

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 09 "Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement"

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

- Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau -

- Bachelorarbeit -

Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf einer Rinderweide

gestellt von: PD Dr. Harald Laser (Erstbetreuer)
Dr. Wilhelm Opitz von Boberfeld (Zweitbetreuer)
eingereicht von: Björn Tönepöhl

Gießen im Oktober 2007

Inhalt

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Selen	2
2.2 Orientierungswerte	2
2.3 Status quo der Se-Versorgung.....	3
2.4 Einflussfaktoren auf die Se-Aufnahme der Pflanze	5
2.5 Se-Mobilität im Boden	6
2.6 Se-Formen	7
2.7 Wechselwirkungen mit anderen Elementen	8
2.8 Eisen	8
2.9 Kupfer.....	9
2.10 Zink	9
2.11 Mangan.....	10
2.12 Arbeitshypothese	10
3 Material und Methoden	12
3.1 Standort	12
3.2 Probenahme	13
3.3 Analysemethode	13
3.4 Dino Selenium ®.....	13
3.5 Auswertung	15
4 Ergebnisse	16
4.1 Se-Konzentration.....	16
4.2 Cu-Konzentration	17
4.3 Mn-Konzentration	18
4.4 Fe-Konzentration.....	19
4.5 Zn-Konzentration	20
5 Diskussion	22
5.1 Se-Versorgung von Rindern.....	22
5.2 Einflussfaktoren	23
5.3 Verdünnungseffekt	23
5.4 Wechselwirkungen mit Cu, Mn, Fe und Zn	26

6 Zusammenfassung.....	29
7 Literaturverzeichnis	31
8 Anhang.....	36

1 Einleitung

Mineralstoffe spielen bei der Fütterung von Rindern eine wichtige Rolle, um deren Leistungspotential auszuschöpfen. Doch der Begriff Mineralstoffe umfasst eine Vielzahl unterschiedlichster Elemente. Neben Makronährstoffen wie Phosphor und Kalium sind auch Spurenelemente, wie Kupfer und Selen, von großer Bedeutung bei der Tierernährung. In dieser Bachelorarbeit wird vorwiegend das Spurenelement Selen behandelt.

Böden in Deutschland weisen allgemein eine Unterversorgung mit Se auf (HARTFIEL & BAHNERS 1987). Anders als für Tiere (SCHWARZ & FOLTZ 1957) ist Se für Pflanzen kein essentielles Spurenelement (SHRIFT 1969, TERRY et al. 2000) und wird somit von der Pflanze nicht in ausreichenden Mengen für die Ernährung des Wiederkäuers aufgenommen. Auf Dauergrünland stellt diese Tatsache besonders bei extensiven Weidesystemen ein Problem dar, weil keine gezielte Supplementierung möglich ist. Die Folgen eines Se-Mangels bei Wiederkäuern sind diverse Mangelkrankheiten, welche zwangsläufig zu geringeren Leistungen und Ausfällen führen (LASER 2004). Eine Möglichkeit der Se-Versorgung ist die Düngung des Grünlandes mit Se-haltigen Düngemitteln und somit die Steigerung des Se-Gehaltes im Aufwuchs (BOEHNKE et al. 1997, LORENZ & BOEHNKE 1999). Ob ein derartiger Effekt mit dem Düngemittel Dino Selenium®, einem granulierten Kalkdünger mit Selen, erzielt werden kann und inwieweit sich dieser Mineraldünger auf die Spurenelemente Kupfer, Mangan, Eisen und Zink auswirkt, ist Thema dieser Bachelorarbeit.

2 Literaturübersicht

2.1 Selen

SCHWARZ & FOLTZ haben 1957 entdeckt, dass Se für Tiere ein essentielles Element ist und dementsprechend im Organismus wichtige Funktionen einnimmt. Die höchsten Se-Gehalte sind in Leber und Nieren zu finden. Wenn aber eine toxische Zufuhr vorliegt, sind auch hohe Konzentrationen in Haaren und Klauen zu ermitteln. Ein großer Teil Se wird in Proteine eingebaut. Bei den schwefelhaltigen Aminosäuren nimmt Se die Position des Schwefels ein. Se wird als Bestandteil von Dejodasen gebraucht, die das Schilddrüsenhormon Trijodthyronin erzeugen. Außerdem wird es für das Enzym Glutathion-Peroxidase benötigt. Dieses Selenenzym schützt die Zelle vor peroxidativer Schädigung und unterstützt somit die antioxidative Aufgabe von Vitamin E. Aufgrund dieser Tatsache besteht eine enge Beziehung zwischen Se- und Vitamin E (KIRCHGEßNER 2004). Mangelkrankheiten beim Wiederkäuer, die mit einer Se-Unterversorgung in Verbindung gebracht werden, sind vor allem Immunschwäche, Fruchtbarkeitsstörungen, Komplikationen beim Kalben, allgemein lebensschwache Jungtiere und Muskeldystrophien, wie die Weißmuskelkrankheit (BOSTEDT & Schramel 1981, GIESSEL-NIELSEN et al. 1984, BOSTEDT et al. 1987, KLAWONN et al. 1996, SCHRAUZER 1998).

2.2 Orientierungswerte

In Tab. 1 sind Orientierungswerte für die Versorgung von Rindern mit Spurenelementen nach der GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE, 2001) und dem NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC, 2000) zusammengefasst.

Erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass der Bereich zwischen Defizit und Toxizität bei Se sehr gering ist und die maximal tolerierbare Se-Konzentration für ausgewachsene Rinder 2000 mg Se/ kg TM beträgt (ANONYMUS 1996).

Tab. 1: Empfehlungen zur Spurenelementversorgung in mg/kg TM

Spurenelement	Aufzuchtrinder (GfE 2001)	Milchkühe (GfE 2001)	Mastrinder (NRC 2000)	Mutterkühe (NRC 2000)
Selen	0,15	0,2	0,1	0,1
Eisen	50	50	50	50
Zink	40-50	50	30	30
Mangan	40-50	50	30	20
Kupfer	10	10	10	10

2.3 Status quo der Se-Versorgung

Die Se-Konzentrationen in den Böden Europas sind aufgrund von Bodenmaterial, klimatischen Bedingungen und Vegetation sehr unterschiedlich (GISSEL-NIELSEN et al. 1984). HARTFIEL & BAHNERS (1987) haben in ihren Untersuchungen den Se-Gehalt von Böden in Deutschland als durchschnittlich zu niedrig eingestuft. In den Böden von Dauergrünland ist beispielsweise ein Mittelwert von 0,16 mg Se/kg TM Boden analysiert worden. Der Wert für Ackerland war mit 0,12 mg Se/kg TM Boden noch geringer (HARTFIEL & BAHNERS 1987). Ähnlich niedrige Se-Konzentrationen sind in Frankreich, Schweiz und den Niederlanden vorhanden (GISSEL-NIELSEN et al. 1984). Dementsprechende Daten sind aus Grünlandaufwüchsen ermittelt worden. Die Gehalte variieren zwischen 0,04 mg bis 0,05 mg Se/kg TM (HARTFIEL & BAHNERS 1987). Diese Werte unterschreiten die in Tab.1 geforderten Se-Konzentrationen von 0,1 mg/kg TM deutlich. Dennoch gibt es oft keine Korrelation zwischen Se-Gehalt im Boden und Se-Gehalt in der Pflanze. Denn auch auf relativ Se-reichen Böden gewachsene Pflanzen enthalten bei eingeschränkter Verfügbarkeit zu wenig Se (GISSEL-NIELSEN et al. 1984, BAHNERS 1987, GISSEL-NIELSEN 1993). Nach Untersuchungen von GISSEL-NIELSEN (1975) schwankt die Se-Konzentration im Grünlandaufwuchs im Jahresverlauf sehr stark. In Frühjahr und Sommer sind niedrige Se-Konzentrationen zu erwarten, im Herbst steigen die Se-Konzentrationen wieder an. Dies ist hauptsächlich durch den Verdünnungseffekt zu erklären. Hohe TM-Zuwächse zum Vegetationsbeginn führen zu sinkenden Se-Konzentrationen. Zum Jahresende sinken die Zuwachsraten und die Se-Konzentration steigt an. Ein hoher TM-Zuwachs wird auch durch eine NPK-Düngung erreicht, der die Se-Konzentration abnehmen lässt (GISSEL-NIELSEN 1971, GISSEL-NIELSEN et al. 1984).

Mangelsituationen treten vor allem bei Ganztagsweidehaltung auf. Die Tiere nehmen nur das im Aufwuchs vorhandene Se auf. Eine gezielte Zufütterung, die den Se-Bedarf aller Tiere optimal abdecken würde, ist mit Lecksteinen nicht erreichbar. Bessere Möglichkeiten zur Versorgung bieten entweder eine regelmäßige Se-Injektion oder die Düngung der Flächen mit Se-haltigen Düngemitteln. Zur Verbesserung der Se-Konzentration im Pflanzenaufwuchs können sowohl Flüssigdünger als auch Mehrnährstoffdünger eingesetzt werden (BOEHNKE et al. 1997, LORENZ & BOEHNKE 1999). Der regelmäßige Entzug von Se ist in der Vergangenheit nicht ausgeglichen worden (GISSEL-NIELSEN et al. 1984). Eine Ausnahme sind die Se-Emissionen des Menschen, vor allem durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (HAYGARTH et al. 1993). Doch diese Se-Deposition ist erstens seit Jahren rückläufig (ANONYMUS 1998) und zweitens nicht ausreichend, um den Entzug abzudecken. Somit ist eine Mangelsituation herbeigeführt worden. Doch dieses Defizit kann schon durch eine Menge von 4-10 g Se/ha in Form von Selenat ausgeglichen werden (GUPTA 1995, LORENZ & BOEHNKE 1999, OPITZ v. BOBERFELD 2002). Fraglich ist aber, ob dies bei Standorten, die viel Se im Boden fixieren können, ausreicht (LASER 2005). Nach LASER (2005) beseitigt eine Applikation mit 4 g Se/ha als Natriumselenatlösung eine Mangelsituation, jedoch nur in den ersten Aufwüchsen nach der Applikation. Mit Se-Gaben von ≥ 10 g Se/ha für einen Aufwuchs wird der Zielbereich von 100-200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM oft deutlich überschritten (LASER 2005). Wenn solch hohe Se-Gaben verabreicht werden, sollte ein Depotdünger verwendet werden, der für mehr als einen Aufwuchs ausreichend Se zur Verfügung stellt. Aufgrund der geringen Mengen, die notwendig sind, die Se-Konzentrationen auf das geforderte Maß zu erhöhen, ist in jedem Fall für das Se eine geeignete Trägersubstanz erforderlich, um eine gleichmäßige Verteilung auf die Fläche zu erreichen. Im Fall von Dino Selenium® dient als Trägersubstanz ein Kalkgranulat (ANONYMUS 2007), durch das eine exakte Dosierbarkeit erreicht werden soll. Bei einer regelmäßigen Se-Gabe muss der Se-Gehalt des Pflanzenaufwuchses durch Analysen kontrolliert werden, damit kein für das Tier toxischer Bereich herbeigeführt wird (YLÄRANTA 1993, ARO et al. 1995).

2.4 Einflussfaktoren auf die Se-Aufnahme der Pflanze

Der Erfolg einer Se-Düngung ist noch von anderen Faktoren, die die Se-Aufnahme und -Umsetzung in der Pflanze beeinflussen, abhängig. GISSEL-NIELSEN (1984) zählt dazu Pflanzenart, Bodenart, Klimabedingungen und Beschaffenheit der verfügbaren Se-Verbindungen. Da Se für die Pflanzen nicht essentiell ist (SHRIFT 1969, TERRY et al. 2000), ist zu erwarten, dass bei niedrigen Se-Konzentrationen im Boden kaum nachweisbare Unterschiede bezüglich der Se-Konzentration zwischen den einzelnen Gräser- und Kräuterarten bestehen (GISSEL-NIELSEN 1984). Ausnahmen sind neben den Se-Akkumulatorpflanzen (z.B. *Asrtragalus*-Arten) auch die Kreuzblütler (*Cruciferae*). Proben, die viele Arten von Kreuzblütlern enthalten, weisen einen zwei- bis fünfmal höheren Se-Gehalt auf (BISBJERG 1972). Ein Grund dafür könnte der hohe Schwefelbedarf dieser Art sein. Schwefel wird durch die Sulfatpermease aufgenommen. Aufgrund der ähnlichen chemischen Struktur von S und Se wird Se passiv mitaufgenommen. Bei niedrigen S-Gehalt im Boden und gleichzeitig niedriger S-Konzentration in der Pflanze versucht diese mehr S über die Wurzeln aufzunehmen. Dadurch erhöht sich die Se-Konzentration in der Pflanze erheblich (TERRY et al. 2000). Die Beziehung zwischen S und Se wird unter bestimmten Bedingungen antagonistisch. MURPHY & QUIRKE (1997) entdecken, dass bei S-Düngung und hohem Se-Gehalt in der Pflanze S Se verdrängt. Auf Grünland ist daher ein Antagonismus wahrscheinlich auszuschließen (LASER 2004). Weit größere Bedeutung für die Se-Konzentration hat die Bodenart. Hier bestehen komplexe Zusammenhänge zwischen Se-Gehalt im Boden und Aufnahme durch die Pflanze. Wichtige Faktoren sind Bindungsvermögen, pH-Wert und mikrobiologische Aktivität (GISSEL-NIELSEN 1984). Se wird im Boden durch Ton- und Lehmminerale, Eisenoxide und im großen Maße in organischen Verbindungen gespeichert. Organische Substanz besitzt ein höheres Se-Bindungsvermögen als Minerale und die Speicherung hat eine andere Beschaffenheit (GISSEL-NIELSEN 1975). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen BRUß et al. (1997) mit der Aussage, dass der Kohlenstoffgehalt im Boden positiv mit dem Se-Gehalt korreliert. Se bildet Komplexe mit organischen Verbindungen und befindet sich in Aminosäuren und Proteinen von Pflanzenteilen und Mikroorganismen (CARY et al. 1967, HAMDY & GISSEL-NIELSEN 1976b). In enger Verbindung zum Bindungsvermögen steht der pH-Wert. Der pH-Wert beeinflusst vor allem das Vorhandensein an pflanzenverfügbaren Se.

