



Dieses PDF/A-Dokument wurde maschinell aus der  
approbierten Originalversion erzeugt. Die Originalversion  
finden Sie an der Universitätsbibliothek der  
Veterinärmedizinischen Universität, Wien

Institut für Tierernährung  
Universitätsklinik für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin  
Veterinärmedizinische Universität Wien

---

# **Die Versorgung des Pferdes mit Kupfer und Selen**

---

**Bakkalaureatsarbeit im Studiengang Pferdewissenschaften  
an der Veterinärmedizinischen Universität Wien und  
der Universität für Bodenkultur in Wien**

**Vorgelegt von  
Susanne Troschke**

Wissenschaftliche Betreuung: Prof. Dr. Jürgen Zentek

Wien, Februar 2009

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Spurenelemente.....</b>	<b>3</b>
2.1. Definition.....	3
2.2. Selen.....	3
2.3. Kupfer.....	4
<b>3. Fütterungspraxis beim Pferd.....</b>	<b>5</b>
3.1. Bedarfsempfehlungen.....	5
3.2. Spurenelementgehalte im Grundfutter.....	6
3.3. Spurenelementgehalte in exemplarischen Misch- und Mineralfuttermitteln für Pferde.....	8
3.4. Vergleich von Bedarf, Inhaltsstoffen und Fütterungsempfehlungen der Hersteller.....	10
<b>4. Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Kupfer und Selen beim Pferd und den Gehalten in Blut und Geweben .....</b>	<b>12</b>
4.1. Kupferaufnahme und Kupfergehalt im Blut und verschiedenen Geweben.....	12
4.2. Selenaufnahme und Selengehalt im Blut von Pferden.....	14
4.3. Selenaufnahme und Glutathionperoxidase - Aktivität beim Pferd.....	17
4.4. Referenzwerte der diagnostischen Parameter zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung des Pferdes.....	18
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>19</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>23</b>
<b>7. Summary.....</b>	<b>24</b>
<b>8. Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>25</b>
<b>9. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>26</b>

## **1. Einleitung**

Die Spurenelemente sind, wie alle anderen Nahrungsbestandteile auch, entscheidend für Gesundheit und Wohlbefinden und die Funktionen des Organismus verantwortlich. Ihr Fehlen wird erst augenscheinlich, wenn es zu Mangelercheinungen kommt und Störungen und Krankheiten auftreten. Aufgrund der Kenntnisse, die heute über den Bedarf und die Verwertung von Spurenelementen vorliegen, können Mangelzustände vermieden werden.

Diese Arbeit befasst sich mit den Spurenelementen Kupfer und Selen, deren Bedarfsdeckung in konventionellen Rationen oft nicht gegeben ist. Kupfer und Selen bedürfen in vielen Fällen einer Supplementierung, hierfür steht eine sehr große Anzahl von Produkten zur Verfügung. Es soll ein Überblick gegeben werden über vorhandene Studien, die sich mit der Versorgung und scheinbaren Verdaulichkeit von Kupfer und Selen beim Pferd befassen. Außerdem sollen die Konsequenzen für die praktische Fütterung aufgezeigt werden, da hier oft Unsicherheiten bestehen.

## **2. Spurenelemente**

### **2.1. Definition**

Spurenelemente sind Mineralstoffe, welche im Körper in einer Konzentration von unter 50 mg pro kg Körpermasse vorkommen. Eine Ausnahme bildet hierbei das Element Eisen, das in Konzentrationen von 50-70mg pro kg Körpermasse vorliegt. Mineralstoffe sind essentielle Nahrungsbestandteile. Im Organismus sind Spurenelemente vor allem als Bestandteil von Enzymen von großer Bedeutung.

### **2.2. Selen**

Als Bestandteil der Aminosäure Selenocystein ist Selen in mehr als 30 Proteinen enthalten (BECKETT und ARTHUR 2005). Als Coenzym der Glutathionperoxidase ist Selen am Schutz der Zellmembranen beteiligt. Die selenhaltige Glutathionperoxidase inaktiviert Fettsäurenperoxide, welche eine Oxidation von Phospholipiden der Zellmembranen hervorrufen würden. Außerdem kommt dem Enzym eine große Bedeutung im Zuge der

Spermareifung zu. Bei einem Selenmangel kann es zu einer niedrigeren Spermaproduktion und zu mechanischen Defekten an den Spermien kommen (BECKETT und ARTHUR 2005, WOLFFRAM 2000). Eine weitere Gruppe von selenhaltigen Proteinen sind die Dejodasen. Diese Enzyme sind im Stoffwechsel der Schilddrüsenhormone von großer Bedeutung. Die Gruppe der Thioredoxin-Reduktasen hat ihre Aufgabe unter anderem in der Reduktion reaktiver Sauerstoffverbindungen (BECKETT und ARTHUR 2005, WOLFFRAM 2000).

Bei der Versorgung mit Selen ist zu beachten, dass die homöostatische Kontrolle bei diesem Element gering ausgeprägt ist (JEROCH et al. 2008). WOLFFRAM (2000) gibt an, dass keine homöostatische Regulation der Selenabsorption erfolgt. Eine sehr geringe oder sehr hohe Aufnahme des Spurenelementes kann somit nur mäßig durch eine erhöhte oder verminderte Verwertung reguliert werden und führt so direkt zu einer Unter- oder Überversorgung des Organismus mit den entsprechenden Folgen. Ein Selenmangel zeigt sich beim Pferd in einer Schwächung der Infektionsabwehr, in Fruchtbarkeitsstörungen und Leistungsschwäche. Des Weiteren treten bei starkem Mangel Störungen der Muskelfunktion auf, die sich vor allem bei neugeborenen Fohlen in Symptomen wie steifem Gang, Lahmheiten und Muskelschmerzen äußern (MEYER und COENEN 2002). Das NRC (2007) sieht keine Rechtfertigung für Selengaben, die höher sind als 0,5 mg/kg Futtertrockensubstanz. Bei einer täglichen Aufnahme von über 2mg Selen pro kg Futtertrockenmasse können bereits Vergiftungserscheinungen wie Lahmheiten, Haarausfall an Mähne und Schweif und Deformationen der Hornkapsel bis hin zum Ausschuhren auftreten. Es wird angenommen, dass Schwefel aus dem Keratin durch Selen ersetzt wird und es dadurch zu Schäden an Haaren und Hufen kommt (NRC 2007).

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Selenversorgung die Spanne zwischen Nutzen und Schaden klein ist und der Tatsache, dass trotz starker Variationen, der Selengehalt im Grundfutter eher unter dem Bedarf liegt, ist bei der Fütterung die Versorgung mit Selen besonders zu beachten.

### 2.3. Kupfer

Als Bestandteil von Proteinen und Enzymen erfüllt Kupfer verschiedene Aufgaben im Organismus. Im Plasma ist es zu 95% an das Glycoprotein Coeruloplasmin gebunden (JEROCH et al. 2008), welches für die Oxidation von  $Fe^{2+}$  zu  $Fe^{3+}$  verantwortlich ist, bevor dieses an Transferrin gebunden wird. Bei der Pigmentsynthese ist Kupfer, als Bestandteil der Polyphenyloxidasen, an der Umwandlung von Tyrosin in Melanin

beteiligt (MEYER 1994). Bei Kupfermangel kann es deshalb zu Pigmentstörungen der Haut kommen, die vor allem im Bereich der Augen auftreten. Häufig wird Kupfer in Verbindung mit Entwicklungsstörungen des Skeletts bei Fohlen genannt. Die kupferhaltige Lysyloxidase ist für die Quervernetzung der Aminogruppen des Lysins verantwortlich. Diese verleihen dem Kollagen und Elastin die Festigkeit. Außerdem ist es während der Knochenbildung für die Osteoblastenaktivität essentiell (JEROCH et al. 2008). Da die Kupferaufnahme über die Muttermilch gering ist, kann es bei ungenügender Speicherung in der fötalen Leber zu Mangelsituationen kommen.

