1770	790 ^a	400	1595	
	DH	b	20	813	67	320	1490	680 ^a	359	1500	
		s	48	928	82	280	1560	900 ^b	440	1460	
		w	6	552	92	280	860	525 ^c	325	805	
	SH	b	20	829	94	390	1680	705 ^a	400	1474	
		s	48	1158	80	410	2070	1050 ^b	780	1580	
		w	6	796	101	430	1410	610 ^c	496	1290	
	Cu (mg/kg TS)	MH	b	20	6,7	0,3	5,3	12,5	6,4	5,6	7,7
			s	48	6,6	0,3	4,8	10,8	6,5	5,1	7,9
			w	6	5,9	0,2	4,9	6,5	6,1	5,3	6,4
DH		b	20	5,5	0,1	4,5	5,9	5,3	4,6	5,5	
		s	48	5,1	0,1	4,4	6,2	5,0	4,6	5,7	
		w	6	5,3	0,3	4,9	6,7	5,0	4,9	5,9	
SH		b	20	5,6	0,1	4,2	6,5	5,4	5,1	6,2	
		s	48	5,5	0,1	4,2	6,1	5,5	4,6	6,1	
		w	6	6,0	0,2	5,2	6,6	6,0	5,5	6,6	
Zn (mg/kg TS)		MH	b	20	163	5	138	244	160 ^a	142	178
			s	48	151	4	125	197	151 ^b	132	176
			w	6	153	7	131	175	155 ^b	133	171
	DH	b	20	136	2	116	153	136	124	145	
		s	48	135	2	117	166	133	122	157	
		w	6	143	6	126	161	146	127	158	
	SH	b	20	149	3	129	178	145 ^a	135	164	
		s	48	135	4	113	177	134 ^a	119	161	
		w	6	162	8	135	192	166 ^b	136	180	

* b = braun; s = schwarz; w = weiß; a:b:c = p = < 0,05

Ergebnisse

Der Se-Gehalt des MH, DH und SH ohne Berücksichtigung der Pigmentierung unterschied sich gesichert (Tab. 2), MH und SH speicherten als kontinuierlich wachsendes Telogenhaar etwa 20% mehr Se als das sich periodisch wechselnde DH ($p < 0,05$). Je nach Haarlokalisierung schwankten die 10. bis 90. Perzentile als untere und obere Grenzen von 370 bis 1446 (DH) über 468 bis 1678 (SH) bis 540 bis 1698 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TS (MH). DH speicherte signifikant weniger Cu als MH und SH (Tab. 2). Die 10. und 90. Perzentile betragen für DH und SH 4,7 bzw. 4, 8 bis 6,2 mg Cu/kg TS und für das MH 5,4 bis 7,9 mg Cu/kg TS. Das MH der Pferde speicherte mehr Zn als das DH und SH ($p < 0,05$; Tab. 2). DH und SH unterschieden sich unwesentlich. Die 10. und 90. Perzentile betragen für das MH 132 bis 175 mg Zn/kg TS und für das DH und SH 124 bzw. 122 mg bis 151 bzw. 166 mg Zn/kg TS (Tab. 2).

Pigmentierung

Se war am meisten in schwarzen Haaren enthalten ($p < 0,05$, Tab. 3). Die Perzentile von braunen und schwarzen Haaren überlappten sich weitgehend und lagen zwischen 450–1700 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TS; bei weißen Haaren lagen sie zwischen 325–1600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TS. Der Cu-Gehalt wurde durch die Haarpigmentierung nicht gesichert beeinflusst, jedoch durch die Haarlokalisierung (Tab. 3). Die 10. bis 90. Perzentile für alle Pigmentierungsarten schwankten in MH und SH zwischen 5,1–7,9 (MH), 4,6–6,6 (SH) und 4,6–5,9 mg/kg TS in DH. Das weiße Pferdehaar speicherte im Mittel 12% mehr Zn als das schwarze ($p < 0,05$) und insignifikant 3% mehr als das braune Haar. Bei weißem Haar schwankten die Perzentile für Zn zwischen 127–180 mg/kg TS, bei braunem und schwarzen zwischen 119–178 mg/kg TS (Tab. 3).

Geschlecht

Das Geschlecht der Pferde beeinflusste den Se-Gehalt des Haares zwar gerichtet, die ermittelten Unterschiede waren statistisch aber nicht gesichert. Alle Unterschiede im Cu-Gehalt des Haares von Stuten und Wallachen waren sehr klein ($p > 0,05$). Auch auf den Zn-Gehalt der drei Pferdehaararten hatte das Geschlecht keinen signifikanten Einfluss.