CARY & ALLAWAY (1969) stellen bei Versuchen mit Luzerne (*Medicago sativa* L.) fest, dass die Pflanzen bei hohen Boden-pH-Werten mehr Se enthalten. Dies beruht darauf, dass mit steigendem pH-Wert das Bindungsvermögen von Tonmineralen abnimmt und somit mehr Se zur Aufnahme verfügbar ist. Dennoch führt eine Anhebung des pH-Wertes durch Calcium-Gaben in vielen Fällen nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Se-Konzentration im Aufwuchs (LASER 2004). Die mikrobielle Aktivität beeinflusst die Se-Verfügbarkeit auf verschiedene Weise. Mikroorganismen absorbieren Se und fixieren es in organischen Substanzen. Außerdem sind sie in der Lage stark gebundenes Se zu lösen und in pflanzenverfügbares Se oder organische Se-Verbindungen umzuwandeln. Allerdings können Mikroorganismen auch gasförmige, flüchtige Se-Verbindungen produzieren (FRANCIS et al. 1974). Ein Experiment von HAMDY & GISSEL-NIELSEN (1976a) zeigt aber, dass die Verflüchtigungen im Vergleich zum Gesamt-Se gering sind. Bei der Se-Versorgung des Bodens nimmt das Ausgangsgestein eine zentrale Rolle ein, denn die Gesteinsverwitterung ist eine bedeutende Se-Quelle (MC NEAL & BALISTRERI 1989) und nach GIRLING (1984) eine zentrale Einflussgröße für die Se-Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden. In Abb.1 werden Tendenzen bezüglich der Se-Konzentration von Gesteinen nach MC NEAL & BALISTRERI 1989, WHITE & ZASOSKI 1999, WHITEHEAD 2000 dargestellt.



Abb. 1: Se-Konzentrationen verschiedener Gesteinstypen

2.5 Se-Mobilität im Boden

Die Se-Auswaschung aus dem Boden ist neben der Menge und Kontinuität des Niederschlags (NEAL & SPOSITO 1991) vor allem von den Se-Formen im Boden abhängig. Selenat kann von den Pflanzen am besten aufgenommen werden, weil es

sich in Lösung befindet (GISSEL-NIELSEN et al. 1984, BAHNERS 1987, STÜNZI 1988, GISSEL-NIELSEN 1993). Gleichzeitig ist diese Form aber auch am stärksten auswaschungsgefährdet. Das im Boden stark gebundene Selenit wird dagegen nur in geringen Mengen ausgewaschen (YLÄRANTA 1982, FIO et al. 1991). Tendenziell ist in humiden Regionen ein Se-Defizit und in ariden Gebieten eine Se-Anreicherung und teilweise eine Se-Toxizität zu beobachten (GISSEL-NIELSEN et al. 1984). Versuche von YLÄRANTA (1982) zeigen, dass die Se-Verlagerung nur in der durchwurzeltten Bodenschicht von 0-15 cm stattfindet. Mobile Se-Formen werden schnell in weniger mobile Formen umgewandelt, so dass Se aus der durchwurzeltten Bodenschicht vermutlich nur in geringen Mengen ausgewaschen wird (HAMDY & GISSEL-NIELSEN 1977, YLÄRANTA 1982).

2.6 Se-Formen

Se liegt im Boden in sehr unterschiedlichen Formen vor. Dazu zählen unter anderem Selenid, Selenit, Selenat, elementares Selen und organische Verbindungen, wie Selenomethionin und andere, meist sehr komplexe Verbindungen (MIKKELSEN et al. 1989, SEBY et al. 1997). Die Se-Form hat eine große Bedeutung für die Aufnahme durch die Wurzel und für die Festlegung im Boden. Im Hinblick auf die Düngung sind Selenit und Selenat besonders bedeutsam (YLÄRANTA 1983a, b 1984, VAN DOORST & PETERSON 1984, BARROW & WHELAN 1989a, FIO et al. 1991, GISSEL-NIELSEN 1993, BRUß et al. 1997). Selenit wird stark von den Bodenbestandteilen sorbiert (BARROW & WHELAN 1989b) und ist somit kurzfristig für die Pflanze nicht verfügbar. Anders ist dies bei Selenat. Dieses wird nur schwach sorbiert und besitzt im Boden eine höhere Mobilität (GISSEL-NIELSEN et al. 1984, BAHNERS 1987, STÜNZI 1988, GISSEL-NIELSEN 1993). Dadurch nehmen die Pflanzen Se hauptsächlich als Selenat auf. In Se-haltigen Düngemitteln werden zwei verschiedene Selenat-Formen eingesetzt. Eine schnell verfügbare Se-Quelle ist Natriumselenat (Na_2SeO_4) (BAHNERS & HARTFIEL 1985, GUPTA & MCLEOD 1994, GUPTA 1995). Der Nachteil bei dieser Form ist, dass eine Natriumselenat-Applikation jeweils nur für einen Aufwuchs genügt, um die angestrebte Se-Konzentration von 0,1-0,2 mg Se/kg TM zu erreichen (LASER 2005). Um die Versorgung der Weidetiere über einen längeren Zeitraum zu sichern, wird Bariumselenat (BaSeO_4) im Se-Dünger eingesetzt. Bariumselenat wird im Vergleich zu Natriumselenat im Boden langsamer aufgelöst, wodurch ein slow-release-Effekt

erreicht wird (GUPTA 1995) und die Pflanzen Se während der gesamten Vegetationsperiode in den angestrebten Mengen aufnehmen können.

2.7 Wechselwirkungen mit anderen Elementen

Im Kapitel 2.3 ist bereits die Beziehung zwischen Se und S erläutert worden. Diese Wechselwirkung ist bisher am besten untersucht. Weitere Beziehungen zu Elementen wie z.B. P, Mn, Fe sind bis zum Untersuchungszeitraum noch nicht vollständig geklärt. LERVERSQUE (1974) vermutet, dass eine P-Düngung die Se-Konzentration pflanzenartabhängig beeinflusst. Aber eine Se-Applikation kann sich auf die P-Aufnahme sowohl positiv als auch negativ auswirken. Bei Gräsern zeigen sich bei einer Se-Düngung in Fe-, Mn-, Zn-, K-, Ca- und Mg-Konzentration keine Veränderungen. Bei Leguminosen sinken die Konzentrationen an Mn, Fe und Zn (WU 1998).

Diese Wechselwirkungen sind von Bedeutung, weil neben Se auch Fe, Cu, Zn und Mn aus ernährungsphysiologischer Sicht für Wiederkäuer sehr wichtig sind. Alle vier sind essentiell (KIRCHGEßNER 2004).

Im Folgenden werden Funktion, Vorkommen im Organismus und ernährungsbedingte Mangelercheinungen der vier Spurenelemente kurz erläutert.

2.8 Eisen

Eisen befindet sich zum überwiegenden Teil im Hämoglobin und im Myoglobin und hat somit eine zentrale Funktion für den Sauerstofftransport im Körper. Außerdem ist Fe in Leber, Milz und Knochenmark vorhanden. Neben seiner Funktion im Redoxsystem der Atmungskette nimmt Fe in Enzymen (z.B. Peroxidase) im Energiestoffwechsel des antioxidativen Systems eine wichtige Rolle ein. Außerdem wird Fe für Monooxygenasen benötigt, die bei der Biotransformation beim Fremdstoffabbau sehr wichtig sind. Die Folgen eines Fe-Mangels sind Anämie, verminderte Krankheitsresistenz, Appetitverlust und daraus folgend geringeres Wachstum, wobei diese Probleme vorwiegend bei Jungtieren im Saugalter vorkommen (KIRCHGEßNER 2004).

2.9 Kupfer

Bei der Fütterung von Wiederkäuern, die in der Lage sind viel Kupfer in der Leber zu speichern, ist dieses Element besonders zu beachten. Cu steht in Wechselwirkung zu anderen Nährstoffen, wie Molybdän oder Eisen. Neben der Leber ist Cu noch in Knochen, Muskulatur und Haut enthalten. Cu ist im Körper vorwiegend an Proteine gebunden. Außerdem wird es im Blutplasma bei der Katalyse der Oxidation von zweiwertigem Fe durch eine Ferroxidase gebraucht. Das zweiwertige Fe wird bei der Hämoglobinsynthese benötigt. Daher kann Cu-Mangel auch ein Grund für eine Blutanämie sein. Weitere Folgen sind Störungen in Pigmentierung und Struktur von Haar und Wolle, in der Ausbildung des zentralen Nervensystems und im Skelett. Dies basiert auf dem Fehlen von Cu-haltigen Enzymen wie z.B. der Phenoloxidase, die am Aufbau der genannten Systeme beteiligt sind (KIRCHGEßNER 2004).

2.10 Zink

Eine regelmäßige und ausreichende Zn-Zufuhr ist besonders wichtig, da die Tiere Zn nur begrenzt in einer wieder mobilisierbaren Form speichern und dadurch größere Defizite nicht ausgleichen können (MCDOWELL 1992). Das Spurenelement Zn besitzt sehr vielfältige Aufgaben im Organismus und ist dementsprechend im Körper weit verbreitet. Am häufigsten kommt es aber in Augen, Hoden, Leber, Bauchspeicheldrüse, Knochen und Haaren vor. Zn ist für die Bildung von über 300 Proteinen essentiell. Darüber hinaus besitzt es funktionelle Eigenschaften im katalytischen Zentrum von Enzymen (z.B. Carboanhydrase), trägt zur Stabilisierung von Proteinkonformationen bei und spielt sowohl bei der Genexpression als auch bei der Speicherung von Insulin eine Rolle. Entsprechend den Funktionen sind auch die Mangelsymptome vielfältig. Dazu gehören verminderte Futteraufnahme und geringeres Wachstum, parakeratische Hautverletzungen, Haarausfall und verzögerte Wundheilung (KIRCHGEßNER 2004).

Sowohl Zn- wie auch Cu-Mangel führen bei Rindern zu einer verschlechterten Reproduktion, da sich vor allem eine verzögerte Brunst einstellt, die Konzeption abnimmt und die Anzahl gestörter Geburtsverläufe zunimmt (MCDOWELL 1992).

2.11 Mangan

Die Mangan-Konzentrationen sind in Skelett, Leber, Pankreas und Nieren am höchsten. Durch eine gezielte Fütterung lassen sich vor allem die Gehalte in den Knochen verbessern. Mn ist ein Cofaktor verschiedener Enzyme. Zu diesen zählen z.B. Pyruvat-Carboxylase der Gluconeogenese oder die Arginase. Besondere Bedeutung kommt Mn aber in der Superoxid-Dismutase zu, welche ein wesentlicher Bestandteil des antioxidativen Stoffwechsels ist. Dort wirkt Mn als Katalysator (KIRCHGEßNER 2004). Laut KIRCHGEßNER (2004) sind die Mn-Mangelerscheinungen wie z.B. anomale Skelettentwicklung, neurologische Störungen und Fruchtbarkeitsprobleme oft auf eine gestörte Mucopolysaccharidsynthese zurückzuführen.

2.12 Arbeitshypothese

Im Folgenden werden aus der Literaturübersicht die wichtigsten Ausführungen zusammengefasst:

- Se ist für Tiere ein essentielles Spurenelement. Se-Mangel führt bei Wiederkäuern zu Immunschwäche, Fruchtbarkeitsproblemen und Muskeldystrophie. Zur Vermeidung solcher Mangelerscheinungen sollte im Futter mindestens 0,1 mg Se/kg TM enthalten sein.
- Grünlandaufwüchse in Deutschland sind generell als Se-arm einzustufen, da die Se-Vorkommen im Boden unzureichend sind und die regelmäßigen Se-Entzüge nicht ausgeglichen werden.
- Hohe TM-Zuwächse zum Vegetationsbeginn oder durch NPK-Düngung hervorgerufen, verschärfen den Se-Mangel im Futter zusätzlich.
- Vor allem bei einer Ganztagsweidehaltung ist eine Se-Mangelsituation zu erwarten.
- Zur Se-Versorgung der Tiere eignen sich Lecksteine, Injektionen und die Düngung der Aufwüchse mit Se-haltigen Düngemitteln. Die Aufwandmengen bei der Düngung von Se sind im Vergleich zu anderen Düngemitteln sehr gering, damit keine toxischen Bereiche erreicht werden (> 2000 mg Se/kg TM).

