

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 09 "Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement"

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

- Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau -

- Studienarbeit -

**Einfluss der Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen
auf die Glutathionperoxidase-Aktivität von Mutterkühen**

gestellt von: PD Dr. Harald Laser (Erstbetreuer)

Prof. Dr. Dr. h.c. Wilhelm Opitz von Boberfeld (Zweitprüfer)

eingereicht von: Tierarzt Michael Behrendts

Gießen im Februar 2008

Inhalt

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Das Element Selen	2
2.2 Selenvorkommen im Boden	2
2.3 Biologische Funktionen des Selens	3
2.4 Selenbedarf und Selenmangel	6
2.5 Labordiagnostische Bestimmung des Selenstatus	9
2.6 Toxizität	10
2.7 Supplementierung	11
2.8 Arbeitshypothese	14
3 Material und Methoden	16
3.1 Standort	16
3.2 Pflanzenmaterial	17
3.3 Tierbestand	17
3.4 Probenentnahme und -untersuchung	17
3.5 Selendüngung	18
3.6 Statistische Auswertung	18
4 Ergebnisse	20
4.1 Vergleich der Untersuchungsgruppen	20
4.2 Rasseneffekte	21
5 Diskussion	23
5.1 Selenversorgungsstatus von Mutterkühen	23
5.2 Bedeutung der Rasseeffekte und anderer individueller Tiereffekte	24
5.3 Ausblick und weitere Erhebungen	25
6 Zusammenfassung	26
7 Literaturverzeichnis	27
8 Anhang	33

1 Einleitung

Dem Spurenelement Selen kommt in der Tierernährung eine wichtige und vielseitige Bedeutung zu. So lassen sich bei Rindern unter anderem die Krankheitsbilder, wie Myodystrophie, Lebensschwäche und koordinatorische Ausfallerscheinungen bis hin zu Todesfällen eindeutig auf eine unzureichende Versorgung mit Selen zurückführen. Die primäre Ursache für die Mangelzustände liegt im geologisch bedingten Selenmangel, der sowohl in vielen Regionen Deutschlands, wie unter anderem auch in Hessen, als auch global vorkommt. Weltweit sind in starkem Maße vor allem Skandinavien und Neuseeland betroffen. Das den Tieren über die Futterpflanzen als organische Selenoproteine zur Verfügung stehende Selen deckt somit in diesen Regionen den Bedarf nicht ausreichend. Während Selen in der Milchviehhaltung sowie in der intensiven Rindermast gezielt und bedarfsgerecht über die Futterration zugesetzten Mineralfutterpräparate, die Selen in anorganischer Form enthalten, supplementiert werden kann, bedürfen extensiv geführte Weidesysteme zur Haltung von Ammen- und Mutterkühen andere, auf die extensiven Gegebenheiten abgestimmte Strategien der Selen-Supplementierung. Neben den direkten Verfahren über Trinkwasseranreicherung, intraruminale Verweilboli, intramuskuläre Injektionen sowie Mineralstoffpräparate, häufig in Form von Salzlecksteinen, sind ihnen indirekte Supplementierungsverfahren, bei denen selenhaltige Düngemittel ausgebracht werden, in Bezug auf Nachhaltigkeit und Verfügbarkeit überlegen. Bisher konnte bereits nachgewiesen werden, dass nach Ausbringung eines granulierten Kalkdüngers mit Selen der Anteil organischen Selens in den Futterpflanzen gesteigert werden konnte und ein erhöhter Selengehalt in Blut und Milch in Milchviehbeständen auf eine entsprechende Anreicherung des Grundfutters mit Selen zurückzuführen ist. Untersuchungen darüber, wie sich eine entsprechende Düngung auf die Selenversorgung extensiv gehaltener Mutterkuhherden auswirkt, stehen hingegen noch aus. Zu diesem Zweck dient die Aktivität der selenabhängigen Glutathionperoxidase als geeigneter Parameter. In dieser Arbeit soll festgestellt werden, ob das durch Düngung mit Selen angereicherte Pflanzenmaterial in der Lage ist, die Selenversorgung der Mutterkühe zu gewährleisten, um in Betriebenvorliegende Probleme bezüglich des Gesundheitszustands und insbesondere der Reproduktionsleistung der Tiere zu vermindern.