Die Trennung nach dem Geschlecht reflektiert zwar die Unterschiede zwischen den Haarlokalisierungen, es ergaben sich jedoch keine Konsequenzen für eine Differenzierung von Grenzwerten bei einer Haarart.

Lebensraum

Die Ergebnisse zu den Lebensräumen zeigten Unterschiede je nach Haarart zwischen dem niedersächsischen und dem bayerischen Standort. Die niedersächsischen Pferde hatten im Mittel 19% niedrigere Se- und 11% niedrigere Cu-Gehalte. Diese Unterschiede ließen sich für Se im SH und für Cu im MH und DH statistisch sichern ($p < 0,05$). Die Zn-Gehalte in den Pferdehaaren der beiden Standorte waren nahezu identisch.

Diskussion

Für Haaranalysen bei Pferden wurden von *Kořla* (1988) in Ostdeutschland, Polen und Ungarn sowie *Asano et al.* (2002, 2005a, 2005c) in Japan MH, von *Cape und Hinz* (1982) in Ithaka, USA, sowie *Wichert et al.* (2002) in Oberbayern DH verwendet. In der Literatur wird der Trend zu höheren Cu-Gehalten in DH erkennbar; für Se und Zn ist der Trend umgekehrt (Tab. 1). *Kořla et al.* (1985) fanden bei 35 Pferden in MH und DH keine gesicherten Zn-Unterschiede. In dieser Studie waren die Se-, Cu- und Zn-Gehalte bei gleichen regionalen Bedingungen im MH als Telogenhaar gesichert höher als im sich periodisch wechselndem DH (Tab. 2). Angaben zu Spurenelementen im SH fehlen in der Literatur. Nach den eigenen Untersuchungen reicherte SH signifikant mehr Se an; allerdings waren die Konfidenzbereiche mit 400–1700 μg Se/kg TS bei den drei Entnahmestellen weitgehend gleich. (Tab. 2, 4). Die Cu- und Zn-Gehalte waren in DH und SH ebenfalls gleich.

Natürliche Standortunterschiede ergeben sich hauptsächlich aus der geologischen Herkunft der Böden (*Anke und Risch* 1979, *Anke und Müller* 2011). In dieser Studie wurde bewusst auf Mineralstoffzulagen verzichtet, um innerhalb von drei Monaten standortbedingte Einflüsse auf die Pferdehaare zu ermöglichen. Nach Untersuchungen von *Heikens* (1992) enthalten Niedersächsisches Gras (13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TS) und Hafer

Tab. 4 Übersicht über die Perzentilbereiche 10 bis 90 für die endogenen Einflussfaktoren Haarart sowie Haarpigmentierung auf die Selen-, Kupfer- und Zink-Gehalte bei gesunden Deutschen Reitpferden / Overview of the percentile ranges from 10 to 90 for the endogenous factors hair type and hair pigmentation on the selenium, copper- and zinc contents in healthy German riding horses.

		Se ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS)		Cu (mg/kg TS)		Zn (mg/kg TS)	
		alle	pigmentiert	alle	pigmentiert	alle	pigmentiert
Mähnenhaar	braun		450-1700				119-178
	schwarz	540-1698		5,4-7,9	5,1-7,9	132-175	
	weiß		325-1600				127-180
Deckhaar	braun		450-1700				119-178
	schwarz	370-1446		4,7-6,2	4,6-5,9	124-151	
	weiß		325-1600				127-180
Schweifhaar	braun		450-1700				119-178
	schwarz	468-1678		4,8-6,2	4,6-6,6	122-166	
	weiß		325-1600				127-180
Konfidenzbereiche		400-1700 (SH w 300-1600)		5-8 (DH -6, SH -7)		125-175	