Kupfer wird im Dünndarm resorbiert und kann in der Leber gespeichert werden. Beim neugeborenen Fohlen sind 60% des gesamten Kupfers im Körper in der Leber gespeichert, beim adulten Pferd sind es nur noch 2% (MEYER 1994). Die Aufnahme wird vor allem über die Resorptionsrate geregelt. Diese schwankt stark in Abhängigkeit vom momentanen Bedarf des Tieres. Aus diesem Grund führen, im Gegensatz zu Selen auch hohe Gaben nicht so schnell zu Vergiftungserscheinungen. In der Literatur (MEYER 1994, SMITH et al. 1975) werden hier 800 mg pro kg Trockensubstanz angegeben, die noch vertragen wurden. Zum Schutz der Leber und um mögliche negative Interaktionen zu anderen Nährstoffen zu vermeiden, sollten die Werte jedoch nicht über 50 mg pro kg Trockenmasse liegen (MEYER 1994).

Die Ausscheidung des Kupfers erfolgt in größtem Maße über die Galle.

### **3. Fütterungspraxis beim Pferd**

#### **3.1. Bedarfsempfehlungen**

Beim Bedarf wird zwischen Netto- und Bruttobedarf unterschieden. Unter Nettobedarf versteht man den physiologischen Mineralstoffbedarf für Erhaltung und Leistung. Der Bruttobedarf ist der benötigte Spurenelementgehalt im Futter. Er errechnet sich aus Nettobedarf/Verwertbarkeit. Hier werden zusätzlich Resorptionsrate und intermediäre Verwertung berücksichtigt (JEROCH et al. 2008). Die genaue Bestimmung der Verwertung gestaltet sich schwierig. Sie wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Hier sind unter anderem die Art der chemischen Bindung, Wechselwirkungen mit anderen Nahrungsbestandteilen und pH-Verhältnisse im Magen-Darm-Trakt von Bedeutung (JEROCH et al. 2008).

Wenn Versorgungsempfehlungen angegeben werden, geschieht dies auf Grundlage des Bruttobedarfs. Die in der Tabelle 1 angegebenen Werte können somit direkt mit den Gehaltswerten der Futtermittel verglichen werden, um Aussagen über eine bedarfsdeckende Versorgung vorzunehmen. Die Angaben der beiden Quellen sind annähernd gleich. Für Kupfer werden Werte von 7-12 mg/kg Futterrockensubstanz (MEYER und COENEN 2002) bzw. 10 mg/kg Futterrockensubstanz (NRC 2007) angegeben. Für Selen geben MEYER und COENEN (2002) 0,1-0,12 mg/kg Futterrockensubstanz an, vom NRC (2007) werden 0,1 mg/kg Futterrockensubstanz empfohlen.

	mg/kg Futterrockensubstanz	pro kg LM/Tag Erhaltung Arbeit	pro kg LM/Tag Reproduktion Fohlen	mg/kg Futterrockensubstanz
Eisen	60-100	mg 1,0	1,8	40-50
Kupfer	7-12	mg 0,1-0,15	0,2	10
Zink	50	mg 1,0	1,2	40
Mangan	40	mg 0,8	1,0	40
Kobalt	0,05 -0,1	µg 2,0	2,5	0,05
Jod	0,1 -0,2	µg 3,0	5,0	0,4
Selen	0,1 -0,12	µg 2,5	3,0	0,1
	nach Meyer und Coenen 2002			nach NRC 2007

### 3.2. Spurenelementgehalte im Grundfutter

Die Spurenelementgehalte in pflanzlichen Futtermitteln können aufgrund verschiedener Einflüsse stark variieren. Tabelle 2 zeigt Schwankungsbreiten bei den Inhaltsstoffen von Grünfutter und gibt für die weiteren Futtermittel Mittelwerte an. Tabelle 3 zeigt anhand von Stichproben in zwei Regionen, wie unterschiedlich die Spurenelementgehalte in Grundfuttermitteln sein können. Gründe für die teilweise stark schwankenden Spurenelementgehalte sind Standortfaktoren wie pH-Wert und Bodenart, Düngung, Klima, Emissionen und Vegetationsstadium der Pflanzen. Bei Grünfutter und Grünfutterkonservaten spielt die unterschiedliche botanische Zusammensetzung der Aufwüchse eine große Rolle.

	Eisen	Kupfer	Mangan	Zink	Kobalt	Jod	Selen
Weidegras	200-800	2-15	20-400	15-50	0,17	0,40	0,01-0,12
Heu, Wiese, mittl. Qualität	200	6	110	30	0,12	0,27	0,10
Luzerneheu	250	9	50	25	0,15	0,24	0,06
Maissilage	210	8	45	30	0,09		0,18
Futterrüben	130	7	85	30	0,16	0,36	0,03
Melasse	150	11	35	30	0,92	0,85	0,03
Trockenschnitzel	500	14	75	20	0,60	1,00	0,05
Möhren	60	6	25	35	0,15	0,35	0,02
Hafer	65	5	50	35	0,07	0,11	0,08
Weizenkleie	170	15	130	90	0,09	0,35	0,05-0,40
Sojaextraktionsschrot	160	19	35	70	0,25	0,25	0,20-0,40

nach Meyer und Coenen 2002

		Eisen	Kupfer	Mangan	Zink	Kobalt	Selen
Grassilage	Lufa Bonn	1217	8,2	159	50	0,6	0,03
	Lufa Kiel	250	5,9	115	29	0,03	0,01
Maissilage	Lufa Bonn	283	4,1	30	38	0,2	0,03
	Lufa Kiel	78	2,9	22	19	0,02	0,01
Heu	Lufa Bonn	485	6,3	136	44	0,2	0,03
	Lufa Kiel	90	4,1	102	24	0,03	0,02

nach Zentek 1996

Die in Tabelle 3 abgebildeten Werte zeigen, wie stark die Schwankungen mitunter sein können. Eine Rationsberechnung mit Mittelwerten, wie sie in Tabelle 2 gezeigt werden, kann hier zu einem großen Fehler in der Berechnung führen. MEYER und COENEN (2002) geben für den Kupfergehalt in Weidegras eine Spanne von 2-15 mg/kg Futtertrockensubstanz an. Bei Untersuchungen von Weidestandorten im Land Brandenburg (BRAUN 2007) wurden im Mittel Werte von 9,1 mg/kg Futtertrockensubstanz für Sandboden-Standorte ermittelt und Werte von 5,0 mg/kg Futtertrockensubstanz für Niedermoor-Standorte. TEROERDE (1998) gibt für Weidestandorte in Mecklenburg-Vorpommern Kupfergehalte von  $9,4 \pm 2,9$  mg/kg Futtertrockensubstanz an. Für Kupfergehalte im Heu stehen ebenfalls verschiedene Werte zur Verfügung. Von MEYER und COENEN (2002) werden 6 mg/kg Futtertrockensubstanz angegeben, von SPIEKERS et al. (1991) 6,3 bzw. 4,1 mg/kg Futtertrockensubstanz. BRAUN (2007) hat bei Heuproben im Land Brandenburg durchschnittliche Kupfergehalte von 6,6 mg/kg Futtertrockensubstanz ermittelt. Die Mittelwerte der einzelnen Heuproben lagen in einem Bereich von 4,79-8,47 mg/kg

Futterrockensubstanz. Für Grassilagen wurden von SPIEKERS et al. (1991) Kupfergehalte von 5,9 und 8,2 mg/kg Futterrockensubstanz angegeben und von BRAUN (2007) ein Wert von 7,1 mg/kg Futterrockensubstanz.

Für Selengehalte in Weidegras geben MEYER und COENEN (2002) eine große Spanne von 0,01-0,12 mg/kg Futterrockensubstanz an. BRAUN (2007) gibt einen Mittelwert von 0,071 mg/kg Futterrockensubstanz an. Signifikante Unterschiede zwischen Sand- und Niedermoor-Standorten konnten bei Selen nicht ermittelt werden. TEROERDE (1998) gibt einen Selenwert von durchschnittlich 0,02 mg/kg Futterrockensubstanz an. In den Arbeiten von BRAUN (2007) und TEROERDE (1998) wurden bei den Selengehalten starke jahreszeitliche Schwankungen festgestellt. In einem Fall wurden bei den Untersuchungen von TEROERDE (1998) im Herbst, im Vergleich zum Frühjahr 10-fach höhere Gehalte im Weidegras festgestellt. Für Heu wird von MEYER und COENEN (2002) ein durchschnittlicher Selengehalt von 0,1 mg/kg Futterrockensubstanz angegeben. SPIEKERS et al. (1991) geben 0,02 bzw. 0,03 mg/kg Futterrockensubstanz an. BRAUN (2007) hat bei ihren Untersuchungen im Land Brandenburg einen durchschnittlichen Selengehalt von 0,05 mg/kg Futterrockensubstanz ermittelt. Bei Grassilage lagen die Selenwerte in einem Bereich von 0,01 und 0,03 mg/kg Futterrockensubstanz (SPIEKERS et al. 1991) und in einer weiteren Arbeit (BRAUN 2007) bei 0,07 mg/kg Futterrockensubstanz.