-
- Die Se-Aufnahme der Pflanzen wird durch Pflanzenart, Bodenart, Klimabedingungen und Beschaffenheit der verfügbaren Se-Verbindung beeinflusst.
 - Selenat wird von den Pflanzen am besten aufgenommen. In Düngemitteln werden Natriumselenat als schnell und Bariumselenat als langsam wirkende Komponenten eingesetzt.
 - Wechselwirkungen von Se mit anderen Spurenelementen sind mit Ausnahme von S nur in Ansätzen bekannt. Bisherige Erkenntnisse zeigen, dass es pflanzenartabhängig ist, ob die Se-Düngung die Aufnahme der Pflanze von Spurenelementen beeinflusst. Dieser Ansatz ist besonders in Hinblick auf die Aufnahme von Cu, Mn, Fe und Zn interessant, da diese für das Weidetier essentiell sind.

Aus dieser Zusammenfassung lassen sich folgende Fragestellungen ableiten:

- Ist eine konstante Se-Versorgung der Weidetiere von mindestens 100 µg/kg TM im Futter mit nur einer Se-Gabe am Anfang der Vegetationsperiode zu erreichen?
- Ist der Verdünnungseffekt bei einer Se-Düngung noch zu beachten?
- Welcher Einflussfaktor hat den größten Effekt auf die Se-Aufnahme?
- Wie wirkt sich die Se-Gabe auf die Konzentrationen der Spurenelemente Cu, Mn, Fe und Zn im Pflanzenmaterial aus?

3 Material und Methoden

3.1 Standort

Der Standort, der im Frühjahr 2007 ausgewählten Versuchsflächen, lag nahe Rudlos bei Lauterbach im Vogelsberg. Im Jahresdurchschnitt fielen hier ungefähr 500 mm Niederschlag. Die Böden sind vulkanischen Ursprungs und die Se-Konzentrationen waren sowohl im Boden, vgl. Abb. 1, als auch im Aufwuchs als zu niedrig einzuschätzen. Die Versuchsflächen wurden vom Lehr- und Versuchsbetrieb Rudlos bewirtschaftet. Neben Schweinemast und Getreideproduktion besaß der Betrieb im Untersuchungszeitraum ca. 300 Mutterkühe der Rassen Angus und Fleckvieh. Bis zum Versuchsbeginn wurden als Se-Quellen Lecksteine und Injektionen angewandt. Um die Wirksamkeit von Dino Selenium® zu überprüfen wurden drei Grünlandschläge, die in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander liegen, ausgewählt. Der gemeinsame Standort der Flächen gewährleistete, dass relativ geringe Unterschiede bezüglich Klimabedingungen und Bodenart herrschten. Alle Flächen wurden im März mit ca. 70 kg N/ha = 250 kg Kalkammonsalpeter/ha gedüngt. Auf zwei Schläge wurde Anfang April 6 kg/ha Dino Selenium 5 (= 12 g Se/ha, vgl. Tab.3) mit einem Grünland-Nachsaat-Gerät ausgebracht. Somit waren zwei Versuchsflächen und eine Kontrollfläche vorhanden. Die Nutzung der Flächen und somit auch die Bestandszusammensetzung waren unterschiedlich. Versuchsfläche „Krack I“ wurde von Anfang Mai bis Ende Oktober als Umtriebsweide genutzt. Die zweite Se-gedüngte Fläche „Krack II“ war zunächst für die Mähnutzung vorgesehen und wurde später je nach Futterangebot in die Beweidung eingegliedert oder weiter für die Mahd genutzt worden. Bei diesen Flächen handelte es sich um einen ca. 20 ha umfassenden Schlag, der in „Krack I“ mit ca. 12 ha und „Krack II“ mit ca. 8 ha aufgeteilt wurde. Außerdem war die gesamte Fläche 2003 neu eingesät worden. Dementsprechend setzte sich der Pflanzenbestand hauptsächlich aus Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) zusammen und war als *Lolio-Cynosuretum* zu bezeichnen. Die unbehandelte Kontrollfläche, die 1,34 ha umfasste, wurde ausschließlich über Schnittnutzung bewirtschaftet. Dort entwickelte sich eine Glatthaferwiese (*Arrhenatherion*). Da der Pflanzenbestand unter sonst nahezu identischen Umwelt-Bedingungen nur einen marginalen Einfluss auf die Se-Konzentration erwarten ließ (LASER 2004), wurde der unmittelbaren Nähe der

Referenzfläche zu den Flächen mit Se-Applikation als Auswahlkriterium Vorrang gegenüber der einheitlichen Nutzung eingeräumt.

3.2 Probenahme

Die erste Probe wurde am 15. Mai genommen. Die Probenahme wurde bis Mitte August in einem Abstand von ca. 21 Tagen wiederholt, vgl. Tab. 2. In jeder Fläche wurden an vier Stellen Proben entnommen. Dazu wurde genau ein Quadratmeter ausgemessen und der Aufwuchs bei einer Stoppelhöhe von 7 cm abgeerntet. Zwei in einem Bereich liegende Proben wurden zu einer repräsentativen Endprobe vermischt, so dass pro Termin sechs Pflanzenproben vorhanden waren.

Tab. 2: Terminübersicht

Datum	Vorgang
13.04.2007	Se-Applikation
15.05.2007	1.Probenahme
05.06.2007	2.Probenahme
25.06.2007	3.Probenahme
18.07.2007	4.Probenahme
14.08.2007	5.Probenahme

3.3 Analysemethode

Die Pflanzenproben wurden zwei Tage lang bei ca. 60° C im Trockenschrank getrocknet und auf eine Partikelgröße ≤ 1 mm zermahlen. Zur Bestimmung der Konzentrationen an Se, Fe, Cu, Mn und Zn wurden die Pflanzenproben bei 25 bar in Quarzgefäßen mit HNO₃ und H₂O₂ mikrowellenunterstützt aufgeschlossen und mit dem Atomabsorptionsspektrometer (= AAS) mit Hydrid-Technik analysiert.

3.4 Dino Selenium®

Das für die Applikation angewandte Dino Selenium® ist ein gekörnter Kalkdünger mit Se, der von der Firma „Vereinigte Kreidewerke Dammann KG“ hergestellt wird (ANONYMUS 2007). Aufgrund des in Deutschland geltenden Rechts

(Düngeverordnung, ANONYMUS 2006) darf keine reine Se-Düngung durchgeführt werden. Deswegen wird der Se-Dünger Selcote® Ultra mit einem granulierten Kalkdünger vermischt und unter dem Namen Dino Selenium vermarktet. Selcote Ultra enthält 1 % Se und wird bereits seit längerem erfolgreich in Neuseeland, Australien und Amerika verwendet, um die Se-Konzentration im Grünlandaufwuchs zu erhöhen (LORENZ 2000). Dino Selenium lag im Untersuchungszeitraum in zwei Varianten vor, die sich vor allem in der Se-Konzentration unterschieden. Dino Selenium 5, welches bei diesem Versuch angewandt wurde, setzte sich wie in Tab. 3 dargestellt zusammen. Das Gesamt-Se teilte sich in 12 % Natrium- und 88 % Bariumselenat auf. Dieser Dünger konnte mit dem Schneckenkornstreuer oder, wenn er in einer Düngermischanlage mit einem anderen Grünlanddünger vermischt wurde, mit dem konventionellen Düngerstreuer ausgebracht werden. Die Aufwandmenge beträgt hier 5 kg Dino Selenium 5/ha*a, womit insgesamt 10 g Se/ha ausgebracht werden, vgl. Tab. 3. Dino Selenium 25 konnte bei einer Aufwandmenge von 25 kg/ha*a nur mit dem Schleuderstreuer ausgebracht werden. Die Menge an Se ist aber wegen der niedrigeren Konzentration identisch (ANONYMUS 2007). Der zu erwartende Effekt eines Kalkdüngers war bei diesem Düngemittel aufgrund der niedrigen Aufwandmenge zu vernachlässigen.

Tab. 3: Zusammensetzung Dino Selenium in % bezogen auf 25 kg nach ANONYMUS 2007

	Dino Selenium 5	Dino Selenium 25
Beschreibung	Kohlensaurer Kalk 75 mit Selen	Kohlensaurer Kalk 89 mit Selen
Calciumcarbonat (CaCO₃)	70	84
Magnesiumcarbonat (MgCO₃)	5	5
Selen (Se)	0,2	0,04
Neutralisationswert	42	50

3.5 Auswertung

Die Auswertung des Datenmaterials des Versuchs „Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf einer Rinderweide“ erfolgte durch mehrfaktorielle Varianzanalyse unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS für Windows, Version 12.0 (Anonymus 2003).

Den Tests auf Signifikanz wurden folgende Sicherungsniveaus zu Grunde gelegt:

- F-Test für Varianzanalyse:
Signifikanzniveau 5 % in den Tabellen gekennzeichnet durch „ * “
Signifikanzniveau 1 % in den Tabellen gekennzeichnet durch „ ** “
- Multipler t-Test für die Einzelwerte
Signifikanzniveau 5 %

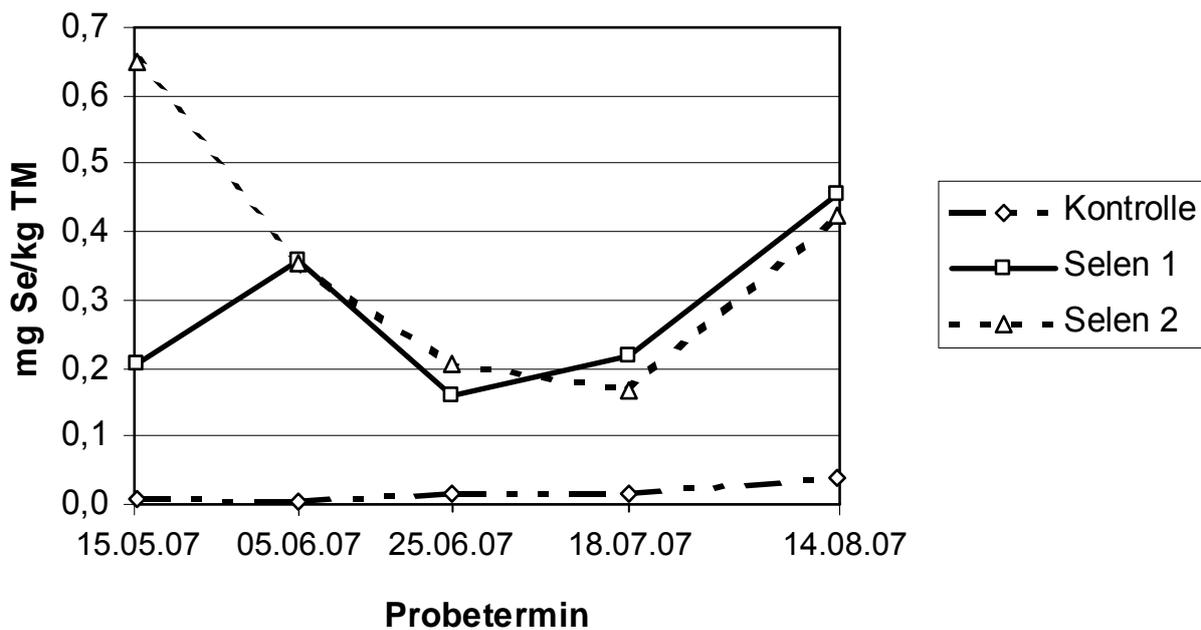
Außerdem wurde für jedes Spurenelement zu jedem Probetermin die Standardabweichung berechnet, um die Güte der Werte zu kontrollieren.

4 Ergebnisse

Die Abbildungen zeigen jeweils die Entwicklungen der Konzentrationen der Spurenelemente Se, Cu, Mn, Fe und Zn in dem futterbaulich wichtigen Zeitraum vom 15. Mai bis 14. August. Die oben als „Krack I“ bezeichnete Fläche entspricht in den Abbildungen Selen 1, Eisen 1 usw. . Dementsprechend ist auch „Krack II“ in den Abbildungen beschriftet. Um zu einer charakteristischen Abbildung zu gelangen, ist in den Diagrammen, die die Konzentrationen der untersuchten Spurenelemente abbilden, der Mittelwert aus den zwei Analysewerten gebildet worden.