(34 µg/kg TS) im Mittel weniger Se als Oberbayrisches (Gras: 29 µg/kg TS, Hafer: 45 µg/kg TS; Frank 2001), jedoch werden betriebsweise z.T. erhebliche Unterschiede genannt. In den hier untersuchten Haaren wurden für Se engere Konfidenzbereiche zwischen 600–1400 µg/kg TS und im SH signifikant niedrigere Se-Werte in Niedersachsen gegenüber Oberbayern gemessen, d.h., die unterschiedlichen Se-Gehalte in den Futtermitteln wirken sich offensichtlich auf die Se-Konzentration der Haare aus (Meyer et al. 1995, Coenen und Spitzlei 1996, Wichert et al. 2002). Auf den niedersächsischen diluvialen Sand- und Moorböden wächst nach Anke und Risch (1979) eine Se-arme Vegetation, die nur 50% der Se-Menge enthält, die auf Löß wächst. Schwarzes DH von Rindern enthielt auf Löß mit reichlichem Se-Angebot \bar{x} = 820 µg Se/kg TS und das von Kühen auf Se-armen Schieferböden nur \bar{x} = 300 µg Se/kg TS (Anke und Risch 1979).

Die Cu-Konzentrationen sind in Gras (9,2 mg/kg TS) und Hafer (4,4 mg/kg TS) in beiden Regionen annähernd gleich (Spitzlei 1996, Frank 2001). In dieser Studie enthielten MH und DH aber signifikant mehr Cu in Oberbayern gegenüber Niedersachsen. Anke und Müller (2001) beschrieben für Oberbayrische Granitverwitterungsböden mehr Cu als für die pleistozänen Sand- und Geschiebelehm Böden in Niedersachsen. Auch Kośla (1988) fand vergleichbare Unterschiede durch den Einfluss des Cu-Angebotes zweier geologisch verschieden entstandener Lebensräume: In Nordostpolen ermittelte er bei Pferden \bar{x} = 5,5 mg/kg TS und in Westpolen \bar{x} = 7,2 mg/kg TS. Der Cu-Gehalt des MH von Pferden aus Deutschland, Ungarn und Polen variierte zwischen \bar{x} = 8,2, \bar{x} = 6,8 bis x = 6,0 mg/kg TS (Kośla 1988).

Der Zn-Gehalt der Haare spiegelt nach Anke und Risch (1979) den Zn-Status gesichert wider. Die von Spitzlei (1996) gemessenen Zn-Gehalte waren im Mittel in Niedersächsischem Gras (46 mg/kg TS) und Hafer (37 mg/kg TS) moderat höher als in Oberbayerischem (38 bzw. 25 mg/kg TS, Frank 2001). Zn in den Haaren war in dieser Studie an beiden Standorten annähernd gleich. Nach Anke und Risch (1979) sowie Anke und Müller (2011) wird Zn stark homöostatisch reguliert. Kośla et al. (1985) ermittelten im MH von Pferden in Ostdeutschland, Polen und Ungarn variable Zn-Gehalte zwischen \bar{x} = 131 bis \bar{x} = 151 mg/kg TS ($p > 0,05$). Wichert et al. (2002) fanden bei Analysen in Oberbayern nur 42% der Pferde bedarfsgerecht mit Zn versorgt, in den Haaren beschrieben sie aber konstante Zn-Gehalte auch bei solchen Pferden, die in der Futterration einen temporären Zn-Mangel hatten, umgekehrt war eine Zn-Übersorgung im Haar nachweisbar. Da schlechte Huf-Hornqualität mit geringerem Zn-Gehalt korreliert, messen Coenen und Spitzlei (1996) der Zn-Versorgung besondere Bedeutung bei.

Wenn in SH für Se sowie in MH und DH für Cu signifikante Standortunterschiede bestanden, so stimmen die Se-, Cu, und Zn-Konfidenzbereiche weitgehend mit den in Tabelle 1 genannten Angaben von Kośla (1988), Coenen und Spitzlei (1996), Asano et al. (2005a) und Wichert et al. (2002) überein.

Die Pigmentierung durch Melanine bestimmt die Haarfarbe. Mengen- sowie Spurenelemente sind unterschiedlich an die Melanine und an Keratin gebunden (Nickel et al. 1984). Z. B. ist in den Melaninen 2- bis 5-mal mehr Zn als in Keratin,

signifikante Zn-Unterschiede werden durch unterschiedliche Pigmentierung aber nicht induziert (Anke und Müller 2011). Pigmentierte Pferdehaare enthalten mehr Ca, Mg, K und Na als weiße (Combs et al. 1982).