### 3.3. Spurenelementgehalte in exemplarischen Misch- und Mineralfuttermitteln für Pferde

In Tabelle 4 werden die Spurenelementgehalte in gebräuchlichen Mischfuttermitteln für Pferde dargestellt. Die Hersteller 1, 3, 4 und 7 geben hier die Gehalte an Inhaltsstoffen pro kg Futter an und die Hersteller 2, 5 und 6 geben die Menge der zugesetzten Spurenelemente pro kg Futter an. Es wurden Futtermittel für Freizeit- und Sportpferde ausgewählt. Die Werte der empfohlenen Tagesdosis wurden den Angaben der Hersteller entnommen.



Tabelle 4: Spurenelementgehalte in Mischfuttermitteln in mg/kg									
Hersteller	Futtersorte	Eisen	Kupfer	Zink	Mangan	Kobalt	Jod	Selen	empf. Tagesdosis (Warmblut)
1	a	300	17,0	170	100	1,20	0,80	0,45	
	b	230	20,0	215	115	1,70	1,30	0,50	
	c	370	14,0	150	70,0	1,20	0,90	0,27	
2*	a	120	35,0	200	100	1,00	1,40	0,70	2kg
	b	90,0	30,0	160	100	0,80	1,00	0,60	3kg
3	a	200	30,0	160	110	2,00	1,70	0,60	2-4kg
	b	270	45,0	150	110	1,00	1,50	0,80	2-4kg
	c	250	25,0	170	120	3,50	1,70	0,50	3-4kg
4	a	90,0	45,0	250	80,0	0,70	1,30	0,70	1-2kg
	b	80,0	35,0	182	60,0	0,50	1,00	0,60	2-4kg
	c	75,0	30,0	160	55,0	0,40	0,90	0,50	3-6kg
5*	a	90,0	21,0	145	87,0	0,27	0,46	0,40	2-3,5kg
	b	129	30,0	210	118	0,38	0,65	0,65	2-3,5kg
	c	110	23,5	160	103	0,30	0,52	0,50	3-5,5kg
6*	a	170	20,0	125	80,0	1,50	2,00	0,45	1,5-3kg
	b	145	20,0	115	70,0	1,90	2,50	0,35	1,5-3kg
7	a	75,0	18,0	70,0	50,0	1,00	3,00	0,30	3-6kg
	b	75,0	20,0	70,0	50,0	1,00	4,20	0,30	5-6kg
* zugesetzte Spurenelemente in mg/kg									

In Tabelle 5 werden die Spurenelementgehalte von 10 gebräuchlichen Mineralfuttermitteln für Pferde angegeben. Auch hier gibt es Herstellerdeklarationen, die die Spurenelementgehalte pro kg Futter angeben und solche, die die Menge der zugesetzten Spurenelemente pro kg Futter angeben. Aufgrund der sehr hohen Spurenelementzulagen, bezogen auf die Futtermasse, ist der Unterschied in diesem Fall jedoch gering. Die Werte der empfohlenen Tagesdosis entsprechen auch hier den Fütterungsempfehlungen der Hersteller.

Tabelle 5: Spurenelementgehalte in Mineralfuttermitteln in mg/kg								
Hersteller	Eisen	Kupfer	Zink	Mangan	Kobalt	Jod	Selen	empf. Tagesdosis (Warmblut)
1	1170	500	2900	1180				40g
2	1000	400	3000	1300	7	15	15	50-100g
3	2500	1000	7500	7000	20	12	9	100g
4	2500	1600	10000	3000	30	30	20	50g
5	2800	450	2000	2000	6	15	10	70-120g
6	1400	90	1200	400	10	20	5	40-80g
7	1000	135	850	500	15	20	2,5	150g
8	1300	600	5000	1100	10	50	25	100g
9		400	3200	2000	10	16	29	150-200g
10	3750	1000	5000	2350	25	60	20	20-80g

### 3.4. Vergleich von Bedarf, Inhaltsstoffen und Fütterungsempfehlungen der Hersteller

Die vorangegangenen Tabellen geben eine Vielzahl von Daten wieder, die zur Berechnung einer optimalen Ration notwendig sind. Es werden Empfehlungen zur täglichen Aufnahmemenge von Spurenelementen gezeigt. Diese Daten wurden anhand von Studien ermittelt, wie sie unter Punkt 4 vorgestellt werden. Als nächstes benötigt man die Angaben zu den Spurenelementgehalten in den verschiedenen Futtermitteln. Die Tabellen 2 und 3 und die Ergebnisse der Arbeiten von BRAUN (2007) und TEROERDE (1998) zeigen Werte von einigen wichtigen Futtermitteln. Bei Misch- und Mineralfuttermitteln werden die Inhaltsstoffe analysiert und deklariert.

Trotz der Ungenauigkeit der angegebenen Werte für die Spurenelementgehalte in Grundfuttermitteln, bilden diese Zahlen die Grundlage für eine Rationsberechnung.

In der folgenden Übersicht wird gezeigt, wie die Versorgung mit Spurenelementen in der Praxis aussehen kann. Es wurden vier exemplarische Rationen für ein 600kg schweres Reitpferd berechnet. Die Rationen 1 und 2 wurden aus 6kg Heu und 5kg Kraftfutter zusammengestellt, die Rationen 3 und 4 wurden aus 8kg Heu, 2kg Kraftfutter und einer Ergänzung mit einem Mineralfutter zusammengestellt. Beides sind, in ihrer Zusammenstellung, in der Praxis häufig anzutreffende Rationen. Die Beispiele zeigen Rationsberechnungen anhand von Werten der Tabellen 2-5 und Fütterungsempfehlungen der Hersteller. In den Rationen 1 und 2 wurden für die Berechnung die gleichen Heu- und Haferqualitäten verwendet. Dazu flossen die Spurenelementgehalte zweier verschiedener Mischfuttermittel in die Berechnung ein. Die Ergebnisse der Berechnungen 1 und 2 fallen unterschiedlich aus. Der Kupferbedarf ist in beiden Fällen gedeckt, jedoch würde das Pferd mit der Ration 2 mit der 3-fachen Menge des Bedarfs an Kupfer versorgt. Dieser hohe Kupferwert stellt jedoch für die Versorgung des Pferdes noch kein Problem dar. Die Selenversorgung ist in der Ration 1 leicht unter dem Bedarf und in der Ration 2 schon deutlich darüber. Für die Berechnung der Rationen 3 und 4 wurden zwei verschiedene Heuqualitäten und zwei verschiedene Mineralfutter verwendet. Die Kupferversorgung ist hier wieder gesichert. Die Selenversorgung stellt bei diesen beiden Rationen ein Problem dar. In der Ration 3 ist der Selengehalt so hoch, dass der vom NRC (2007) angegebene obere Grenzwert (0,5mg/kg Futtertrockensubstanz) für die tägliche Selenaufnahme bereits überschritten ist. Vergiftungserscheinungen wurden jedoch erst bei deutlich höheren Werten beobachtet. In der Ration 4 liegt der Selengehalt bei der Hälfte des Bedarfs. Es erfolgt also keine ausreichende Versorgung mit Selen.

Die Ergebnisse der Beispielrechnungen zeigen, dass auch das Einhalten von Fütterungsempfehlungen und die Verwendung von Tabellenwerten kein Garant sind für die Aufstellung bedarfsdeckender Rationen. Nur die Analyse der Spurenelementgehalte der jeweiligen verwendeten Grundfuttermittel kann eine genaue Rationsberechnung ermöglichen.