4.1 Se-Konzentration

Aus Abb. 2 und Anhangtab. 1 wird deutlich, dass die Düngung mit Dino Selenium die Se-Konzentration deutlich anhebt. Die Aufwüchse der gedüngten Versuchsfelder haben zu den Probeterminen immer eine höhere Konzentration als die vom National Research Council geforderten Minimalwert von 0,1 mg Se/kg TM für Mutterkühe (NRC 2000). Der im Aufwuchs erwünschte Bereich liegt zwischen 0,1-0,2 mg Se/kg TM. Bedenklich niedrige Se-Konzentrationen weist dagegen die Kontrollfläche auf. Die Werte liegen bei allen Probeterminen deutlich unter dem angestrebten Wertebereich. Die größte Standardabweichung ist beim ersten Probetermin vorhanden, da alle drei Werte sehr weit auseinander liegen. Für Selen 2 ist eine Konzentration von 650 µg Se/kg TM ermittelt worden und die Analyseergebnisse der Se-gedüngten Flächen unterscheiden sich um ca. 450 µg Se/kg TM. Bei den folgenden Terminen weisen die beiden Flächen Se-Konzentrationen von ca. 350 µg/kg TM auf, die zwar über dem angestrebten Bereich liegen, aber keine Gefährdung hinsichtlich einer Toxizität darstellen. Ende Juni bis Mitte Juli schwankt die Konzentration um 200 µg/kg TM. Danach steigt diese auf über 400 µg/kg TM an. Selen 1 und Selen 2 besitzen ab dem zweiten Probetermin sehr ähnliche Se-Konzentrationen, was zu einer Verringerung der Standardabweichung führt. Aus der Varianztabelle für Se, vgl. Anhangtab. 6, wird ersichtlich, dass die Unterschiede in der Se-Konzentration vorwiegend durch die Fläche und in geringerem Maße von den Varianzursachen Termin und Termin * Fläche abhängig sind.



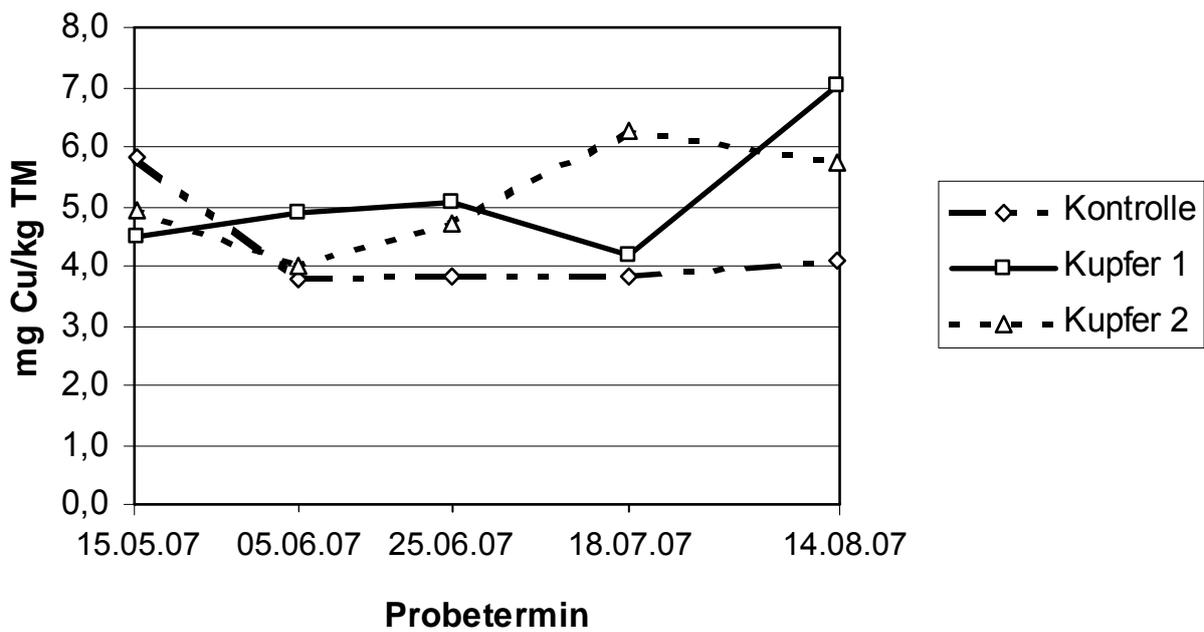
Standardabweichung (mg Se/kg TM)

1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
0,32	0,21	0,10	0,11	0,21

Abb. 2: Se-Konzentration der Aufwüchse mit Standardabweichung

4.2 Cu-Konzentration

In Abb. 3 sowie in Anhangtab. 2 wird die Cu-Konzentration der Aufwüchse dargestellt. Diese schwankt ungefähr zwischen 4 und 7 mg/kg TM bei allen drei Versuchsflächen. Mit Ausnahme vom ersten Termin sind die Cu-Konzentrationen bei den Se-gedüngten Flächen in den folgenden Aufwüchsen höher als bei der Kontrollfläche. Diese weist ab dem zweiten Termin sehr einheitliche Konzentrationen auf. Insgesamt liegen die Werte aber deutlich unter den in Tab. 1 dargestellten Empfehlungen von 10 mg Cu/kg TM. Nach der Varianztabelle, vgl. Anhangtab. 6, sind alle drei Varianzursachen hoch signifikant. Das bedeutet, dass die Cu-Konzentration von vielen Faktoren abhängig ist.



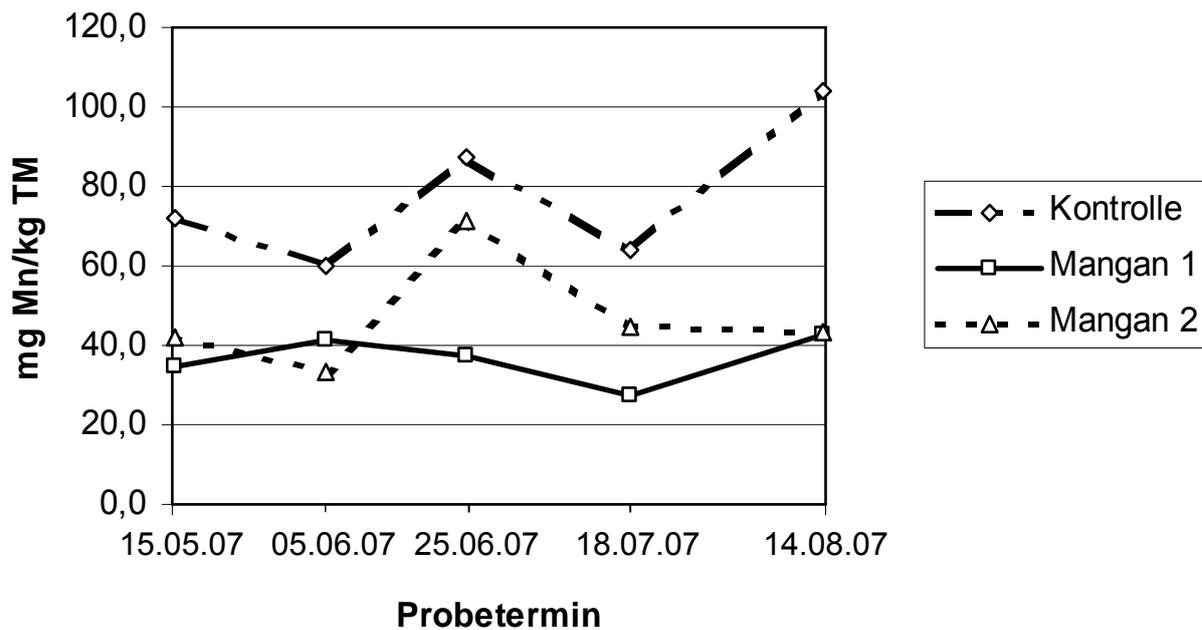
Standardabweichung (mg Cu/kg TM)

1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
0,62	0,63	0,59	1,19	1,33

Abb. 3: Cu-Konzentration der Aufwüchse mit Standardabweichung

4.3 Mn-Konzentration

Bei dem in Abb. 4 gezeigten Diagramm ist ein Unterschied zwischen der Kontrolle und Mangan 1 bzw. Mangan 2 zu erkennen, vgl. Anhangtab. 3. Die Mn-Konzentration ist bei der Kontrollfläche bei allen Beprobungen höher. Außerdem weisen die Kontrolle und Mangan 2 im Vergleich zu Mangan 1 größere Schwankungen von bis zu 30 mg Mn/kg TM auf. Alle Flächen besitzen für die Mn-Versorgung von Mutterkühen und Kälbern ausreichende Mengen, vgl. Tab. 1. Die Unterschiede sind hier vor allem durch die unterschiedlichen Flächen zu erklären, vgl. Anhangtab. 6.



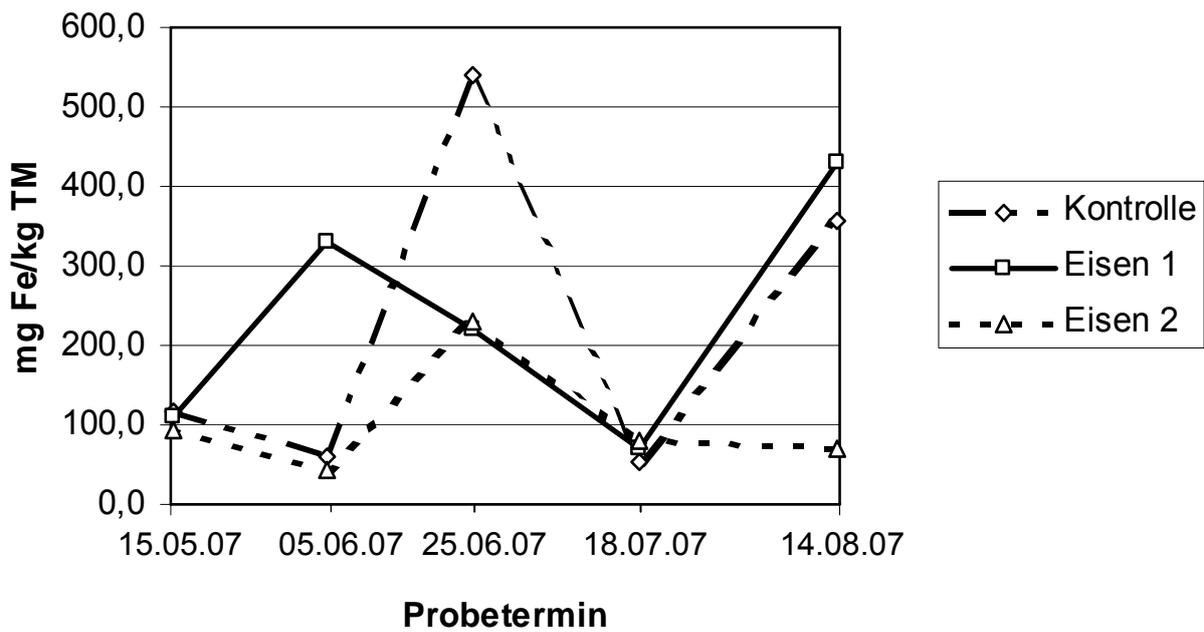
Standardabweichung (mg Mn/kg TM)

1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
17,88	14,15	28,71	19,56	33,28

Abb. 4: Mn-Konzentration der Aufwüchse mit Standardabweichung

4.4 Fe-Konzentration

In Abb. 5 sowie in Anhangtab. 4 werden die Fe-Konzentrationen der Versuchsfelder dargestellt. Auffällig sind hier die großen Schwankungen zwischen den einzelnen Terminen und auch den Flächen. Die ungedüngte Kontrollfläche hat beispielsweise am 5. Juni eine Konzentration von ca. 60 mg Fe/kg TM und am folgenden Termin 540 mg Fe/kg TM. Die Fe-Versorgung der Weidetiere von 50 mg Fe/kg TM kann vollständig vom Aufwuchs abgedeckt werden, vgl. Tab. 1. Nach der Varianztabelle, vgl. Anhangtab. 6, sind für die Schwankungen wie oben schon erwähnt hauptsächlich Termin und Fläche verantwortlich. Allerdings ist an dieser Stelle auf den in der Varianztabelle ausgewiesenen sehr hohen Fehler hinzuweisen. Ein hoher Fehlerwert deutet an, dass viele unerklärte Effekte, wie z.B. die Pflanzenart, einen Einfluss auf die Fe-Konzentration haben.