Der Pigmentierungsgrad beeinflusste in dieser Studie den Se-Gehalt signifikant. Se war am meisten in schwarzen Haaren aller Lokalisationen enthalten ($p < 0,05$, Tab. 3); braune und weiße Pferdehaare speicherten im Mittel nur 70 bis 85% der Se-Mengen, die im schwarzen Haar gefunden wurden. Die Perzentile von braunen und schwarzen Haaren überlappten sich weitgehend und lagen zwischen 450–1700 µg/kg TS; bei weißen Haaren lagen sie zwischen 325–1600 µg/kg TS. Asano et al. (2005c) ermittelten gleichartige Se-Befunde mit höheren Se-Gehalten in schwarzen (\bar{x} = 660 µg/kg TS) als in weißen (\bar{x} = 360 µg/kg TS) Haaren.

Der Cu-Gehalt wurde durch die Pigmentierung des Haares statistisch nicht gesichert beeinflusst, wie auch in Untersuchungen von Cape und Hinz (1982) sowie Kośla (1988). Dagegen stellten Asano et al. (2005c) in weißem MH von Pintopferden signifikant mehr Cu (\bar{x} = 8,2 mg/kg TS) als in andersfarbigen Haaren (\bar{x} = 6,3 mg/kg TS), bei sich jedoch komplett überlagerndem Range (3,0–13,0: 4,9–7,7 mg/kg TS), fest.

Das weiße Pferdehaar speicherte im Mittel 12% mehr Zn als das schwarze ($p < 0,05$). Bei weißem Haar schwankten die Perzentile für Zn zwischen 127–180 mg/kg TS, bei braunem und schwarzen zwischen 119–178 mg/kg TS (Tab. 3). Auch Asano et al. (2005c) fanden im weißem MH von Pintopferden signifikant mehr Zn (\bar{x} = 269 mg/kg TS) als in andersfarbigen (\bar{x} = 189 mg/kg TS) Haaren. Das DH von Pferden akkumulierte im Mittel der drei untersuchten Haararten am wenigsten Zn. Das entspricht den Ergebnissen wie beim Rind (Anke und Müller 2011).

Geschlechtseinflüsse auf den Spurenelementgehalt im Pferdehaar sind weder der Literatur (Combs et al. 1982, Kośla 1988, Kośla et al. 1985, Asano et al. 2005a und 2005b, Anke und Müller 2011, Murase et al. 2012) zu entnehmen, noch konnten sie in vorliegender Studie nachgewiesen werden. Kośla (1988) fand auch in anderen Organen und Geweben keine statistisch gesicherten Unterschiede für Se, Cu, und Zn zwischen Stuten und Wallachen. Das Geschlecht braucht demnach bei der Beurteilung des Selenstatus aus dem Pferdehaar nicht beachtet zu werden.

In Tab. 4 sind die Perzentilbereiche 10 bis 90 für die endogenen Einflussfaktoren Haarart sowie Haarpigmentierung zusammenfassend gegeneinander gestellt. Unter Berücksichtigung wesentlicher Übereinstimmungen sowie Abweichungen zwischen den Haararten und der Haarpigmentierung können folgende 80% Konfidenzbereiche verallgemeinert werden: Se 400–1700 µg/kg TS, Cu 5–8 mg/kg TS unter Beachtung niedrigerer Obergrenzen für DH (bis 6-) sowie SH (bis 7-) und für Zn 125–175 mg/kg TS. Nachteilig war im SH, dass es die Cu- und Zn-Standortunterschiede nicht wie das MH und DH reflektierte. Zu den Se- und Cu-Angaben von Asano et al. (2002, 2005a, 2005c) im MH besteht eine gute Übereinstimmung, die Angaben zu Cu von Cape und Hinz (1982), Schmidt (1984) sowie von Wichert et al. (2002) im DH liegen über denen dieser Studie. Die Angaben der genannten Autoren zu Zn (Tab. 1) streuen stärker um den hier ermittelten Konfidenzbereich.

Bei diagnostischen Fragen reflektieren Blutanalysen für Se, Cu und Zn aktuelle Mangelsituationen gut, die Haaranalyse informiert über mögliche Versorgungsstörungen in längeren Zeiträumen (Anke und Risch 1979, Anke und Müller 2011, Anke et al. 2002, Frank 2001, Wichert et al. 2002, Murase et al. 2012, Coenen 2016). Für Se- und Cu-Analysen sind MH und DH dem SH vorzuziehen. Bei weißen Haaren sind niedrigere Grenzwerte für Se zu beachten.