<b>Übersicht: in der Praxis vorkommende Beispielrationen</b>										
Reitpferd 600 kg	Bedarf: 100 MJ verdauliche Energie									
	500 g verdauliches Rohprotein									
	600 mg Eisen									
	60 mg Kupfer									
	600 mg Zink									
	480 mg Mangan									
	1,2 mg Kobalt									
	2 mg Jod									
	1,5 mg Selen									
	g verd.									
	MJ DE	RP	Eisen	Kupfer	Zink	Mangan	Kobalt	Jod	Selen	
<b>Ration 1</b>										
6 kg Heu	48	324	2,9 g	38 mg	264 mg	816 mg	1,2 mg	1,8 mg	0,18 mg	
4 kg Mischfutter 1c	44	420	1,5 g	56 mg	600 mg	280 mg	4,8 mg	3,6 mg	1,08 mg	
1 kg Hafer	11	85	65 mg	5 mg	35 mg	50 mg	0,07 mg	0,11 mg	0,08 mg	
	103	829	4,5 g	99 mg	899 mg	1,1 g	6,1 mg	5,5 mg	1,34 mg	
<b>Ration 2</b>										
6 kg Heu	48	324	2,9 g	38 mg	264 mg	816 mg	1,2 mg	1,8 mg	0,18 mg	
4 kg Mischfutter 4b	49	292	320 mg	140 mg	728 mg	240 mg	2 mg	4 mg	2,4 mg	
1 kg Hafer	11	85	65 mg	5 mg	35 mg	50 mg	0,07 mg	0,11 mg	0,08 mg	
	108	701	3,3 g	183 mg	1 g	1,1 g	2,3 mg	4,9 mg	2,7 mg	
<b>Ration 3</b>										
8 kg Heu	64	432	1,6 g	48 mg	240 mg	880 mg	0,96 mg	2,16 mg	0,8 mg	
2 kg Hafer	22	170	130 mg	10 mg	70 mg	100 mg	0,14 mg	0,22 mg	0,16 mg	
150 g Mineralfutter 9				60 mg	480 mg	300 mg	1,5 mg	2,4 mg	4,35 mg	
	86	602	1,7 g	118 mg	790 mg	1,3 g	2,6 mg	4,8 mg	5,31 mg	
<b>Ration 4</b>										
8 kg Heu	64	432	720 mg	33 mg	192 mg	816 mg	0,24 mg	2,16 mg	0,16 mg	
2 kg Hafer	22	170	130 mg	10 mg	70 mg	100 mg	0,14 mg	0,22 mg	0,16 mg	
150 g Mineralfutter 7			150 mg	20,3 mg	128 mg	75 mg	2,25 mg	3 mg	0,38 mg	
	86	602	1 g	63 mg	390 mg	991 mg	2,63 mg	5,4 mg	0,7 mg	

Bei den Mineralfuttermitteln in Tabelle 5 sind große Unterschiede in den Gehalten an Spurenelementen zu erkennen. Auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Fütterungsempfehlungen bleiben diese zum Teil bestehen. So sind zum Beispiel die Selengehalte der Mineralfuttermittel 8 und 9 so hoch, dass bei Fütterung nach

Herstellerangaben der benötigte Selengehalt in der Ration zwangsläufig überschritten wird. Das 600kg Pferd aus der Übersicht, mit einem täglichen Selenbedarf von 1,5mg, würde allein durch Aufnahme des Mineralfutters 2,5 bzw. 4,4mg Selen am Tag aufnehmen. Toxisch wirken diese Mengen noch nicht. Die Empfehlungen des NRC (2007), maximal 0,5 mg Selen/kg Futtertrockensubstanz aufzunehmen, werden bei Verabreichung des Mineralfutters 9 in der empfohlenen Dosis bei vielen Rationen überschritten. Demgegenüber ist der Selengehalt bei Mineralfutter 7 mit 2,5 mg/kg Futter so gering, dass bei einer Heu-Getreideration oder bei Grasfütterung in einigen Fällen kein bedarfsdeckender Selengehalt in der Ration erreicht wird, wie dies schon in der Übersicht bei Ration 4 gezeigt wurde.

#### 4. Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Kupfer und Selen beim Pferd und den Gehalten in Blut und Geweben

Die meisten Studien, welche sich mit dem Versorgungsstatus von Spurenelementen (außer Zink) beschäftigen, stehen über die Elemente Kupfer und Selen zur Verfügung. Da es aufgrund von teilweise niedrigen Gehalten in Grundfuttermitteln bei diesen Elementen zu Mangelsituationen kommen kann, ist die Erforschung der Versorgung des Pferdes mit Kupfer und Selen ein wichtiger Aspekt.

##### 4.1. Kupferaufnahme und Kupfergehalt im Blut und verschiedenen Geweben von Pferden

In Tabelle 6 werden die Eckpunkte verschiedener Studien zur Kupferversorgung von Pferden gezeigt. Hauptkriterien sind hier, die tägliche Aufnahme und der Kupfergehalt in Blut und Leber- oder Nierengewebe.

Tabelle 6: Kupferaufnahme und Kupfergehalt in Blut und verschiedenen Geweben von Pferden

Tiere, Anzahl	Alter	Spurenelement	Zufuhr (pro Tag)	Zeitraum	Messmedium	Wert	Autor
10, Vollblüter	0-17 Monate	Kupfer	0,2mg/kgLM	17 Monate	Serum	in erster Lebenswoche 66,1 µg/dl ;	Okumura et al. (1998)
				17 Monate	Serum	Ende erster Monat 164,8 µg/dl	Okumura et al. (1998)

10, Zuchtstuten, Vollblüter		<b>Kupfer</b>	0,2mg/kgLM	7 Monate	Serum	130 µg/dl	Okumura et al. (1998)
90, Zugpferde	Jährlinge	<b>Kupfer</b>	0,17-0,2mg/kg LM		Plasma	143-180 µg/dl	Cymbaluk et al. (1986)
					Leber	0,31-0,33 µmol/gTM	Cymbaluk et al. (1986)
					Niere	0,36-0,47 µmol/gTM	Cymbaluk et al. (1986)
42, Quarter Horses	Jährlinge	<b>Kupfer</b>	0,38mg/kgLM		Plasma	161-168 µg/dl	Cymbaluk et al. (1986)
					Leber	0,27µmol/gTM	Cymbaluk et al. (1986)
106, versch. Rassen	alles	<b>Kupfer</b>	0,19mg/kgLM		Plasma	100-120 µg/dl	Wichert et al. (2002)
6, Quarter Horses, Vollblüter	Jährlinge	<b>Kupfer</b>	6,4mg/kgTM [~0,13mg/kgLM]	112 Tage	Serum	142 µg/dl	Ott et al. (1995)
6, Quarter Horses, Vollblüter	Jährlinge	<b>Kupfer</b>	21,3mg/kgTM [~0,36mg/kgLM]	112 Tage	Serum	152 µg/dl	Ott et al. (1995)
6, Quarter Horses, Vollblüter	Jährlinge	<b>Kupfer</b>	23mg/kgTM [~0,37mg/kgLM]	112 Tage	Serum	157 µg/dl	Ott et al. (1995)

Die Versorgung mit Kupfer wird häufig bei Fohlen und Zuchtstuten untersucht, da ein Mangel bei Fohlen die größte praktische Relevanz hat. Viele Studien zum Thema Osteochondrosis dissecans beschäftigen sich mit dem Auftreten dieser Erkrankung bei Jungpferden und dem möglichen Einfluss einer ungenügenden Kupferversorgung auf den Ausbruch der Krankheit.

Die Studie von OKUMURA et al. (1998) beschäftigte sich mit der Kupferversorgung von Fohlen. Zehn Zuchtstuten wurden nach den Versorgungsempfehlungen des NRC mit Kupfer gefüttert. In einem Zeitraum von zwei Monaten vor dem Abfohlen bis zu fünf Monaten nach dem Abfohlen wurden Blutproben genommen. Der Kupferspiegel im Serum bewegte sich in dieser Zeit konstant um 130 µg/dl. Bei den zehn Fohlen dieser Stuten wurde Kupfer supplementiert, um sie ebenfalls nach den Bedarfsempfehlungen zu versorgen. Hier zeigten sich starke Schwankungen in den Serumkupferwerten. Eine Woche nach der Geburt lagen sie bei nur 66,1µg/dl, einen Monat nach der Geburt bei 164,8 µg/dl. In den folgenden Lebensmonaten sanken die Kupfergehalte im Serum auf einen ähnlichen Wert wie bei den Stuten.