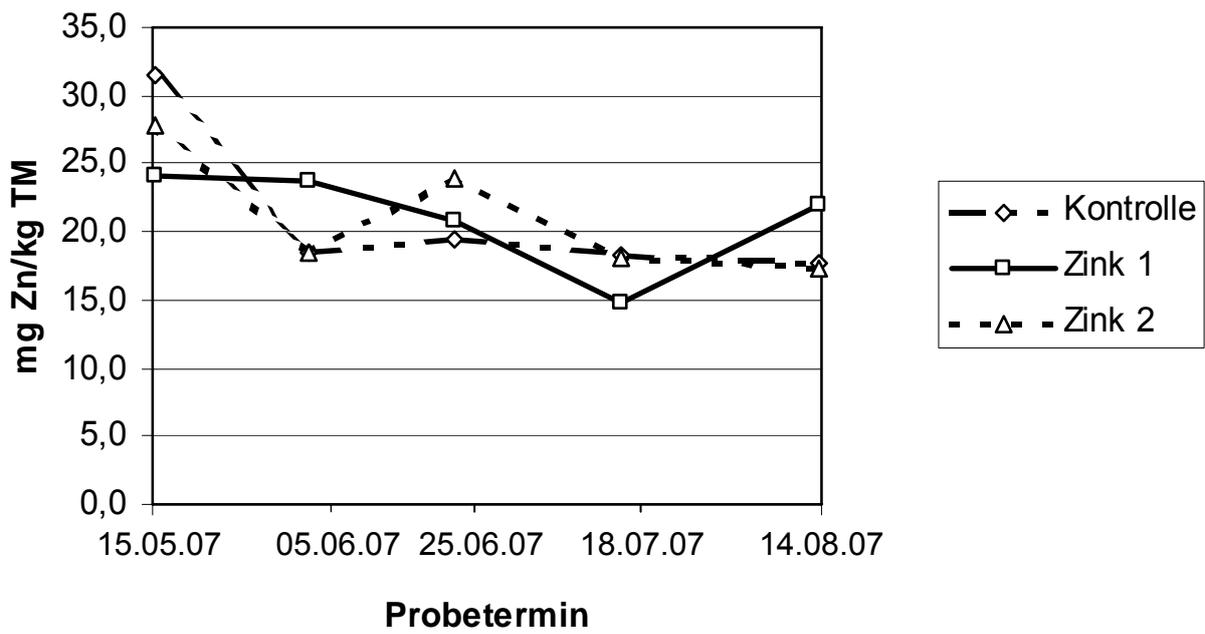
Standardabweichung (mg Fe/kg TM)

1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
38,23	151,39	216,57	19,25	189,86

Abb. 5: Fe-Konzentration der Aufwüchse mit Standardabweichung

4.5 Zn-Konzentration

Die Abb. 6 sowie Anhangtab. 5 zeigen die Zn-Konzentrationen in den Aufwüchsen der Versuchsflächen. Tendenziell ist die Zn-Konzentration beim ersten Termin am höchsten und nimmt im Verlaufe des Jahres kontinuierlich ab. In der Varianztabelle, vgl. Anhangtab. 6, wird der Termin als Varianzursache mit der höchsten Signifikanz ausgewiesen. Die Konzentrationen aller untersuchten Flächen liegen bei allen Probeterminen in einem Schwankungsbereich von ca. 7 mg Zn/kg TM. Dadurch beträgt die Standardabweichung stetig ca. 2-3 mg Zn/kg TM. Der empfohlene Wert von 30 mg Zn/kg TM für Mutterkühe, vgl. Tab. 1, wird nur einmal am 15. Mai auf der Kontrollfläche erreicht. Alle anderen Konzentrationen liegen darunter.



Standardabweichung (mg Zn/kg TM)

1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
3,24	2,91	2,28	2,60	2,45

Abb. 6: Zn-Konzentration der Aufwüchse mit Standardabweichung

5 Diskussion

5.1 Se-Versorgung von Rindern

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass vor allem bei extensiven Weidesystemen Handlungsbedarf im Bezug auf die Se-Versorgung besteht. Ohne entsprechende Maßnahmen besitzen Grünlandaufwüchse in Deutschland nicht genügend Se, um die Tiere ausreichend zu versorgen (HARTFIEL & BAHNERS 1987). Die in Abb. 2 dargestellten Se-Konzentrationen bestätigen diese Aussage. Die Düngung mit Dino Selenium 5 hebt die Se-Konzentration der Aufwüchse deutlich an und stellt die Versorgung der Tiere mit mindestens 0,1 mg Se/kg TM sicher. Mit diesen Werten decken sich die Ergebnisse aus anderen Versuchen (LORENZ 2000, ANONYMUS 2007). Aufgrund des hohen Anteils an Bariumselenat ist eine Düngung mit Dino Selenium 5 am Anfang der Vegetationsperiode ausreichend. Das schnell lösliche Natriumselenat steigert die Se-Konzentration im Aufwuchs bereits kurz nach der Ausbringung und das Bariumselenat sorgt für einen slow-release-Effekt. In den Proben des ersten Termins sind die Se-Konzentrationen der beiden Se-gedüngten Flächen sehr unterschiedlich, vgl. Abb. 1. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass im Zeitraum von der Ausbringung des Se-Düngers bis zur ersten Probenahme wenig Niederschlag gefallen ist. Einerseits ist der Dünger nicht gleichmäßig im Boden verteilt gewesen, andererseits konnten dadurch Düngerrückstände in die Probe gelangt sein. Die weiteren Analysewerte zeigen die Depotwirkung des Düngemittels. Kein Aufwuchs der mit Dino Selenium gedüngten Flächen hat im Verlaufe des Versuches eine Se-Konzentration $< 0,1$ mg Se/kg TM. Versuche von LASER (2004) mit Natriumselenat appliziert als Flüssigdünger zeigen, dass nur die darauf folgenden Aufwüchse $\geq 0,1$ mg Se/kg TM enthalten. Ohne erneute Se-Gabe besitzen die weiteren Aufwüchse nicht ausreichend Se. Daraus wird insbesondere für extensiv organisierte Verfahren wie Mutterkuhhaltung ein Vorteil des Düngemittels Dino Selenium® gegenüber Sehaltigen Düngemitteln ohne Langzeitwirkung deutlich. Der Aufwand für das Ausbringen wird minimiert auf einen zusätzlichen Arbeitsgang oder mit anderen Arbeitsgängen wie Walzen oder Schleppen kombiniert. Vorteilhaft gegenüber Sehaltigen Lecksteinen ist die gleichmäßige Versorgung aller Weidetiere (LASER 2004). Obwohl nicht alle Pflanzen gleichermaßen mehr Se enthalten, ist zu erwarten, dass die Tiere durch das Weiden auf der gesamten Fläche ausreichend Se aufnehmen.

Eine Se-Injektion stellt eine sehr genaue Versorgung der Tiere sicher, aber der Arbeitsaufwand und die Kosten, die durch Einfangen der Tiere, Tierarzt usw., entstehen, übertreffen die Kosten für eine Se-Düngung mit Dino Selenium wahrscheinlich deutlich. Außerdem ist die Wirksamkeit einer Injektion zeitlich stark begrenzt. Ob durch die Se-Düngung eine Anhebung der Se-Konzentration im Blut der Mutterkühe auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Rudlos erreicht wird und wie lange die Depotwirkung von Dino Selenium anhält, ist Thema weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen der Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau.

5.2 Einflussfaktoren

Nach GISSEL-NIELSEN (1984) beeinflussen die Faktoren Pflanzenart, Bodenart, Klimabedingungen und Beschaffenheit der verfügbaren Se-Verbindungen die Se-Aufnahme der Pflanze. Da die Versuchsfelder direkt nebeneinander liegen, sind die Faktoren Klimabedingungen und Bodenart von untergeordneter Bedeutung. Durch die unterschiedliche Nutzung der Flächen ist vor allem eine Variabilität in der Zusammensetzung der Aufwüchse zwischen den Se-gedüngten Flächen und der ungedüngten Fläche zu beobachten. Da die Hauptbestandbildner aber überwiegend Gräser sind, sind durch den Pflanzenbestand bedingte Unterschiede in den Se-Konzentrationen der drei untersuchten Flächen nicht zu erwarten (LASER 2004). Somit ist eine gute Vergleichbarkeit der gedüngten Flächen mit der Referenzfläche gegeben. Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass besonders die Art der Se-Verbindungen im Dünger eine wichtige Rolle spielt. Selenat ist die Form, die von den Pflanzen am besten aufgenommen wird (GISSEL-NIELSEN ET AL. 1984, BAHNERS 1987, STÜNZI 1988, GISSEL-NIELSEN 1993). In Dino Selenium wird Natrium- und überwiegend Bariumselenat eingesetzt.

5.3 Verdünnungseffekt

In den Abb. 7-9 und der Anhangtab. 7 sind durchschnittlichen TM-Erträge der drei Flächen dargestellt. Die Unterschiede im Ertrag sind vorrangig mit der unterschiedlichen Nutzung zu erklären. Die beweidete Fläche „Krack I“ erreicht relativ gleichmäßige TM-Erträge. Die Wiesen „Krack II“ und „Kontrolle“ erreichen bis zur Mahd sehr hohe Werte, nach der Nutzung dementsprechend niedrigere. Die Se-

Konzentrationen bei den Se-gedüngten Flächen „Krack I“ und „Krack II“ unterscheiden sich mit Ausnahme des ersten Termins aber kaum, vgl. Abb. 2. Die Kontrollfläche und „Krack I“ weisen beim letzten Probetermin im Vergleich zu den vorangegangenen Proben deutlich niedrigere TM-Erträge auf. Bei „Krack II“ ist dagegen ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Vom vorletzten auf den letzten Probetermin steigen die Se-Konzentrationen um 0,2 mg/kg TM. Durch das am Ende der Vegetationsperiode auftretende langsamere Wachstum der Pflanzen sind diese in der Lage über einen längeren Zeitraum Se aufzunehmen. Gleichzeitig wird in dieser Phase weniger Masse gebildet und somit steigt die Se-Konzentration an. In Abb. 10 und Anhangtab. 8 ist die Korrelation von Se-Konzentration und TM-Ertrag erfasst. Aus der Abbildung wird deutlich, dass der Verdünnungseffekt bei einer Se-Gabe keine entscheidende Einflussgröße mehr ist.