2 Literaturübersicht

2.1 Das Element Selen

Selen, mit dem chemischen Symbol Se, ist mit der Ordnungszahl 34 im Periodensystem in der sechsten Hauptgruppe zwischen Schwefel und Tellur zu finden. Seine Atommasse beträgt 78,96 u (SCHRAUZER 1998; KYRIAKOPOULOS und BEHNE 2004).

Selen ist ein Halbmetall, das in festem Aggregatzustand eine graue, glänzende Oberfläche besitzt. Es ist mit einem Massenanteil von $8 \cdot 10^{-5} \%$ ubiquitär in der Erdhülle zu finden und wird überwiegend bei der elektrolytischen Aufarbeitung sulfidischer Kupfererze gewonnen (HOLLEMANN 1995).

2.2 Selenvorkommen im Boden

Das Selen im Boden stammt aus der Verwitterung des Ausgangsgesteins; dadurch ist die Selenkonzentration abhängig von der Art des Gesteins. Während Material vulkanischen Ursprungs nur niedrige Selenkonzentration enthält, liegen in Sedimentgestein, wie beispielsweise Schiefer, höhere Konzentrationen vor (WILBER 1980). Weiterhin ist der Bodentyp im Zusammenhang mit dem pH-Wert sowie der Niederschlagsmenge entscheidend für den Selengehalt verschiedener Standorte, da hier die Auswaschung der gut wasserlöslichen Selensalze eine große Rolle spielen kann (LANNECK und LINDBERG 1975; SCHRAUZER 1998). In Europa sind selenarme Böden oft in Gebieten ehemaliger eiszeitlicher Gletscher vorzufinden. Das zeigt sich deutlich in Skandinavien (PEHRSON et al. 1999). In Deutschland besteht hinsichtlich der Bodenselengehalte der Bundesländer ein Nord-Süd-Gefälle mit einem Maximum von etwa $0,2 \text{ mg Se kg}^{-1}$ Boden in Schleswig-Holstein und einem Minimum von weit unter $0,1 \text{ mg Se kg}^{-1}$ Boden in Bayern. Das Bundesland Hessen bildet hier mit ca. $0,15 \text{ mg Se kg}^{-1}$ ein Mittelfeld, wobei auch dort punktuell Standorte mit weit unterdurchschnittlicher Selenversorgung vorliegen (HARTFIEL und SCHULTE 1988; MATHIS et al. 1982; HARTFIEL und BAHNERS 1986; ANKE et al. 1998). Global gesehen weisen Teile Chinas, Neuseelands und Australiens Selenmangelgebiete auf. Im

Südwesten der USA, Israel und Venezuela liegen hingegen teilweise derart hohe Selenkonzentrationen im Boden vor, dass die dortige Vegetation für Herbivoren toxische Werte erreichen kann. Dieses äußert sich in einer sog. Selenose (GASNIER 2002).

2.3 Biologische Funktionen des Selens

Entdeckt wurde das Element Selen 1817 durch den schwedischen Chemiker Berzelius. Es wurde zunächst als Umweltgift und Kanzerogen betrachtet. Erst 1957 wiesen SCHWARZ und FOLTZ die biologische Bedeutung von Selen im Rahmen von Versuchen nach, in denen nekrotische Leberdegenerationen an Ratten durch Selenwirkung verhindert werden konnten. Auch bei anderen Tierarten konnte später die Essentialität des Selens manifestiert werden. Selen wird im Organismus überwiegend in Proteine integriert, indem es bei schwefelhaltigen Aminosäuren die Position des Schwefels einnimmt. FLOHÉ et al. (1973) und ROTRUCK et al. (1973) konnten Selen als integralen Bestandteil der Glutathionperoxidasen nachweisen. Als Selenocystein im aktiven Zentrum der Glutathionperoxidase schützt Selen synergistisch mit Vitamin E (α -Tocopherol) vor der destabilisierenden Zerstörung von Zellmembranen und Nichtmembranproteinen durch in Stoffwechselfvorgängen, insbesondere im Fettsäurestoffwechsel, freiwerdende Peroxide (ROTRUCK et al. 1973; GÜNSTER & FRÖLEKE 1986). Selen kann somit als Radikalfänger bezeichnet werden. Obwohl sich Vitamin E und Selen bei einem einseitigen Mangel in geringem Maße gegenseitig kompensieren können, ist eine vollständige Substitution des oxidativen Schutzes durch die Selenoproteine kann durch antioxidative Vitamine, wie neben Vitamin E noch Vitamin A und Vitamin C nicht gewährleistet, wie CHENG et al. 1999 tierexperimentell zeigen konnten.