CYMBALUK et al. (1986) arbeiteten mit einer Versuchsgruppe, die nach den Empfehlungen mit Kupfer versorgt wurde und einer anderen, die die doppelte Dosis Kupfer erhielt. Sie verwendeten dafür Pferde unterschiedlicher Rassen, in der ersten

Gruppe Zugpferde und in der zweiten Gruppe Quarter Horses. Die unterschiedliche Zufuhr schlug sich jedoch nicht in den Plasmagehalten nieder. Die Zugpferde hatten bei einer Zufuhr von 0,17-0,2 mg/kg Lebendmasse einen Kupfer-Plasmaspiegel von 143-180 µg/dl, die Quarter Horses bei einer Zufuhr von 0,38 mg/kg Lebendmasse einen Kupfer-Plasmaspiegel von 161-168 µg/dl. CYMBALUK et al. (1986) versuchten dieses mit unterschiedlicher Verfügbarkeit des Kupfers aus den Diäten oder mit rassespezifischen Unterschieden in der Regulation der Kupferaufnahme zu erklären. Das Ergebnis dieser Studie wurde von einer weiteren Studie von CYMBALUK et al. (1986) unterstützt, in der bei Zugpferden ein 15%-40% höherer Plasmakupferspiegel ermittelt wurde als bei Warmblut- oder Vollblutpferden. In dieser Studie wurde der Plasmakupferspiegel von 215 Pferden unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Rasse miteinander verglichen. Eine Auswertung der Kupferaufnahme erfolgte hier nicht.

In der Feldstudie von WICHERT et al. (2002) wurden 106 Pferde in Bayern hinsichtlich ihrer täglichen Kupferzufuhr und des Plasmakupferspiegels untersucht. Bei 85 % der Pferde lag die Versorgung oberhalb der Bedarfswerte. Im Mittel erhielten die Pferde 0,19 mg Kupfer/kg Lebendmasse. Bis auf zwei wiesen alle Pferde einen Plasmakupferspiegel im Referenzbereich auf. Bei 60 % der Pferde lag der Wert zwischen 100 und 150 µg/dl. 85 % der Pferde bekamen tägliche Kupfermengen oberhalb der Bedarfsempfehlung, jedoch lag der Plasmakupferspiegel nur bei zwei Pferden oberhalb der Referenzwerte. Kein Pferd wies einen Kupferspiegel unterhalb des Referenzwertes auf, obwohl einige Pferde mit Mengen unterhalb der Bedarfsempfehlung gefüttert wurden.

In der Studie von OTT et al. (1995) wurden Kupferaufnahme und Kupferspiegel im Serum bei drei Gruppen von Jährlingen bestimmt. Eine Gruppe erhielt 6,4 mg Kupfer/kg Futtertrockensubstanz und die anderen 21,3 bzw. 23 mg/kg Futtertrockensubstanz. Die Kupferwerte im Serum stiegen ebenfalls an, jedoch im Vergleich zur Kupferaufnahme nur minimal. Die Spanne reichte hier von 142 µg/dl bis zu 157 µg/dl.

#### 4.2. Selenaufnahme und Selengehalt im Blut von Pferden

In Tabelle 7 werden die Ergebnisse von Studien zur Selenversorgung von Pferden dargestellt.

Tabelle 7: Selenaufnahme und Selengehalt im Blut von Pferden

Tiere, Anzahl	Alter	Spurenelement	Zufuhr (pro Tag)	Zeitraum	Messmedium	Wert	Autor
542, Warmblut, Vollblut	Saugfohlen	Selen	Milch		Serum	6,12-7,88 µg/dl	Stowe (1967)
	Jährlinge	Selen	Mischfutter mit Hafer, Heu Weide		Serum	12,4-13,7 µg/dl	Stowe (1967)
	Sportpferde	Selen	Hafer, Mischfutter, Heu		Serum	10,4-14,3 µg/dl	Stowe (1967)
5, Quarter Horse, Vollblut		Selen	0,06mg/kgTM	12 Wochen	Plasma	6,6-7,2 µg/dl	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,11mg/kgTM	12 Wochen	Plasma	10,6-11,4 µg/dl	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,16mg/kgTM	12 Wochen	Plasma	13,9-14,7 µg/dl	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,26mg/kgTM	12 Wochen	Plasma	13,2-14,8 µg/dl	Shellow et al. (1985)
12, Araber		Selen (Na-Selenate)	0,3mg/kgTM	56 Tage	Serum	18 µg/dl	Podoll et al. (1992)
		Selen (NaSeO <sub>3</sub> )	0,3mg/kgTM	56 Tage	Serum	18,2 µg/dl	Podoll et al. (1992)
6, Quarter Horses	1,5 jährig	Selen	0,15mg/kgTM	56 Tage	Plasma	9,6 µg/dl	Richardson et al. (2006)
6, Quarter Horses	1,5 jährig	Selen (NaSeO <sub>3</sub> )	0,15mg/kgTM + 0,41mg/kg TM aus NaSeO <sub>3</sub>	56 Tage	Plasma	15,1 µg/dl	Richardson et al. (2006)
6, Quarter Horses	1,5 jährig	Selen (zink-l-seleno-methionin)	0,15mg/kgTM + 0,46mg/kg TM aus org. Selen	56 Tage	Plasma	16,9 µg/dl	Richardson et al. (2006)

STOWE (1967) gab in seiner Studie eine Übersicht über den Selenspiegel im Serum bei Pferden, die übliche Futterrationen bekamen. Diese bestanden aus Milch bei den Fohlen und Heu, Getreide und Gras bei den übrigen Pferden. Eine spezielle Supplementierung von Selen erfolgte bei diesen Pferden nicht. Auffällig sind in dieser Studie die Selenwerte im Serum bei den Saugfohlen. Diese sind gegenüber den Werten der anderen zwei Gruppen stark reduziert. Außerdem ist in den Werten ein Unterschied zwischen Warmblütern und Vollblütern zu erkennen. Die Warmblüter hatten im Mittel höhere Selenkonzentrationen im Serum als die Vollblüter. Bei den Saugfohlen hatten die Vollblüter einen mittleren Serumselengehalt von 6,12 µg/dl. Bei den Warmblutfohlen

wurde ein mittlerer Serumselengehalt von 7,88 µg/dl gemessen. Bei den Sportpferden wurden mittlere Werte von 10,47 µg/dl bei den Vollblütern ermittelt und Werte von 14,34 µg/dl bei den Warmblütern.

In der Studie von SHELOW et al. (1985) wurden 20 Wallache in vier Gruppen aufgeteilt und über einen Zeitraum von 12 Wochen mit verschiedenen Selenmengen gefüttert. Bei höheren Selengaben ist auch ein Anstieg im Plasmaselenpiegel zu verzeichnen. Bei der Gruppe, die 0,16 mg Selen/kg Futtertrockenmasse erhielt und bei der Gruppe mit 0,26 mg Selen/kg Futtertrockenmasse wurde kein signifikanter Unterschied in der Plasmaselenkonzentration festgestellt.

PODOLL et al. (1992) untersuchten die Serumselenwerte nach der Aufnahme von zwei verschiedenen Selenverbindungen. Den Pferden wurden 0,3 mg Selen/kg Futtertrockenmasse in Form von Natriumselenat beziehungsweise Natriumselenit verabreicht. Im Serum wurden nach 56 Tagen 18 bzw. 18,2 µg Selen/dl gemessen. Die Art der Selenverbindung hatte keinen Einfluss auf den Selenpiegel im Serum.

Die Studie von RICHARDSON et al. (2006) untersuchte die Effekte einer Selensupplementierung auf 18 Monate alte Quarter Horses. Eine Gruppe erhielt eine Ration ohne zusätzliche Selensupplementierung. Der Selengehalt lag hier bei 0,15 mg/kg TM. Der gemessene mittlere Selengehalt im Plasma lag in dieser Gruppe bei 9,6 µg/dl. Die Pferde der beiden anderen Gruppen erhielten zusätzlich zu dieser Ration noch eine Selenzulage in Form von Natriumselenat (0,41 mg/kg TM) bzw. Zink-L-Selenomethionin (0,46 mg/kg TM). Der Plasmaselenpiegel war bei einer zusätzlichen Selensupplementierung höher. Von beiden Versuchsgruppen wurde bei der Supplementierung mit Zink-L-Selenomethionin ein höherer Plasmaselenpiegel (16,9 µg/dl) ermittelt, als bei der Supplementierung mit Natriumselenat.