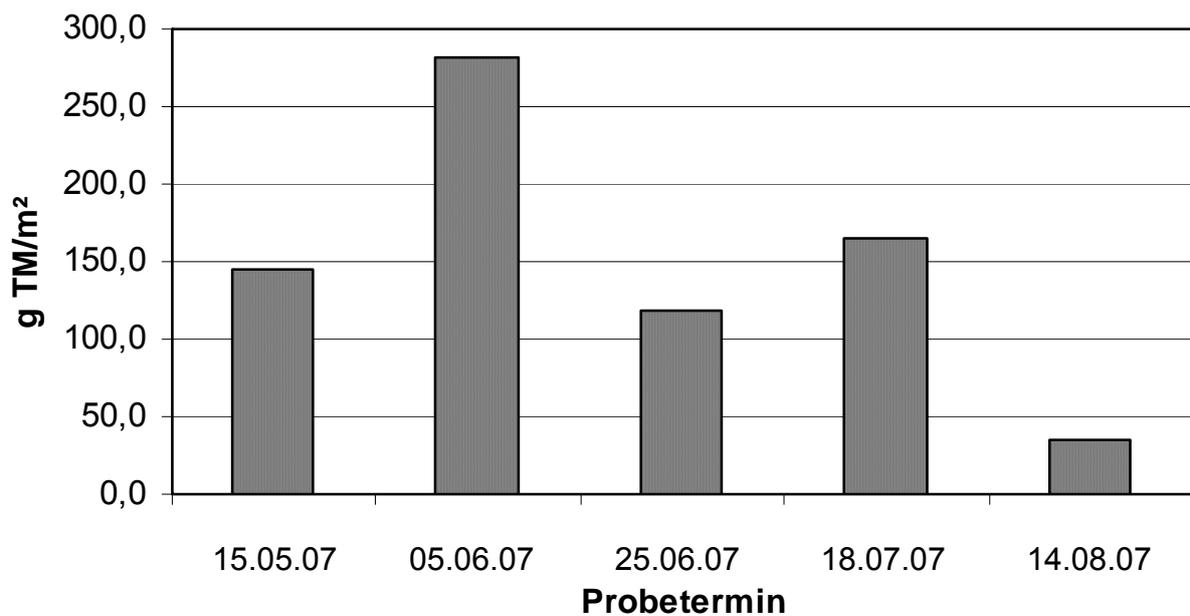


Abb. 7: TM-Erträge der ungedüngten Referenzfläche

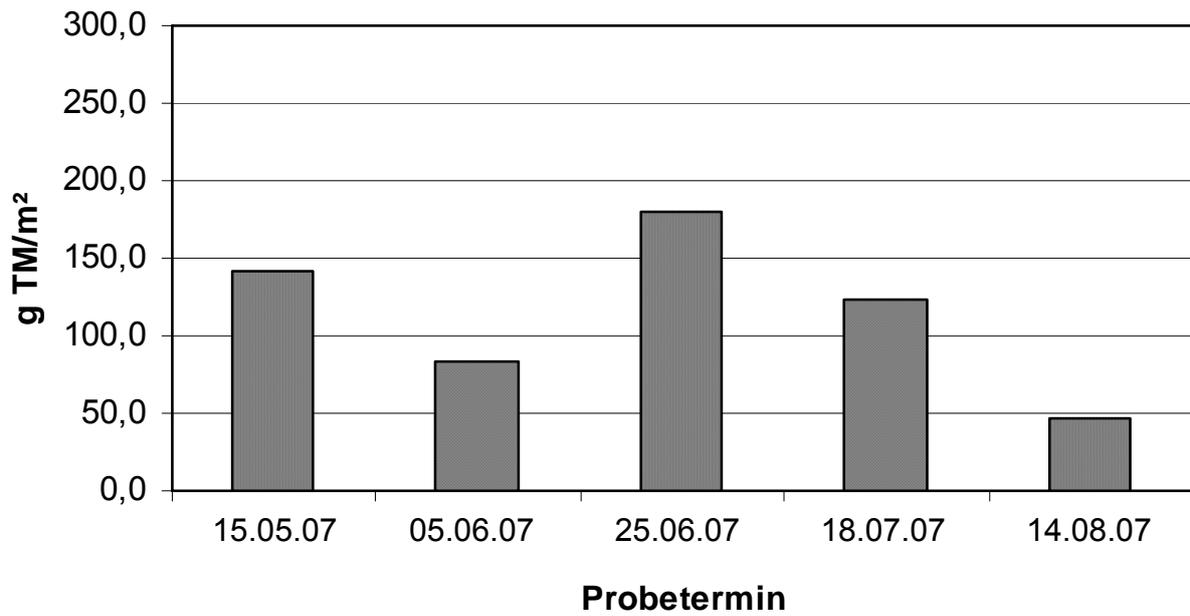


Abb. 8: TM-Erträge der Se-gedüngten Fläche „Krack I“

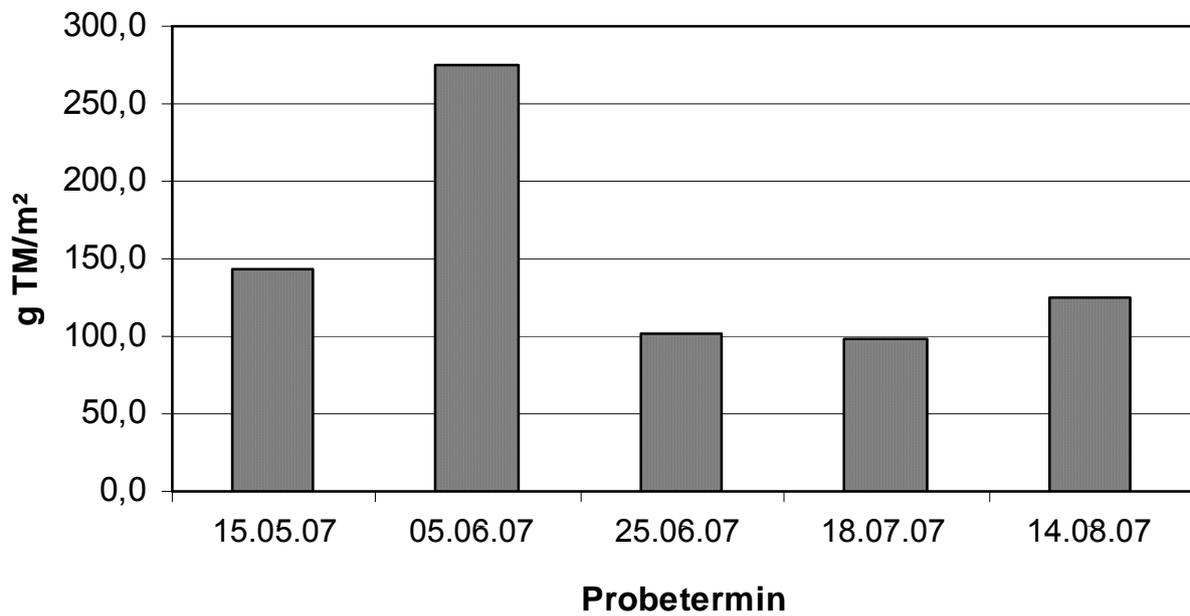


Abb. 9: TM-Erträge der Se-gedüngten Fläche „Krack II“

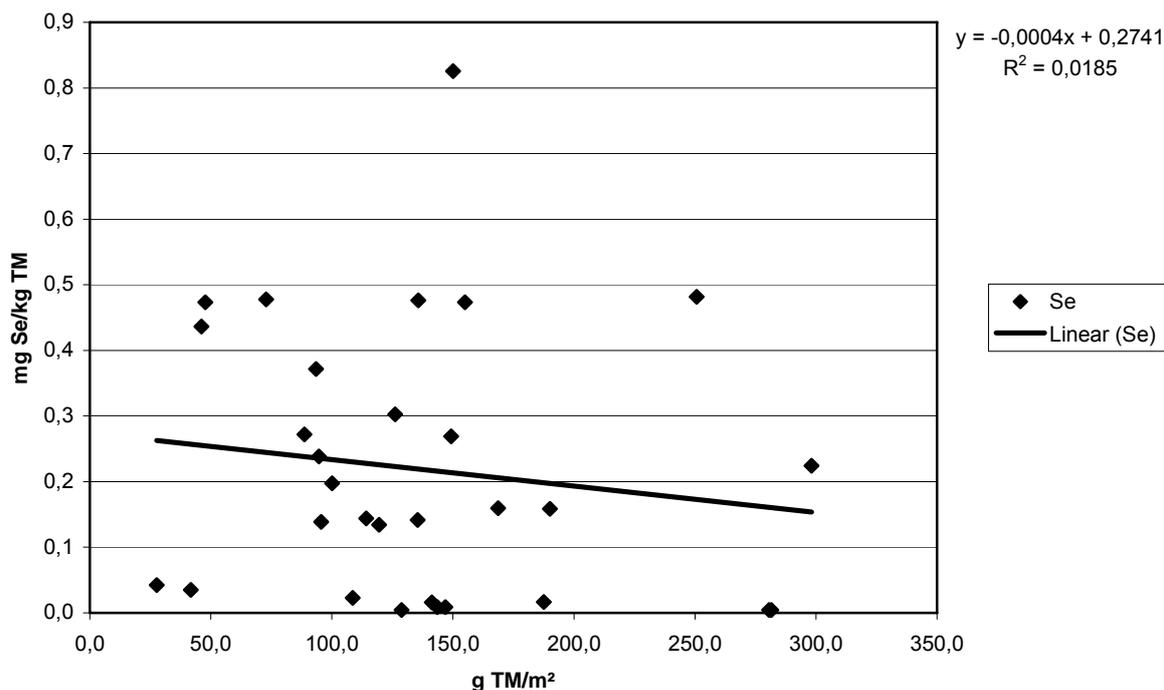


Abb. 10: Einfluss des TM-Ertrags auf Se-Konzentration

5.4 Wechselwirkungen mit Cu, Mn, Fe und Zn

Im Kapitel 2.7 sind bisher bekannte Wechselwirkungen zwischen Se und anderen Elementen beschrieben. Nach Wu (1998) ist bei einer Se-Applikation im Bezug auf Fe, Mn und Zn bei Gräsern keine Beeinflussung zu erwarten. Bei Leguminosen sinken die Gehalte an Fe, Mn und Zink (Wu 1998). Im Versuch „Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf einer Rinderweide“ sind im Aufwuchs auch die Konzentrationen der Spurenelemente Cu, Mn, Fe und Zn erfasst. In Abb. 11 ist die Korrelation zwischen Mn- und Se-Konzentration dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) beträgt hier ca. 0,25. Das bedeutet, dass der Einfluss der Se-Gabe auf die Mn-Aufnahme der Pflanze niedrig ist. Abb. 4 zeigt, dass die Mn-Konzentrationen der Kontrollfläche immer höher sind als die der Se-gedüngten Flächen. Daraus resultiert, dass eine Se-Düngung tendenziell zu einer verminderten Aufnahme der Pflanze an Mn führt. Die Gefahr eines Mn-Mangels aufgrund einer Se-Gabe ist aber in diesem Versuch nicht erkennbar, da alle Aufwüchse noch ausreichende Mn-Konzentrationen enthalten.

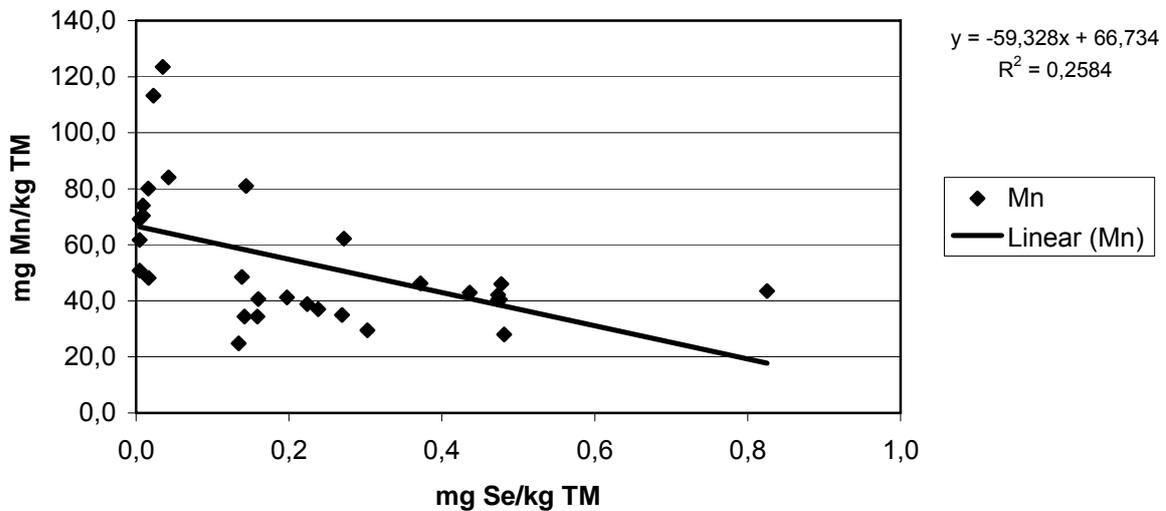


Abb. 11: Einfluss der Se-Gabe auf die Mn-Konzentration im Aufwuchs

Eine Se-Düngung führt im Gegensatz zu Mn bei Cu zu einem Anstieg der Konzentration im Pflanzenmaterial. Der Einfluss der Se-Gabe ist hier aber sehr gering. Abb. 3 verdeutlicht, dass die Aufwüchse der Se-gedüngten Flächen in diesem Versuch mehr Cu enthalten. Aber auch diese Proben besitzen nicht ausreichend hohe Cu-Konzentrationen, um die Versorgung der Rinder ausschließlich durch den Aufwuchs sicher zu stellen. Eine Cu-Supplementierung ist daher zu empfehlen.

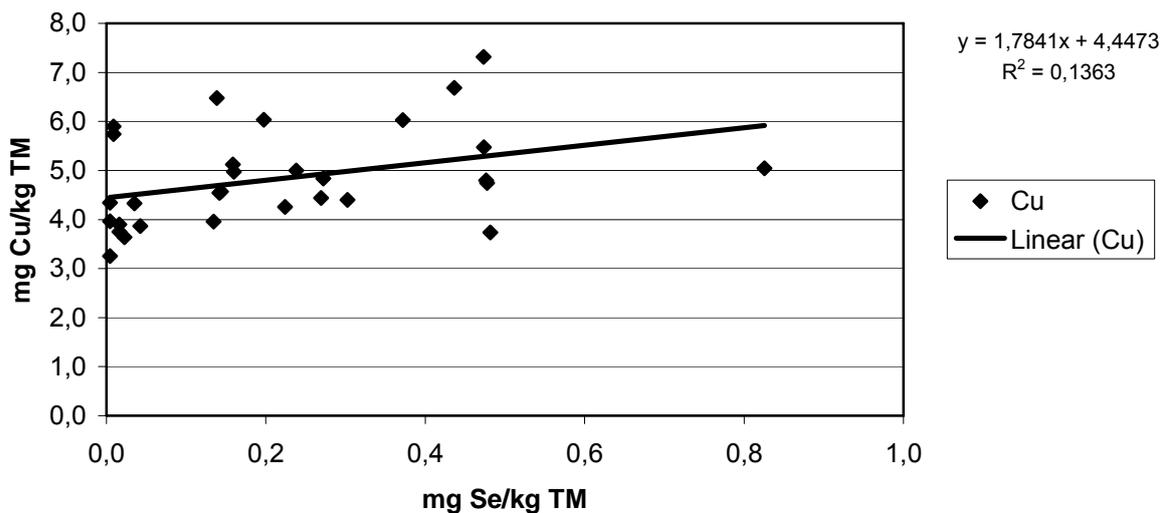


Abb. 12: Einfluss der Se-Gabe auf die Cu-Konzentration im Aufwuchs

In Abb. 13 und Abb. 14 ist der Einfluss der Se-Gabe auf die Fe-Konzentration bzw. Zn-Konzentration abgebildet. Als Ergebnis lässt sich daraus ableiten, dass eine Se-Düngung vermutlich keinen Einfluss auf Fe- und Zn-Aufnahme der Pflanzen hat.