Die wichtigste biochemische Rolle im Organismus kommt dem Selen als zentraler Bestandteil der Wirkungsgruppe in den Glutathionperoxidasen zu. Als Tripeptid, zusammengesetzt aus den Aminosäuren Glutamat, Glycin und Cystein hat die Glutathionperoxidase die Fähigkeit, beim peroxidativen Fettabbau entstandene Lipidhydroperoxide zu Wasser zu reduzieren. Dadurch wird der so genannte oxidative Stress bei Verschiebung des Redox-Gleichgewichts zugunsten einer verstärkten Radikalbildung vermieden (HARTFIEL und BAHNERS, 1986).

Im Gegensatz dazu kommt dem Vitamin E eher die Funktion des Schutzes vor Oxidation zu. Aufgrund der hydrophoben Eigenschaft ist Vitamin E speziell im Bereich der Lipid-Zellmembranen lokalisiert. Demgegenüber ist die Glutathionperoxidase mit ihren hydrophilen Eigenschaften vor allem in den hydrophilen Fraktionen der Zellen, zusätzlich allerdings auch im Bereich der Zellmembranen lokalisiert. Daran zeigt sich, dass beide Faktoren zur Vermeidung oxidativ bedingter Schädigungen erforderlich sind, aber Vitamin E bei Selenmangel keinen uneingeschränkten Schutz vor klinischen und subklinischen Mangelerscheinungen bietet (HARTFIEL & BAHNERS 1985; MCDOWELL et al. 1996; SCHRAUZER 1998). Im Gegensatz zu den nur lokal wirkenden antioxidativen Molekülen fungiert Selen in Form der Selenoproteine zusätzlich in starkem Maße ubiquitär vernetzt in Zellplasma sowie in Zellkompartimenten und Organellen, wie den Mitochondrien und den Nuklei (ROCHER et al. 1992).

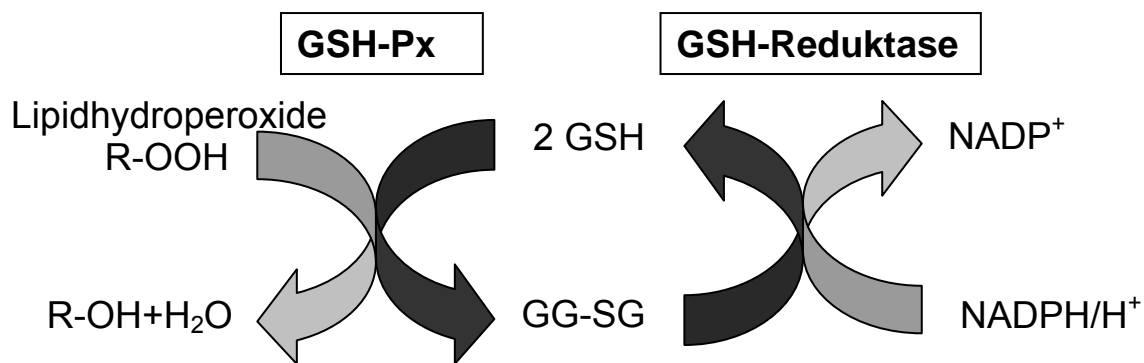


Abb. 1: Funktion der Glutathionperoxidase bei der Eliminierung von Lipidhydroperoxiden (modifiziert nach HARTFIEL & SCHULTE 1988)