Literatur

- Anke M., Groppe B., Krause U., Angelow L., Regius A., Masaoka T., Košla T., Langer M. (1988) Diagnosemöglichkeiten des Zink-, Mangan-, Kupfer-, Jod-, Selen-, Molybdän-, Kadmium-, Nickel-, Lithium- und Arsenstatus. Proc. Mengen- und Spurenelemente, Leipzig, 368-384
- Anke M., Košla T., Groppe B. (1989) Der Cadmium-Status von Pferden aus Mitteleuropa je nach Rasse, Geschlecht, Alter und Standort. Arch. Tierernähr. 39, 657-683
- Anke M., Müller R., Hoppe C., Schäfer U. (2004) Zinc in the food chain – its biological importance. Part One: Zinc and the flora. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Jena 22, 1800-1813
- Anke M., Müller R. (2011) Das Widerspiegelungsvermögen des Mengen-, Spurenelement- und Ultraspurenelementstatus durch Hautderivate bei Mensch und Tier in Abhängigkeit von Unterversorgung bzw. Intoxikation. Universitätsverlag Ilmenau, Selen 132-139, Kupfer 74-81, Zink 145-152
- Anke M., Risch M. (1979) Haaranalyse und Spurenelementstatus. Fischer Verlag Jena
- Asano R., Suzuki K., Otsuka T., Otsuka M., Sakurai H. (2002) Concentrations of toxic metals and essential minerals in the mane hair of healthy racing horses and their relation to age. J. Vet. Med. Sci. 64, 607-610
- Asano K., Suzuki K., Chiba M., Sera K., Matsumoto T., Asano R., Sakai T. (2005a) Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. Biol. Trace Elem. Res. 108, 127-136
- Asano K., Suzuki K., Chiba M., Sera K., Asano R., Sakai T. (2005b) Twenty-eight element concentrations in mane hair samples of adult riding horses determined by particle-induced X-ray emission. Biol. Trace Elem. Res. 107, 135-140
- Asano K., Suzuki K., Chiba M., Sera K., Matsumoto T., Asano R., Sakai T. (2005c) Influence of the coat color on the trace elemental status measured by particle-induced X-ray emission in horsehair. Biol. Trace Elem. Res. 103, 169-176
- Asano K., Suzuki K., Chiba M., Sera K., Asano R., Sakai T. (2006) Relationship between trace elements status in mane hair and atrial fibrillation in horse. J. Vet. Med. Sci. 68, 769-771
- Cape L., Hintz H. F. (1982) Influence of month, color, age, corticosteroids, and dietary molybdenum on mineral concentration of equine hair. Am. J. Vet. Res. 43, 1132-1136
- Coenen M. (2016) Haaranalyse zur Beurteilung der Nährstoffversorgung? Proc. Leipziger Tierärztekongress, Leipzig 2016, Bd 2, 224-226
- Coenen M., Spitzlei S. (1996) Zur Zusammensetzung des Hufhorns in Abhängigkeit von Alter, Rasse und Hufhornqualität. Pferdeheilkunde 12, 279-283
- Coenen M., Landes E., Assmann G. (1998) Selenium toxicosis in the horse – case report. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 80, 153-157
- Combs D. K., Goodrich R. D., Meiske J. C. (1982) Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: a review. Anim. Sci. 54, 391-398
- Davis T. Z., Stegelmeier B. L., Halle J. O. (2014) Analysis in horsehair as a means of evaluating selenium toxicosis and long-term exposures. J. Agric. Food Chem. 30, 7393-7397
- Dunnett M., Lees P. (2003) Trace element, toxin and drug elimination in hair with particular reference to the horse. Res. Vet. Sci. 75, 89-101
- Emara E.M., Imam H., Hassan M. A., Elnaby S. H. (2013) Biological application of laser induced breakdown spectroscopy technique for determination of trace elements in hair. Talanta. 117, 176-183
- Frank T. (2001) Versorgung von Pferden in Oberbayern mit den Spurenelementen Zink, Kupfer und Selen - Eine Feldstudie. Vet. Med. Diss. München
- Fürll M., Sattler T., Anke M. (2004) Sekundärer Manganmangel als Bestandsproblem bei Rindern. Ein Fallbericht. Tierärztl. Prax. 32 (G), 126-132
- GfE (2014) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden. DLG Verlag, 113