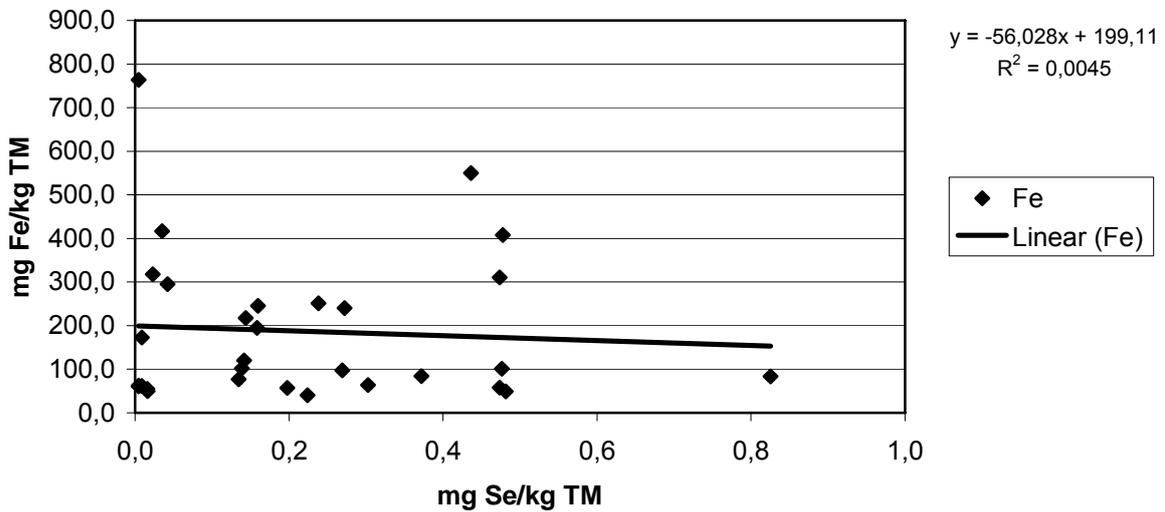


Abb. 13: Einfluss der Se-Gabe auf die Fe-Konzentration im Aufwuchs

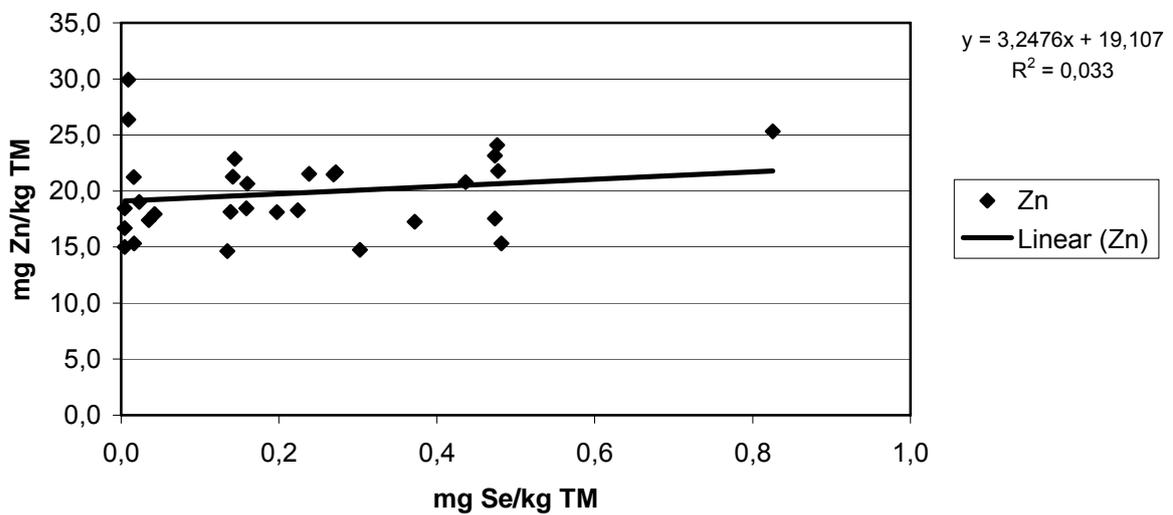


Abb. 14: Korrelation zwischen Se-und Zn-Konzentration im Aufwuchs

6 Zusammenfassung

Der Versuch „Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf einer Rinderweide“ wurde durchgeführt, um die Wirksamkeit des Düngemittels Dino Selenium ® zu kontrollieren und eventuelle Wechselwirkungen des applizierten Se mit den Spurenelementen Cu, Mn, Fe und Zn zu überprüfen. Auf zwei Mitte April mit Se-gedüngten Flächen und einer ungedüngten Referenzfläche sind im Abstand von ca. drei Wochen ab dem 15. 05.2007 Proben des Aufwuchses genommen worden. Der letzte Probetermin war der 14.08.2007. Hierbei sollte eine Se-Konzentration von mindestens 0,1 mg Se/kg TM erreicht werden, da die Se-Konzentration in Grünlandaufwüchsen in Deutschland generell als zu niedrig einzustufen war. Deswegen bestand hier Handlungsbedarf, um einen Se-Mangel der Weidetiere zu vermeiden. Aufgrund von vielen möglichen Wechselwirkungen zwischen den Spurenelementen musste bei der Se-Düngung die Entwicklung der Konzentration anderer Spurenelemente beachtet werden. In diesem Versuch wurden die essentiellen Spurenelemente Cu, Mn, Fe und Zn beachtet. Alle fünf Spurenelemente sind in den Proben mit Hilfe der mikrowellenunterstützten AAS-Hybrid-Technik analysiert worden. Die Ergebnisse des Versuchs sind im Folgenden zusammengefasst:

- (1) Mit Dino Selenium ®, einem granulierten Kalkdünger mit Se, konnte über den gesamten Zeitraum des Versuches die angestrebte Konzentration von mindestens 0,1 mg Se/kg TM erreicht werden. Aufgrund des slow-release-Effektes, der durch den hohen Anteil an Bariumselenat herbeigeführt wurde, reichte dazu eine einmalige Düngung zu Beginn der Vegetationsperiode aus. Somit war Dino Selenium besonders bei extensiven Bewirtschaftungssystemen im Vorteil gegenüber Se-haltigen Düngemitteln, die ausschließlich leicht lösliches Natriumselenat enthalten, da die Se-Gabe auf einen Arbeitsgang miniert wurde.
- (2) Der Verdünnungseffekt, der durch hohen TM-Zuwachs entstand, beeinflusste nach der Se-Düngung die Se-Konzentration nicht entscheidend. Zwar waren Schwankungen der Se-Konzentrationen zwischen den einzelnen Probeterminen zu beobachten, aber die Konzentration sank nicht unter den Zielwert von 0,1 mg Se/kg TM. Ein gegenteiliger Effekt war zum Ende der Untersuchung ersichtlich. Die Aufwüchse enthielten mehr Se, weil das

Wachstum langsamer war und die Pflanzen somit mehr Zeit für die Aufnahme von Se hatten.

- (3) Der Einfluss von Bodenart und Klimabedingungen war aufgrund der Nähe der Versuchsflächen zueinander zu vernachlässigen. Durch die unterschiedliche Nutzung der Flächen waren auch die Pflanzenbestände unterschiedlich. Aber aufgrund der nahezu identischen Umweltbedingungen war durch den Pflanzenbestand nur ein geringer Einfluss auf die Se-Konzentration zu erwarten. Der größte Einflussfaktor auf die Se-Konzentration war in diesem Versuch die Se-Düngung. In Se-haltigen Düngemitteln wird das für Pflanzen am besten verfügbare Selenat in Form von Natrium- und Bariumselenat eingesetzt. Ein sehr hoher Anteil Bariumselenat am Gesamt-Se war eine Grundvoraussetzung für den Depotdünger. Aufgrund des zu erwartenden Se-Defizits der Weidetiere wurde das leicht lösliche Natriumselenat eingesetzt, um diesen Mangel möglichst schnell zu beseitigen.
- (4) Durch die Se-Gabe waren die Pflanzen in der Lage mehr Se aufzunehmen. Dass dadurch die Aufnahme der Pflanze von Cu, Mn, Fe und Zn beeinflusst wurde, konnte nicht eindeutig beobachtet werden. Tendenziell ist durch das zusätzliche Se die Mn-Aufnahme gehemmt und Cu-Aufnahme verbessert. Bei Fe- und Zn-Konzentration der Aufwüchse konnten in dieser Untersuchung keine erkennbaren Unterschiede zu der ungedüngten Fläche festgestellt werden.

7 Literaturverzeichnis

1. ANONYMUS 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Hrsg.: AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE. Verl. DLG, Frankfurt am Main.
2. ANONYMUS, 1996: Nutrient requirements for beef cattle. 7th ed. rev. ed. Update 2000 – Publ. National Res. Council, National Academy Press, Washington DC.
3. ANONYMUS, 1998: Atmosphärische Emissionen von 9 prioritären Schwermetallen in Deutschland 1985 bis 1995. Umweltbundesamt (Hrsg.).URL: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/bericht/aktuelle-daten/schadstoffe/schwermetalle/HM Prio.pdf>
4. ANONYMUS, 2003: SPSS für Windows. Version 12.0 SPSS Software, München.
5. ANONYMUS, 2006: Düngeverordnung (DüngeVO). Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 10.01.2006. BGBl, I, 2006, S. 20.
6. ANONYMUS, 2007: Dino Selenium – granulierter Kalkdünger mit Selen. URL: <http://www.dino-selenium.de/>.
7. ARO, A., G. ALPHTAN & P. VARO, 1995: Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. *Analyst* **120**, 841-843.
8. BAHNERS, N. & W. HARTFIEL, 1985: Anreicherung von Selen in Raygras (*Lolium italicum*) durch Düngung verschiedener Selenmengen und Selenverbindungen. Kongressband 1985, VDLUFA-Schriftenr. **16**, 503-509.
9. BAHNERS, N., 1987: Selengehalte von Böden und deren Grasaufwuchs in der Bundesrepublik sowie Möglichkeiten der Selenanreicherung durch verschiedene Selendüngungen. Dissertation Bonn.
10. BARROW N.J. & B.R. WHELAN, 1989a: Testing a mechanistic model. VII. The effects of pH and electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil. *J. Soil. Sci.* **40**, 17-28.
11. BARROW N.J. & B.R. WHELAN, 1989b: Testing a mechanistic model. VIII. The effects of time and temperature of incubation on the sorption and subsequent desorption of selenite and selenate by a soil. *J. Soil. Sci.* **40**, 29-37.
12. BISBJERG, B., 1972: Risø. Rep. **200**.

13. BOEHNKE, H.J., A. KLASINK & J. EHLERS, 1997: Selengehalt in Blut von Rindern im Weser-Ems-Gebiet sowie Effekt einer Selendüngung der Weideflächen auf den Selengehalt im Aufwuchs und im Blut von Weiderindern auf einem extremen Selenmangelstandort. Dtsch. Tierärztl. Wschr. **104**, 534-536.
14. BOSTEDT, H. & H. SCHRAMEL, 1981: Vergleichende Untersuchungen über die Selenkonzentration im Blutserum, in der Plazenta, im Myometrium und in der Milch von Kühen mit oder ohne Retentio secundinarium. Zbl. Vet. Med. A. **28**, 529-537.
15. BOSTEDT, H., E. JEKEL & H. SCHRAMEL, 1987: Bestimmungen von Selenkonzentrationen im Blutplasma neugeborener Kälber aus klinischer Sicht. Tierärztl. Prax. **15**, 369-372.
16. BRUß, A., K.-W. BECKER, H. BERGMANN, B. MACHELETT & B. MEYER, 1997: Vorräte und Mobilität von Selen in Böden. Mitt. Deutsche Bodenkundl. Ges. **85**, 221-224.
17. CARY, E.E. & W.H. Allway, 1969: The stability of different forms of selenium applied to low selenium soils. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. **33**, 571-574.
18. CARY, E.E., G.A. WIECZOREK & W.H. ALLAWAY, 1967: Reaction of selenite-selenium added to soils that produce low-selenium forages. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. **31**, 21-26.
19. FIO, J.L., R. FUJII & S.J. DEVEREL, 1991: Selenium mobility and distribution in irrigated and nonirrigated alluvial soils. Soil. Sci. Soc. Am. J. **55**, 1313-1320.
20. FRANCIS, A.J., J.M. DUXBURY & M. ALEXANDER, 1974: Appl. Microbiol. **28**, 248-250.
21. GIRLING, C.A., 1984: Selenium in agriculture and environment. Agric. Ecosystems Environ. **11**, 37-65.
22. GISSEL-NIELSEN, G., 1971: Influence of pH and texture on plant uptake of added selenium. J. Agric. Food Chem. **19**, 1165-1167.
23. GISSEL-NIELSEN, G., 1975: Selenium concentration in Danish forage crops. Acta Agric. Res. Scand. **25**, 216-220.
24. GISSEL-NIELSEN, G., 1993: General aspects of selenium fertilization. Norwegian J. Agric. Sci. **11**, 135-140.
25. GISSEL-NIELSEN, G., U.C. GUPTA, M. LAMAND & T. WESTERMARK, 1984: Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. Adv. Agron. **37**, 397-455.