In Säugetieren sind vier Arten der Glutathionperoxidase (GSH-Px) bekannt. Sie alle dienen der Reduktion von Hydroperoxiden. Lediglich die Verteilung im Organismus stellt sich differenziert dar. Die Glutathionperoxidase 1 ist ubiquitär anzutreffen und zeigt ihre höchste Konzentration in der Leber sowie in den Erythrozyten. Sie kann dort als Selen-Depot angesehen werden. Die Bestimmung ihrer Aktivität im Vollblut ist eine anerkannte Methode zur Ermittlung der Selenversorgung. Weitere Bezeichnungen hierfür sind zytosolische, erythrozytäre oder klassische Glutathionperoxidase.

Die Glutathionperoxidase 2 ist vor allem im Gastrointestinaltrakt zu finden. Die Glutathionperoxidase 3 befindet sich im Plasma. Die Glutathionperoxidase 4 ist

neben ihrem ubiquitären Vorkommen auch im Hoden wirksam, wo sie an der Bildung von Strukturproteinen des Schwanzstücks von Spermien im Zuge der Spermatozoidentwicklung beteiligt ist (SCHRAUZER 1998).

Selen wird mit einem Gehalt von $\leq 50 \text{ mg kg}^{-1}$ Körpermasse (KM) den Spurenelementen zugeordnet. Da dessen Abwesenheit oder Mangel zu Beeinträchtigungen von Körperfunktionen bis hin zu klinischen Symptomen führen kann spricht man von einem essentiellen Spurenelement.

Als Bestandteil der Jodtyronin-Dejodasen katalysiert Selen die Dejodation des biologisch inaktiven Schilddrüsenprohormons Thyroxin T4 in die aktive Form Trijodtyronin T3 (CONTRERAS et al. 2002) und ist somit von Bedeutung für die Steuerung im Sinne einer Beschleunigung oxidativer Prozesse im Energiestoffwechsel, sowie der Steuerung von Wachstums-, Differenzierungs- und Entwicklungsprozessen.

Weiterhin ist Selen bei Wiederkäuern in diverse Immunabwehrmechanismen involviert und kann sich demnach durch eine Stärkung der Abwehrkräfte positiv auf den allgemeinen Gesundheitszustand auswirken. Zusammen mit Vitamin E bewirkt Selen den Schutz von Leukozyten und Makrophagen während der Phagozytose (MCDOWELL et al. 1996). Konkret wurde bei Selenmangel eine verminderte Widerstandsfähigkeit gegenüber *Candida spec.*, *Escherichia coli* und *Staphylokokkus aureus* festgestellt (BOYNE & ARTHUR 1979; GYANG et al. 1984). Bei einer ausreichenden Selenversorgung wurde außerdem eine geringere Zahl somatischer Zellen in der Milch und eine geringere Inzidenz subklinischer und klinischer Mastitiden festgestellt, was die entzündungshemmende Wirkung beweist (HEMINGWAY 1999). Ein positiver Einfluss von Selen auf die männliche und weibliche Fertilität konnte 1999 durch UNDERWOOD & SUTTLE beschrieben werden.

Die Resorption und Verteilung des nutritiv zugeführten Selens hängen von der jeweiligen Spezies der Selenverbindung, zusätzlich aufgenommenen Antagonisten bzw. Synergisten, Aufnahmezeitraum, Disposition, Konstitution sowie der Tierart ab (COMBS & COMBS 1984, 1986; WÜRMLI 1989). Bei Wiederkäuern werden Selenverbindungen im Pansen entweder mikrobiell in Selenomethionin oder Selenocystein überführt, welches dann überwiegend im Ileum und Duodenum resorbiert wird. Ein anderer Teil (ca. 40 %) der aufgenommenen anorganischen Selenverbindungen kann außerdem intraruminal zu schwer- bzw. unlöslichen Metallseleniden reduziert werden (STRÖHLEIN 2007; WOLFRAM & SCHARRER 1986;