- Hartfiel W., Bahners N. (1988) Selenium deficiency in the Federal Republic of Germany. Biol. Trace Element Res. 15, 1-12
- Haßler A. (2006) Spurenelement- und antioxidativer Status bei Kühen mit Dislocatio abomasi und anderen Krankheiten. Vet. Med. Diss. Leipzig
- Heikens A. (1992) Untersuchungen zum Selengehalt in wirtschaftseigenen Futtermitteln und zur Selenversorgung von Pferden und Wiederkäuern in Ostfriesland. Vet. med. Diss. Hannover 1992
- Kania M., Mikołajewska D., Marycz K., Kobielaż M. (2009) Effect of diet on mechanical properties of horse's hair. Acta Bioeng. Biomech. 11, 53-57
- Košla T. (1988) Mengen- und Spurenelementstatus, -bedarf und -versorgung des Pferdes. Habil.-Schrift, Leipzig
- Košla T., Siebert E., Anke M., Szentmihályi S. (1985) Der Mengen- und Spurenelementstatus und -bedarf des Pferdes. Proc. Mengen- und Spurenelemente, Leipzig, 356-366
- Košla T., Anke M., Grün M. (1989) Der Blei-Status von Pferden aus Mitteleuropa je nach Rasse, Geschlecht, Alter und Standort. Arch. Tierernähr. 39, 667-674
- Madejón P., Domínguez M. T., Murillo J. M. (2009) Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. Ecotoxicology. 18, 417-228
- Madejón P., Domínguez M. T., Murillo J. M. (2012) Pasture composition in a trace element-contaminated area: the particular case of Fe and Cd for grazing horses. Environ. Monit. Assess. 184, 2031-2043
- Meyer H., Zentek J., Heikens A., Struck S. (1995) Untersuchungen zur Selen-Versorgung von Pferden in Norddeutschland. Pferdeheilkunde 11, 313-321
- Müller A., Bertram A., Moschos M. (2012) Saisonale und überregionale Unterschiede der Selenversorgung bei Pferden. Tierärztl. Prax. 40 (G), 157-166
- Murase H., Sakai S., Kusano K., Hobo S., Nambo Y. (2012) Serum zinc levels and their relationship with diseases in racehorses. J. Vet. Med. Sci. 75, 37-41
- Nickel R., Schummer A., Seiferle E. (1984) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III. Verlag Paul Parey, 463-473
- Peganova S., Eder K. (2004) Zinc. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppeler M (eds) Elements and their Compounds in the Environment. WILEY-VCH-Verlag 1203-1227
- Scarino M. L., Poverini R., Dilullo G., Bisio G. (1991) Methallothionein gene expression in the intestinal cell: modulation of mRNA and protein synthesis by copper and zinc. Biochem. Soc. Trans. 19, 283
- Schmidt M. (1984) Ein Beitrag zum Spurenelementgehalt in Schweiß und Organen des Pferdes. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 91, 197-198
- Schröder N. (2009) Zweijährige klinisch-chemische, hämatologische und parasitologische Verlaufsuntersuchungen bei Mutterkühen dreier Rassen in der Elbaue. Vet. Med. Diss. Leipzig
- Shao S., Zheng H. (2008) The biogeochemistry of selenium in Sunan grassland, Gansu, Northwest China, casts doubt on the belief that Marco Polo reported selenosis for the first time in history. Environ. Geochem. Health. 30, 307-314
- Spitzlei S. (1996) Untersuchung zur Zusammensetzung des Hufhorns beim Pferd, deren Bedeutung für die Stabilität und Beziehung zur Nährstoffversorgung. Vet. Med. Diss. Hannover
- Suzuki K., Yamaya Y., Asano K., Chiba M., Sera K., Matsumoto T., Sakai T., Asano R. (2007) Relationship between hair elements and severity of atrioventricular block in horses. Biol. Trace Elem. Res. 115, 255-264
- Vervuert I., Coenen M., Höltershinken M., Venner M., Rust P. (2000) Aktuelle Befunde zur Beurteilung der Selenversorgung beim Pferd. Tierärztl. Prax. 28: 172-177
- Wichert B., Frank T., Kienzle E. (2002) Versorgung von Pferden in Oberbayern mit den Spurenelementen Zink, Kupfer und Selen. Tierärztl. Prax. 30: 107-113
- Witte S. T., Will L. A., Olsen C. R., Kinker J. A., Miller-Graber P. (1993) Chronic selenosis in horses fed locally produced alfalfa hay. J. Am. Vet. Med. Assoc. 202, 406-409