Die Feldstudie von WICHERT et al. (2002) untersuchte bei 106 Pferden unterschiedlicher Rassen und unterschiedlichen Alters die Selenaufnahme und den Plasmaselenpiegel. Bei 52 % der Pferde betrug die tägliche Selenaufnahme weniger als 50 % der Fütterungsempfehlung der GfE (1994). 25 % der Pferde erhielten Selengaben oberhalb der Bedarfsempfehlung. Bei 25 % der Pferde bewegte sich die Plasmaselenkonzentration unter 5 µg/dl. Der größte Teil der Pferde wies Werte zwischen 5 und 10 µg/dl auf (46%). Die Referenzwerte im Plasma liegen bei 10-25 µg/dl. 29% der Pferde wiesen Plasmaselenkonzentrationen auf, die in diesem Bereich lagen. Kein Pferd hatte höhere Plasmaselenkonzentrationen. Angaben zu einzelnen Tieren wurden in der Studie nicht gemacht.



### 4.3. Selenaufnahme und Glutathionperoxidase-Aktivität beim Pferd

In Tabelle 8 werden Studien zusammengefasst, die sich mit der Selenaufnahme und der Glutathionperoxidase-Aktivität der Pferde befassen.

Tabelle 8: Selenaufnahme und Glutathionperoxidase-Aktivität beim Pferd

Tiere, Anzahl	Alter	Spurenelement	Zufuhr (pro Tag)	Zeitraum	Messmedium	Wert	Autor
5, Quarter Horses, Vollblüter		Selen	0,06mg/kgTM	12 Wochen	Plasma GSHP-x	0,66-0,72 U/ml	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,11mg/kgTM	12 Wochen	Plasma GSHP-x	0,7-0,78 U/ml	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,16mg/kgTM	12 Wochen	Plasma GSHP-x	0,68-0,79 U/ml	Shellow et al. (1985)
		Selen	0,26mg/kgTM	12 Wochen	Plasma GSHP-x	0,73-0,76 U/ml	Shellow et al. (1985)
6, Araber		Selen (Na-Selenat)	0,3mg/kgTM	56 Tage	Serum GSHP-x	0,8 U/ml	Podoll et al. (1992)
6, Araber		Selen (NaSeO <sub>3</sub> )	0,3mg/kgTM	56 Tage	Serum GSHP-x	0,72 U/ml	Podoll et al. (1992)
6 Quarter Horse	1,5 jährig	Selen	0,15mg/kgTM	56 Tage	Plasma GSHP-x	11,8 U/mg Protein	Richardson et al. (2006)
6 Quarter Horse	1,5 jährig	Selen (NaSeO <sub>3</sub> )	0,15mg/kgTM + 0,41mg/kg TM aus NaSeO <sub>3</sub>	56 Tage	Plasma GSHP-x	12,3 U/mg Protein	Richardson et al. (2006)
6 Quarter Horse	1,5 jährig	Selen (zink-l-seleno-methionin)	0,15mg/kgTM + 0,46mg/kg TM aus org. Selenverbindung	56 Tage	Plasma GSHP-x	10 U/mg Protein	Richardson et al. (2006)

SHELLOW et al. (1985) überprüften die Glutathionperoxidaseaktivität bei 20 Quarter Horse- und Vollblutwallachen. Es erfolgte die Einteilung in vier Gruppen und die Gabe von vier verschiedenen Selenmengen in der Ration. Obwohl die aufgenommenen Selenmengen in einer Spanne von 0,06-0,26 mg/kg TM lagen, konnte bei der Glutathionperoxidaseaktivität kein Unterschied in dieser Größenordnung festgestellt werden. Die aufgenommene Selenmenge hatte in dieser Studie keinen Einfluss auf die Aktivität der Glutathionperoxidase.

PODOLL et al. (1992) haben in ihrer Studie den Einfluss verschiedener Selenquellen auf die Aktivität der Glutathionperoxidase untersucht. Einer Gruppe von Pferden wurden 0,3 mg Se/kg Futtertrockenmasse in Form von Natriumselenat verabreicht. Einer weiteren 0,3 mg Se/kg Futtertrockenmasse in Form von Natriumselenit. Während der Versuchszeit von

56 Tagen schwankte die Aktivität der Glutathionperoxidase. Ein Effekt der unterschiedlichen Selenquellen auf die Aktivität der Glutathionperoxidase konnte nicht nachgewiesen werden. Bei der Gabe von Natriumselenat wurden Mittelwerte von 0,8 U/ml ermittelt und bei der Gabe von Natriumselenit Werte von 0,72 U/ml.

RICHARDSON et al. (2006) verglichen drei Gruppen von Pferden bei unterschiedlicher Selengabe. Eine Gruppe ohne Selensupplementierung mit einem Selengehalt in der Ration von 0,15 mg/kg Futtertrockensubstanz, eine Gruppe mit einer zusätzlichen Selensupplementierung von 0,41 mg/kg Futtertrockensubstanz in Form von Natriumselenit und eine Gruppe mit einer zusätzlichen Selensupplementierung von 0,46 mg/kg Futtertrockensubstanz in Form von Zink-L-Selenomethionin. Die Glutathionperoxidaseaktivität im Plasma stieg bei allen Gruppen im Verlauf der Studie an. Eine Verbindung zwischen Selenaufnahme und Selenquelle mit der Glutathionperoxidaseaktivität konnte nicht nachgewiesen werden. Ebenso war kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Plasmaselenpiegels und der Glutathionperoxidaseaktivität zu erkennen. Der Plasmaselenpiegel war bei der Gabe von Zink-L-Selenomethionin am Höchsten. Die Glutathionperoxidaseaktivität lag unter der der anderen Gruppen.

#### 4.4. Referenzwerte der diagnostischen Parameter zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung des Pferdes

Die Nutzung einer Blutuntersuchung kann dazu dienen, den Versorgungsstatus eines Tieres mit Spurenelementen zu ermitteln und aufgrund dieser Ergebnisse eine Ration zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Tabelle 9: Referenzwerte zur Beurteilung der Kupfer- und Selenversorgung des Pferdes						
Nährstoff	Untersuchungssubstrat	Altersgruppe	Dimension	Spanne einer ausreichenden Versorgung		
Kupfer	Plasma/Serum	Fohlen				
		>20Tage	µg/dl	< 150		
	Leber	adult	µg/dl	50-150	120-133	
		Neugeborene	µg/gTS	< 400		
Selen	Plasma/Serum	adult	µg/gTS	15-150		
		Fohlen	µg/dl	7-9		
	Leber	adult	µg/dl	10-25	2,8-13,3	
		Neugeborene	µg/gTS	0,5-40		
				nach Meyer und Coenen 2002	nach Dietz und Huskamp 2006	

In Tabelle 9 werden Referenzwerte für Spurenelementgehalte in Blut und Lebergewebe angegeben. Für die Gehalte im Plasma bzw. Serum werden von den beiden Autoren unterschiedliche Angaben gemacht. Bei Kupfer ist die Spanne, die von DIETZ und HUSKAMP (2006) angegeben wird enger, sie liegt innerhalb der Spanne, die MEYER und COENEN (2002) angeben. Für die Selengehalte im Plasma bzw. Serum geben DIETZ und HUSKAMP (2006) einen Referenzbereich mit sehr viel geringeren Werten (2,8-13,3 µg/dl) an als MEYER und COENEN (2002) (10-25 µg/dl).

## **5. Diskussion**

Die empfohlene tägliche Aufnahmemenge von Kupfer liegt bei 7-12 mg/kg Futtertrockenmasse bzw. 0,15 mg/kg Lebendmasse (MEYER und COENEN 2002). Für die Referenzwerte im Plasma bzw. Serum gibt es unterschiedliche Angaben. MEYER und COENEN (2002) geben 50-150 µg/dl bei erwachsenen Tieren an und DIETZ und HUSKAMP (2006) geben 120-133 µg/dl an. Aus den vorliegenden Studien ist erkennbar, dass der Kupfergehalt im Plasma bzw. im Serum nicht direkt von der Höhe der Kupferaufnahme beeinflusst wird. Der Organismus regelt die Kupferaufnahme aus dem Futter über die Resorptionsrate. In der Studie von OTT et al. (1995) wurden Jährlinge mit annähernd der doppelten Menge Kupfer gefüttert im Vergleich zum in der Literatur angegebenen Bedarf. Die Kupfergehalte im Serum waren aber nur leicht erhöht im Vergleich zu einer Gruppe, die nur mit einem Drittel dieser Menge gefüttert wurde und somit nicht bedarfsdeckend. Bei dieser Gruppe lagen die Kupfergehalte im Serum trotzdem im oberen Bereich der Referenzwerte. Einen weiteren Beleg hierfür liefern SMITH et al. (1975). Ponys, die mit 8 mg/kg Futtertrockensubstanz versorgt wurden und solche, die mit 800 mg/kg Futtertrockensubstanz versorgt wurden, wiesen einen Plasmakupfergehalt von 96 bzw. 93 µg/dl auf.