COMBS & COMBS 1986, ANGELOW & ANKE 1987). Der weitere Transport in die verschiedenen Zielgewebe, vor allem in die Muskulatur erfolgt auf dem Blutweg als Selenocystin, welches an Plasmaproteine gebunden oder in der Glutathionperoxidase der Erythrozyten lokalisiert ist. Die Selenkonzentration im Plasma ist i.d.R. niedriger, als die der Erythrozyten und ist stärkeren Schwankungen unterworfen, in Abhängigkeit von der Selenresorption. In der Verteilung des Selens im Tierkörper nehmen die Konzentrationen in verschiedenen Organen von Spermien über Niere, Schilddrüse, Hypophyse, Leber, Pankreas, Herz bis hin zur Skelettmuskulatur ab. Relativ betrachtet enthalten die Muskeln jedoch einen hohen Anteil des Gesamtkörperselens (GRAMM et al. 1992; COMBS & COMBS 1988). Ausgeschieden wird Selen über Harn, Kot, Atemluft und Milch (WIESNER et al. 1974).

2.4 Selenbedarf und Selenmangel

Nach Empfehlungen des National Research Council (NRC) wird der Bruttobedarf an Selen für Rinder aller Altersstufen auf mindestens $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter-Trockenmasse (TM) beziffert (ANONYMUS 1996). Andere Autoren beziffern den Selenbedarf auf $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ TM (HARTFIEL & BAHNERS 1982). Durch eine erhöhte physiologische Belastung und kurzfristige Stresssituationen der Tiere wie im Fall von Infektionen, Geburt, Hochlaktation, Transportstress, Überbelegung oder schlechter Futterqualität, z.B. bei einem zu hohen Anteil ungesättigter Fettsäuren in der Ration, ist der Bedarf an Selen erhöht. Ein vorliegender Selenmangel wirkt sich dann verstärkt negativ aus und kann nur schwer durch Vitamine und andere Antioxidantien substituiert werden (BEHNE & KYRIAKOPOULOS 2001).

Auf selenarmen Standorten mit einem Bodenselengehalt von $< 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ Selen kann der Bedarf allein über das Grundfutter oft nicht gedeckt werden (SCHOLZ & STÖBER 2006). Häufig wird ein fütterungsbedingter Selenmangel bei extensiver Rinderhaltung beobachtet, da die Ernährung aus Kostengründen oft nur aus wirtschaftseigenen Futtermitteln gestellt wird.

Die Aufnahme anorganischen Selens in Form von Selenit durch die Futterpflanzen kann vermindert sein oder durch antagonistisch wirkende Elemente im Boden, wie Schwefel, Arsen oder Schwermetalle negativ beeinflusst werden. Eine Überdüngung von

Weideland mit sulfathaltigen Düngern, z.B. Ammoniumsulfat hat ähnliche Effekte. Zudem kann es insbesondere zu Beginn der Vegetationsperiode durch ein schnelles Wachstum der Biomasse zu einem Verdünnungseffekt kommen (TÖNEPÖHL 2007). Nach der Werbung des Grünfutters und einer eventuellen Weiterbehandlung und Konservierung zu Heu oder Silage, insbesondere bei Nutzung von Propionsäure, setzt eine fortschreitende Verminderung des Selen- und in noch stärkerem Maße des Vitamin E-Gehaltes ein (GRÜNDER & AUER 1995).

Auch Kälber, deren Milchaustauscher nur aufgefettet und nicht mit Selen und Vitamin E angereichert wurde, können in eine Mangelsituation geraten.