-
26. GUPTA, U.C. & J.A. MACLEOD, 1994: Effects of various sources of selenium fertilization on selenium concentration of feed crops. *Can. J. Soil. Sci.* **74**, 285-290.
 27. GUPTA, U.C., 1995 : Effects of Selecote [®] ultra and sodium selenate (laboratory vs. Commercial grade) on selenium concentration in feed crops. *J. Plant Nutr.* **18**,1629-1636.
 28. HAMDY, A.A. & G. GISSEL-NIELSEN, 1976a: Volatilization of selenium from soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **139**, 671-678.
 29. HAMDY, A.A. & G. GISSEL-NIELSEN, 1976b: Fractionation of soil selenium. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **139**, 671-678.
 30. HAMDY, A.A. & G. GISSEL-NIELSEN, 1977: Fixation of selenium by clay minerals and iron oxides. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **140**, 63-70.
 31. HARTFIEL, W. & N. BAHNERS, 1987: Selenmangel in der Bundesrepublik Deutschland. *Vita. Min. Spur.* 1987, **2**, 125-135.
 32. HAYGARTH, P.M., A.F. HARRISON & K.C. JONES, 1993: Geographical and seasonal variation in deposition of selenium to vegetation. *Environ. Sci. Technol.* **27**, 2878-2884.
 33. KIRCHGEBNER, M., 2004: Tierernährung. 11.Auflage. Verl. DLG, Frankfurt am Main.
 34. KLAWONN, W., K. LANDFRIEDT, C. MÜLLER, J. KÜHL, A. SALEWSKI & R.G. HEB, 1996: Zum Einfluß von Selen auf Gesundheit und Stoffwechsel von Milchkühen. *Tierärztl. Umschau* **51**, 411-417.
 35. LASER, H., 2004: Pflanzenbauliche Ansätze zur Selen-Versorgung von Mütterkühen und Fleischrindern in Weidesystemen. Habilitation Gießen.
 36. LASER, H., 2005: Untersuchungen zum Bedarf von Schwefel- und Selen-Gaben in extensiven Weidesystemen in Abhängigkeit von Pflanzenbestand und Standort. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **9**, 29-41.
 37. LEVERSQUE, M., 1974: Some aspects of selenium relationships in eastern Canadian soils and plants. *Can. J. Soil. Sci.* **54**, 205-214.
 38. LORENZ, F. & H.J. BOEHNKE, 1999: Selenversorgung des Weideviehs mit selenhaltigen Düngern, 43. Jahrestagung Arbeitsgem. Grünl. u. Futterbau, Bremen, Tagungs. 184-187.
 39. LORENZ, F., 2000: Selen-Düngungsversuch auf Grünland, Mitt. LUFA Nord-West, Oldenburg.

-
40. MC NEAL, J.M. & L.S. BALISTRERI, 1989: Geochemistry and occurrence of selenium: An overview. In: JACOBS, L.W. (ed): Selenium in agriculture and the environment . Proceedings of the symposium of the American Society Agronomy and Soil Science Society of America in New Orleans, LA. SSSA Special Publ. **23**, 1-13.
 41. MCDOWELL, L.R., 1992: Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publisher, San Diego, CA.
 42. MIKKELSEN, R.L., A.L. PAGE & F.T. BINGHAM, 1989: Factors affecting selenium accumulation by agricultural soils. Soil. Sci. Soc. Am. Spec. Publ. **23**, 65-94.
 43. MURPHY M.D. & T.W.A. QUIRKE, 1997: The effect of sulphur/nitrogen/selenium interactions on herbage yield and quality. Irish J. Agric. Res. **36**, 31-38.
 44. NEAL, R.H. & G. SPOSITO, 1991. Selenium mobility in irrigated soil columns as affected by organic carbon amendment. J. Environ. Qual. **20**, 808-814.
 45. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2002: Selenhaltige Mehrnährstoff-Düngergaben und ihr Effekt auf die Selen- und Schwefelkonzentration in Abhängigkeit vom Hauptbestandsbildner, Aufwuchs und Aufwand. German J. Agron. **6**, 84-92.
 46. SCHRAUZER, G.N., 1998: Selen. Neue Entwicklung aus Biologie, Biochemie und Medizin. 3. Aufl., Verl. Johann Ambrosius Barth, Heidelberg, Leipzig.
 47. SCHWARZ, K. & C.L. FOLTZ, 1957: Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. J. Am. Chem. Soc. **79**, 3292-3293.
 48. SEBY, F., M. POTIN GAUTIER, G. LESPÉS & M. ASTRUC, 1997: Selenium speciation in soils after alkaline extraction. Sci. Total Environ. **207**, 81-90.
 49. SHRIFT, A., 1969: Aspects of selenium metabolism higher plants. Annu. Rev. Plant. Physiol. **20**, 475-494.
 50. STÜNZI, H., 1988 : Applikation von Selen auf Dauerwiesen. 1. Wirkung von Selenit und Selenat auf verschiedene Pflanzenarten im Langzeitversuch. Schweiz. Landw. Forsch. **28**, 191-201.
 51. TERRY, N., A.M. ZAYED, M.P. DE SOUZA & A.S. TARUN, 2000: Selenium in higher plants. Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol. **51**, 401-432.
 52. VAN DOORST, S.H. & P.J. PETERSON, 1984: Selenium speciation in the soil solution and its relevance to plant uptake. J. Sci. Food Agric. **35**, 601-605.
 53. White, J.G. & R.J. Zasoski, 1999: Mapping soil micronutrients. Field Crops Res. **60**, 11-26.

-
54. WHITEHEAD, D.C., 2000: Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships. CABI Publishing, Wallingford, UK.
 55. YLÄRANTA, T., 1982: Volatilization and leaching of selenium added to soils. Ann. Agric. Fenn. **21**, 103-114.
 56. YLÄRANTA, T., 1983a: Sorption of selenate and selenite in the soil. Ann. Agric. Fenn. **22**, 29-39.
 57. YLÄRANTA, T., 1983b: Effect of added selenite and selenate on the selenium content of Italian rye grass (*Lolium multiflorum*) in different soils. Ann. Agric. Fenn. **22**, 139-151.
 58. YLÄRANTA, T., 1984: Effect of selenite and selenate fertilization and foliar spraying on the selenium content of timothy grass. Ann. Agric. Fenn. **23**, 96-108
 59. YLÄRANTA, T., 1993: Selenium fertilization in Finland: Selenium soil interactions. Norwegian J. Agric. **11**, 141-149.

8 Anhang

Anhangtab. 1: Se-Konzentration der Aufwüchse in mg/kg TM

Wiederholung	Probetermin	Kontrolle	Selen 1	Selen 2
a	15. Mai	0,009	0,142	0,476
b	15. Mai	0,009	0,269	0,826
a	05. Jun	0,005	0,478	0,481
b	05. Jun	0,005	0,238	0,224
a	25. Jun	0,023	0,160	0,272
b	25. Jun	0,005	0,159	0,144
a	18. Jul	0,016	0,302	0,198
b	18. Jul	0,016	0,134	0,139
a	14. Aug	0,035	0,473	0,473
b	14. Aug	0,042	0,436	0,372

Anhangtab. 2: Cu-Konzentration der Aufwüchse in mg/kg TM

Wiederholung	Probetermin	Kontrolle	Kupfer 1	Kupfer 2
a	15. Mai	5,9	4,5	4,8
b	15. Mai	5,7	4,4	5,0
a	05. Jun	4,3	4,7	3,7
b	05. Jun	3,3	5,0	4,3
a	25. Jun	3,6	5,0	4,8
b	25. Jun	4,0	5,1	4,6
a	18. Jul	3,7	4,4	6,0
b	18. Jul	3,9	4,0	6,5
a	14. Aug	4,3	7,3	5,5
b	14. Aug	3,9	6,7	6,0

Anhangtab. 3: Mn-Konzentration der Aufwüchse in mg/kg TM

Wiederholung	Probetermin	Kontrolle	Mangan 1	Mangan 2
a	15. Mai	74,1	34,4	40,4
b	15. Mai	70,4	35,0	43,6
a	05. Jun	50,8	46,0	28,1
b	05. Jun	69,1	37,1	38,9
a	25. Jun	113,2	40,7	62,2
b	25. Jun	61,8	34,4	81,0
a	18. Jul	80,1	29,5	41,2
b	18. Jul	48,2	24,9	48,5
a	14. Aug	123,4	42,1	40,4
b	14. Aug	84,1	43,0	46,3

Anhangtab. 4: Fe-Konzentration der Aufwüchse in mg/kg TM

Wiederholung	Probetermin	Kontrolle	Eisen 1	Eisen 2
a	15. Mai	173,1	120,3	100,9
b	15. Mai	61,3	97,3	83,6
a	05. Jun	60,8	408,1	48,8
b	05. Jun	62,2	251,2	40,6
a	25. Jun	318,0	245,6	240,4
b	25. Jun	763,8	194,6	217,3
a	18. Jul	54,9	63,5	57,2
b	18. Jul	50,0	76,9	101,8
a	14. Aug	416,7	310,2	58,1
b	14. Aug	294,8	550,1	84,0

Anhangtab. 5: Zn-Konzentration der Aufwüchse in mg/kg TM

Wiederholung	Probe	Kontrolle	Zink 1	Zink 2
a	15. Mai	33,5	23,9	27,1
b	15. Mai	29,4	24,2	28,6
a	05. Jun	20,4	23,9	16,8
b	05. Jun	16,6	23,7	20,2
a	25. Jun	20,9	22,0	23,3
b	25. Jun	18,1	19,8	24,5
a	18. Jul	21,2	14,8	18,1
b	18. Jul	15,3	14,6	18,2
a	14. Aug	17,4	23,2	17,5
b	14. Aug	18,0	20,8	17,2

Anhangtab. 6: Varianztabelle für Se-, Cu-, Mn-, Fe- und Zn-Konzentration

		Se	Cu	Mn	Fe	Zn
Varianzursache	FG	MQ/F-Wert	MQ/F-Wert	MQ/F-Wert	MQ/F-Wert	MQ/F-Wert
Termin	4	0,042 *	1,722**	587,928	79143,562**	52,104**
Fläche	2	0,323**	2,437**	4500,650**	52513,921**	0,044*
Termin * Fläche	8	0,031*	1,912**	277,512	34487,357*	17,573*
Fehler	16	0,011	0,099	208,743	10505,392	2,924
Gesamt	30					

Anhangtab.7: Durchschnittliche TM-Erträge der Versuchsflächen

Termin	Fläche	g TM/m ²
15. Mai	Kontrolle	145,20
05. Jun	Kontrolle	281,06
25. Jun	Kontrolle	118,75
18. Jul.	Kontrolle	164,41
14. Aug.	Kontrolle	34,72
15. Mai	Krack I	142,38
05. Jun	Krack I	83,76
25. Jun	Krack I	179,37
18. Jul.	Krack I	122,77
14. Aug.	Krack I	46,90
15. Mai	Krack II	142,87
05. Jun	Krack II	274,46
25. Jun	Krack II	101,46
18. Jul.	Krack II	97,86
14. Aug.	Krack II	124,25

Anhangtab. 8: Se-Konzentration und TM-Erträge in Abhängigkeit von Probetermin, Fläche und Wiederholung

Wiederholung	Termin	Fläche	g TM/m ²	mg Se/kg TM
a	15. Mai	Kontrolle	143,55	0,009
a	15. Mai	Krack I	135,50	0,142
a	15. Mai	Krack II	135,73	0,476
b	15. Mai	Kontrolle	146,86	0,009
b	15. Mai	Krack I	149,26	0,269
b	15. Mai	Krack II	150,02	0,826
a	05. Jun	Kontrolle	280,61	0,005
a	05. Jun	Krack I	72,89	0,478
a	05. Jun	Krack II	250,71	0,481
b	05. Jun	Kontrolle	281,52	0,005
b	05. Jun	Krack I	94,64	0,238
b	05. Jun	Krack II	298,21	0,224
a	25. Jun	Kontrolle	108,65	0,023
a	25. Jun	Krack I	168,69	0,160
a	25. Jun	Krack II	88,72	0,272
b	25. Jun	Kontrolle	128,85	0,005
b	25. Jun	Krack I	190,06	0,159
b	25. Jun	Krack II	114,21	0,144

- Fortsetzung Anhangtab. 8 -

Wiederholung	Termin	Fläche	g TM/m ²	mg Se/kg TM
a	18. Jul.	Kontrolle	141,24	0,016
a	18. Jul.	Krack I	126,09	0,302
a	18. Jul.	Krack II	100,11	0,198
b	18. Jul.	Kontrolle	187,57	0,016
b	18. Jul.	Krack I	119,45	0,134
b	18. Jul.	Krack II	95,61	0,139
a	14. Aug.	Kontrolle	41,73	0,035
a	14. Aug.	Krack I	47,71	0,473
a	14. Aug.	Krack II	155,02	0,473
b	14. Aug.	Kontrolle	27,71	0,042
b	14. Aug.	Krack I	46,10	0,436
b	14. Aug.	Krack II	93,48	0,372

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch in keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Gießen, den 01.10.2007