Eine Fütterung oberhalb oder unterhalb des Bedarfs führt somit nicht zwangsläufig zu einem Anstieg oder Abfall der Kupferwerte im Plasma bzw. Serum. Die bedarfsdeckende Fütterung zeigte in den vorliegenden Studien einen Kupferwert im Plasma bzw. Serum, der innerhalb des Referenzbereiches lag. Diese Ergebnisse belegen, dass die Homöostase bei Kupfer gut ausgeprägt ist. Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass der Kupfergehalt im Plasma bzw. Serum als Indikator wenig aussagekräftig ist. Selbst große Unterschiede in der Kupferaufnahme schlugen sich hier nicht nieder.

Eine Ausnahme machte der Versuch von OKUMURA et al. (1998). Hier wurden Kupferwerte im Serum bei Fohlen bestimmt. Nach der Geburt wurde eine Supplementierung von Kupfer vorgenommen, die den erst sehr niedrigen Kupfergehalt (66 µg/dl) im Serum innerhalb des ersten Lebensmonats stark ansteigen ließ. Im Verlauf der ersten Lebensmonate normalisierte sich der Wert wieder.

Rassespezifische Unterschiede wurden in den Studien von CYMBALUK et al. (1986) festgestellt. Kaltblüter zeigten eine um 15-40% höhere Resorptionsrate als Warmblüter und Vollblüter. In beiden Studien von CYMBALUK et al. (1986) wurden jedoch keine Werte von Tieren verschiedener Rassen ermittelt, die die gleiche Menge Kupfer pro Tag bekamen. Dieser Umstand beeinträchtigt die Aussagekraft dieser Ergebnisse.

Für das Spurenelement Selen wird die homöostatische Kontrolle als gering (JEROCH et al. 2008) bzw. als nicht vorhanden (WOLFFRAM 2000) angegeben. Eine geringe oder sehr hohe Versorgung mit Selen müsste demnach im Plasma bzw. Serum nachweisbar sein. Die Bedarfswerte für Selen liegen bei 0,1-0,12 mg/kg Futtertrockenmasse (MEYER und COENEN 2002, NRC 2007).

Die Referenzwerte für den Plasmaselen Spiegel liegen bei Fohlen bei 7-9 µg/dl und bei erwachsenen Pferden bei 10-25 µg/dl (MEYER 1995). DIETZ und HUSKAMP (2006) geben niedrigere Werte an (2,8-13,3 µg/dl).

In den ausgewerteten Studien sind diese Werte nachvollziehbar. Bei einer Fütterung der Pferde mit Rationen, die den Bedarf decken sollen, bewegte sich der Plasma- bzw. Serumselen Spiegel innerhalb des Referenzbereiches.

Bei einer Fütterung der doppelten bis dreifachen Menge des Bedarfs bewegten sich die Plasma- bzw. Serumselenwerte weiterhin innerhalb des Referenzbereiches.

Ein Einfluss der Selenquelle auf die Verfügbarkeit des Selens konnte nicht deutlich gemacht werden. In der Studie von Richardson et al. (2006) wurde bei der Gabe von Zink-L-Selenomethionin (0,46 mg/kg TM; 16,9 µg Selen/dl Plasma) zwar eine höhere Plasmaselenkonzentration ermittelt als bei der Gabe von Natriumselenat (0,41 mg/kg TM; 15,1 µg Selen/dl Plasma), jedoch war dort der Selengehalt in der täglichen Futterration auch höher. Es ist also nicht klar, auf welchen dieser beiden Umstände der höhere Wert zurückzuführen ist. In allen ausgewerteten Studien stieg der Plasma- bzw. Serumselen Spiegel bei steigender Aufnahme von Selen an. Um die Qualität des Plasma- bzw. Serumselen Spiegels als Indikator für eine bedarfsdeckende Selenversorgung genauer zu bestimmen, fehlen allerdings Blutwerte für eine Selenversorgung, die mehr oder

weniger weit unterhalb der Versorgungsempfehlung liegt. Bei einer Selenversorgung, die oberhalb des vom NRC (2007) veröffentlichten oberen Grenzwertes von 0,5 mg/kg Futtertrockensubstanz liegt, ermittelten RICHARDSON et al. (2006) einen Plasmaselengehalt zwischen 15,1-16,9 µg/dl. Dieser befindet sich innerhalb des Referenzbereiches, der von MEYER und COENEN (2002) publiziert wurde. Auch hier bedarf es weiterer Werte, um festzustellen, ob eine bereits toxisch wirkende Selengabe (>2 mg/kg TM) auch durch entsprechend hohe Selengehalte im Blut sichtbar würde.

Die Untersuchung der Glutathionperoxidaseaktivität führte in allen Studien zu ähnlichen Ergebnissen. Es konnte kein Einfluss der Höhe der Selengabe auf die Aktivität der Glutathionperoxidase festgestellt werden und auch kein Einfluss der Selenquelle. Ein Zusammenhang zwischen dem Plasmaselenspiegel und der Glutathionperoxidaseaktivität konnte nicht festgestellt werden.

Dieser Parameter stellt sich somit nicht als sensitiv dar, als Indikator für eine bedarfsdeckende Selenversorgung herangezogen zu werden. Zum selben Ergebnis kommt MERTZ (1977) in einer Arbeit über Spurenelemente in der Tierernährung.

Die ausgewerteten Studien zeigen, dass sowohl bei Kupfer als auch bei Selen, bei einer bedarfsdeckenden Versorgung die Plasma- bzw. Serumwerte innerhalb der Referenzbereiche lagen. Andersherum kann ausgehend von den Plasma- bzw. Serumwerten, zumindest bei Kupfer, keine Aussage über die Höhe der Bedarfsdeckung gemacht werden.

Ziel muss es also sein, die bedarfsdeckende Ration sicherzustellen. Hierfür stehen Versorgungsempfehlungen und Gehaltswerte der Futtermittel zur Verfügung. Der Unsicherheitsfaktor bei der Verwendung von Tabellenwerten für die Bestimmung der Nährstoffgehalte in den Grundfuttermitteln ist jedoch sehr hoch. Die einzige Möglichkeit, genaue Rationen zu berechnen, ist die vorangehende Analyse der Grundfuttermittel auf ihre Nährstoffgehalte. Erst dann kann ein geeignetes Mischfutter oder Mineralfutter ausgewählt werden, um die Grundfütterration soweit zu ergänzen, dass alle Nährstoffe entsprechend des Bedarfs gefüttert werden.

In der Praxis besteht das Problem, dass der Pferdehalter auf Faustzahlen und die Fütterungsempfehlungen der Hersteller angewiesen ist. Tabellendaten entsprechen, wie oben gezeigt, in den seltensten Fällen der Realität. Es bleibt für den Pferdehalter ungewiss, ob die von ihm verabreichte Ration bedarfsdeckend ist.

Ein in der Praxis oft beobachteter Umstand ist derjenige, dass viele Pferdehalter ein mineralisiertes Mischfutter füttern und ein Mineralfutter zusätzlich. Das kann unter Umständen zu einer starken Überversorgung mit nachteiligen Folgen führen. Einige Mineralfutterdeklarationen weisen darauf hin, dass diese nur in Verbindung mit Grundfutterrationen verwendet werden dürfen, aber dieses ist keine durchgehende Praxis. In der Studie von Wichert et al. (2002) wird gezeigt, dass es in der Praxis große Unterschiede in der Versorgung der Pferde mit Spurenelementen gibt. Es wird deutlich, dass nur ein geringer Prozentsatz der Pferde tatsächlich nach den Bedarfsempfehlungen gefüttert wird. Es wurden in der Studie die minimal und maximal ermittelten Werte der täglichen Aufnahme dargestellt. Beim Kupfer sind Werte von der Hälfte bis zum Siebenfachen des Bedarfs ermittelt worden. Bei Selen reichte die Spanne von einem Zweihundertfünfzigstel bis zum Achtfachen des Bedarfs. Mit Kupfer waren 85% der Pferde überversorgt und mit Selen 25%.