Bei Kälbern äußert sich Selenmangel hauptsächlich in der nutritiven Myodystrophie (NMD), die auch unter enzootischer Myodystrophie oder aufgrund des typischen pathologisch-anatomischen Erscheinungsbildes unter Weißmuskelkrankheit bekannt ist (BOSTEDT 1979). Beschrieben wurde das Vorkommen dieser Krankheitsform bereits 1884 (FÜRSTENBERG 1884). Zu unterscheiden sind bei dieser Erkrankung der juvenilen Rinder die kongenitale und die postnatale Form der NMD. Die intrauterin präformierte kongenitale NMD ist die Folge eines mit Selen unterversorgten Muttertieres mit einem daraus folgenden verminderten diaplazentaren Transport dieses Elements (BOSTEDT 1980). Diese Form äußert sich in einer erhöhten Anzahl von Geburten toter oder lebensschwacher Kälber. Die Lebensschwäche zeigt sich in den ersten Lebenstagen in übermäßigem Liegen bis hin zum Festliegen oder in Koordinationsproblemen des Kopf und der Gliedmaßen. Daraus sowie aufgrund eines verminderten Zungentonus und Saugreflexes resultiert zusätzlich noch eine Trinkschwäche und dementsprechend eine unzureichende Kolostrumversorgung. Oftmals führen Störungen der Atemtätigkeit und der Herzfunktion innerhalb einiger Tage zum Tod (SCHOLZ & STÖBER 2006). Bei ausreichender präpartaler Versorgung kann Vitamin E zwar wie Selen in hohen Konzentrationen im Kolostrum enthalten sein. Im Gegensatz zu Selen findet aber kein wesentlicher diaplazentarer Transfer von Vitamin E zum Fetus statt, was eine ausreichende präpartale Selenversorgung für die fetale Entwicklung erforderlich macht (McDOWELL et al. 1996).

Die postnatale NMD betrifft vorwiegend ein bis vier Monate alte Saug- bzw. Tränkekälber, die in der frühen postnatalen Entwicklungsphase ein unzureichendes Selenangebot seitens des Kolostrums und der maternalen Milch, oder durch nicht ausreichend mit Vitamin E und Selen angereicherten Milchaustauscher erhalten haben. Begünstigt wird diese Form durch Durchfallerkrankungen, die häufig die

entsprechende Altersstufe betreffen. Je nach der Lokalisation der vorliegenden degenerativen Schädigungen treten lokomotorische, respiratorische oder zirkulatorische Funktionsstörungen auf. Entsprechend ihrer Manifestationen verläuft die Erkrankung unbehandelt entweder perakut mit dem so genannten plötzlichen Herztod, akut als myopathisch-dyspnoisches Syndrom, bei dem es durch verminderten Schluckreflex auch zu Aspirationspneumonien kommen kann, oder protrahiert, was sich in Bewegungsstörungen und vermehrter Infektionsanfälligkeit äußert (SCHOLZ & STÖBER 2006; BOSTEDT et al. 1987; ANKE et al. 1983; SCHRAUZER 1998).

Adulte Rinder, in einem Alter von etwa 8-20 Monaten, können bei einer unzureichenden Selen- und Vitamin E-Versorgung eine oft bestandsweise gehäufte paralytische Myoglobinurie ausprägen. Diese tritt häufig kurz nach Weideauftrieb im Frühjahr als so genannte Anpassungsmiopathie auf. Ursächlich hierfür sind, durch ungenügende Vitamin E- /Selen-Versorgung, vor oxidativen Einflüssen ungeschützte Myofibrillen der Skelett- oder Atmungsmuskulatur in Kombination mit plötzlichen körperlichen Belastungen. Nach der Fütterung im Winter über konserviertes Grünfutter mit erniedrigtem Gehalt an Selen und Vitamin E ist der hohe Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im jungen Grasaufwuchs besonders bedenklich für die Tiergesundheit (DOLL & LASER 2007). Symptomatisch treten bei den Tieren zunächst Bewegungsunlust, Gangunsicherheiten und Probleme beim Aufstehen auf, welches zum Festliegen des Tieres führen kann. In Einzelfällen kann es auch hier im Verlauf der perakuten Weidemyopathie bei Vorliegen einer Kardiomyodystrophie zu plötzlichen Todesfällen kommen. Als Folge der Myodegeneration ist der Urin der Tiere rötlich bis bräunlich verfärbt und kann getrübt sein (BOSTEDT 1980; McDOWELL 1998; SCHOLZ & STÖBER 2006). Pathologisch weisen alle selenmangelbedingten Myopathien hyaline Degeneration und scholligen Zerfall der Myofibrillen auf. Entzündungs- und Reparationsbedingte Fibrosen und dystrophische Verkalkungen sorgen für die typische so genannte Weißfleischigkeit (SCHOLZ & STÖBER 2006; BOSTEDT & SCHRAMMEL 1987).