Diese Werte geben einen kleinen Einblick in die vorherrschende Praxis und bestätigen die Komplexität und Schwierigkeit der richtigen Rationszusammenstellung.

## 6. Zusammenfassung

Kupfer und Selen sind essentielle Nahrungsbestandteile, die über vielfältige biologische Funktionen verfügen. Beide sind wichtige Bestandteile von Proteinen und Enzymen im Organismus des Pferdes. Ihr Fehlen äußert sich auf verschiedene Weise. So können z.B. bei Kupfermangel die Skelettentwicklung beim Fohlen und die Pigmentsynthese beeinträchtigt sein. Ein Selenmangel kann unter anderem zu einer Schwächung der Infektionsabwehr, zu Fruchtbarkeitsstörungen oder zu Störungen des Muskelstoffwechsels führen.

Um Aussagen über die Versorgung des Pferdes mit diesen Spurenelementen zu machen, ist es notwendig, genaue Informationen über die tägliche Aufnahme der Spurenelemente zu haben. Außerdem müssen geeignete Indikatoren gefunden werden, die gut messbar sind und die in direkter Beziehung zur Aufnahme stehen. Der Kupferspiegel im Blut und die Glutathionperoxidase-Aktivität erwiesen sich nicht als geeignet. Der Selengehalt im Blut veränderte sich in den einzelnen Studien bei Veränderung der Selengabe. Es wurden in den Studien jedoch keine Angaben darüber gemacht, bei welchen Selengaben die Selengehalte im Plasma bzw. Serum außerhalb des Referenzbereiches liegen. Aufgrund der Toxizität von Selen ist es wichtig zu wissen, wie sich ein sehr hoher Selengehalt in der Ration auf die Plasma- bzw. Serumselenwerte auswirkt.

Es hat sich gezeigt, dass die bedarfsdeckende Rationszusammenstellung in der praktischen Fütterung einigen Problemen unterliegt. Aufgrund der starken lokalen und zeitlichen Schwankungen in den Spurenelementgehalten der Grundfuttermittel führt die Verwendung von Tabellenwerten in den meisten Fällen nicht zur Erstellung bedarfsdeckender Rationen. Bei genauer Analyse der verwendeten Grundfuttermittel können auch Misch- und Mineralfuttermittel gezielt eingesetzt werden. Auf diesem Wege kann die Versorgung des Pferdes mit Kupfer und Selen sichergestellt werden.

## **7. Summary**

Copper and selenium are essential nutrients. They have several functions in the organism. They are components of some important proteins and enzymes. Copper deficiency is reflected in problems with skeletal development and in problems with melanin synthesis. Selenium deficiency become manifest in weak immune defence and in disorder of fertility and muscle metabolism.

To make a statement about the supply of these trace elements it is necessary to have information about daily intake of trace elements. Suitable indicators are difficult to define. They must be easy to measure and correlate with intake of copper and selenium. Serum and plasma copper concentration and the glutathione peroxidase activity are not sensitive indicators. Serum and plasma selenium concentration change with changing selenium intake. Due to the toxicity of selenium there is more information necessary on plasma or serum selenium concentrations for high intakes of selenium and there is a need for better indication.

It is shown that it is difficult to prepare adequate rations because of great variations in trace element concentrations of feeding stuffs. Trace element concentrations in feeding stuff should be determined to make accurate calculations and to choose the right supplementation. In this way the trace element intake of horses could be significantly improved.



## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlungen für die Spurenelementversorgung von Pferden.....	6
Tabelle 2: Spurenelementgehalte verschiedener Futtermittel.....	7
Tabelle 3: Gehalte an Spurenelementen in Silagen und Heu in mg/kg TS.....	7
Tabelle 4: Spurenelemente in Mischfuttermitteln in mg/kg.....	9
Tabelle 5: Spurenelemente in Mineralfuttermitteln in mg/kg.....	9
Tabelle 6: Kupferaufnahme und Kupfergehalt in Blut und verschiedenen Geweben.....	12
Tabelle 7: Selenaufnahme und Selengehalt im Blut von Pferden.....	15
Tabelle 8: Selenaufnahme und Glutathionperoxidase-Aktivität beim Pferd.....	17
Tabelle 9: Referenzwerte zur Beurteilung der Kupfer- und Selenversorgung beim Pferd.....	18

## 9. Literaturverzeichnis

- Beckett, G.J., Arthur, J.R. (2005): Selenium and endocrine systems. *Journal of Endocrinology* **184**, 455-465
- Braun, A. (2007): Nährstoffversorgung von extensiv gehaltenen Mutterkühen unter den Bedingungen der Ganzjahresweidehaltung auf ausgewählten Standorten im Land Brandenburg. Dissertation FU Berlin
- Cymbaluk, N.F., Bristol, F.M., Christensen, D.A. (1986): Influence of age and breed of equid on plasma copper and zinc concentrations. *American Journal of Veterinary Research* **47**, 192-195
- Cymbaluk, N.F., Christensen, D.A. (1986): Copper, zinc and manganese concentrations in equine liver, kidney and plasma. *Canadian Veterinary Journal* **27**, 206-210
- Dietz, O., Huskamp, B. (2006): *Handbuch Pferdepraxis*. 3. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart, S. 3
- Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (2008): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Mertz, W. (1977): Criteria for adequacy and safety of trace elements in animal nutrition. *Journal of Animal Science* **44**, 469-474
- Meyer, H. (1994): Kupferstoffwechsel und Kupferbedarf beim Pferd. *Übersichten Tierernährung* **22**, 363-394
- Meyer, H., Coenen, M. (2002): *Pferdefütterung*. 4. Auflage, Blachwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien
- National Research Council (2007): *Nutrient requirements of horses*. 6. Auflage, National Academies Press, Washington D.C.
- Okumura, M., Asano, M., Tagami, M., Tsukiyama, K., Fujinaga, T. (1998): Serum copper and ceruloplasmin activity at the early growing stage in foals. *Canadian Journal of Veterinary Research* **62**, 122-126
- Ott, E.A., Asquith, R.L. (1995): Trace mineral supplementation of yearling horses. *Journal of Animal Science* **73**, 466-471
- Podoll, K.L., Bernard, J.B., Ullrey, D.E., Debar, S.R., Ku, P.K., Magee, W.T. (1992): Dietary selenate versus selenite for cattle, sheep and horses. *Journal of Animal Science* **70**, 1965-1970

- Richardson, S.M., Siciliano, P.D., Engle, T.E., Larson, C.K., Ward, T.L. (2006): Effect of selenium supplementation and source on the selenium status of horses. *Journal of Animal Science* **84**, 1742-1748
- Shellow, J.S., Jackson, S.G., Baker, J.P., Cantor, A.H. (1985): The influence of dietary selenium levels on blood levels of selenium and glutathione peroxidase activity in the horse. *Journal of Animal Science* **61/3**, 590-594
- Smith, J.D., Jordan, R.M., Nelson, M.L. (1975): Tolerance of ponies to high levels of dietary copper. *Journal of Animal Science* **41/6**, 1645-1649
- Stowe, H.D. (1967): Serum selenium and related parameters of naturally and experimentally fed horses. *Journal of Nutrition* **93**, 60-64
- Teroerde, H. (1998): Untersuchungen zur Nähr- und Mineralstoffversorgung von Mutterkuhherden auf ausgesuchten Standorten in Mecklenburg-Vorpommern. Dissertation, FU Berlin
- Wichert, B., Frank, T., Kienzle, E. (2002): Zinc, copper and selenium intake and status of horses in Bavaria. *Journal of Nutrition* **132**, 1776S-1777S
- Wolffram, S. (2000): Der Stoffwechsel ernährungsphysiologisch relevanter anorganischer und organischer Selenverbindungen. *Übersichten Tierernährung* **28**, 65-94
- Zentek, J. (1996): Neues zur Mineralstoffversorgung von Rindern. *Übersichten Tierernährung* **24**, 76-82