Von Bedeutung für die Rinderzucht ist, dass bei einer unzureichenden Selenversorgung Fertilitätsstörungen zu beobachten sind. So kann zum einen die Qualität und Vitalität der Spermien eingeschränkt sein. Zum anderen wurden selenmangelbedingte Frühaborte ca. drei bis vier Wochen post conceptionem und auch Spätaborte beobachtet (UNDERWOOD & SUTTLE 1999; HARTLEY 1963; KLAUWONN

et al. 1996). Zusätzlich waren Fruchtbarkeitsparameter, wie die Erstbesamungsrate und die Konzeptionsrate bei selenunterversorgten Tieren niedriger als bei entsprechenden Kontrolltieren (ANKE et al. 1998). Untersuchungen ergaben, dass die selenabhängige Glutathionperoxidase im multifaktoriellen Ablösemechanismus der Plazenta eine Rolle spielt, so dass davon auszugehen ist, dass eine unzureichende Selenversorgung eine von vielen möglichen Ursache für das Auftreten eines verzögerten Abgangs der Plazenta, sechs bis zwölf Stunden post partum (p.p.). Daraus kann sich eine Retentio secundinarum, von der man bei einem ausbleibenden Abgang der Nachgeburt von mehr als zwölf Stunden p.p. spricht (BOSTEDT & SCHRAMEL 1983; JULIEN et al. 1976), entwickeln. Mögliche Folgen einer Retentio secundinarum sind puerperale Infektionen und Intoxikationen sowohl im Bereich des Endometriums als auch systemisch, sowie spätere Fruchtbarkeitsstörungen bekannt. Solche Verläufe gehen meist mit einer verminderten Milchleistung bis hin zum möglichen Verlust des Tieres einher.

HEMINGWAY beschreibt 1999 die Bedeutung der Glutathionperoxidase-Aktivität neben anderen Faktoren wie Melktechnik, Hygiene und Umweltfaktoren, zur Vermeidung subklinischer und klinischer Mastitiden. Einerseits wirkt sie sich positiv auf die Aktivität der glatten Muskelzellen zum Schluss des Strichkanals nach dem Milchentzug aus und andererseits fördert sie die Phagozytose unter anderem von *Candida spec.* und *Staphylokokkus aureus* durch neutrophile Granulozyten.

2.5 Labordiagnostische Bestimmung des Selenstatus

Alle oben genannten Symptome lassen aufgrund ihrer geringen Spezifität nur die Verdachtsdiagnose einer Selenmangelversorgung zu und müssen daher von möglichen Differentialdiagnosen unterschieden werden. Zu diesem Zweck existieren unterschiedliche Untersuchungsmethoden, um Rückschlüsse auf den Selenstatus von Wiederkäuern ziehen zu können.

Der direkte Nachweis von Selen kann mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) aus Proben von Blutplasma, Blutserum, Vollblut oder Erythrozyten sowie aus Haarproben erfolgen (SUNDE 1990; PAVLATA et al. 2001). Als indirekter Nachweis des Selenstatus besitzt die Bestimmung der Glutathionperoxidase-Aktivität in den Erythrozyten eine große klinische Relevanz. Die Selengehalte im Plasma oder Serum spiegeln nur ein sehr kurzfristiges Fenster der Selenversorgung wider und

sind stark abhängig von der derzeitigen Selenaufnahme (BAYER 1996). Die Bestimmung der Glutathionperoxidase-Aktivität stellt jedoch eine präzisere Methode zur Erhebung des Selenstatus dar, da in diesem Fall die Bioverfügbarkeit sowie der aufgrund der längeren Überlebenszeit der Erythrozyten eher langfristige Trend der Selenkonzentration, ohne kurzfristige nutritivbedingte Schwankungen, berücksichtigt wird (SUNDE 1990). Dennoch wurde eine lineare Korrelation zwischen dem Selengehalt des Blutes und der erythrozytären Glutathionperoxidase-Aktivität festgestellt (PAVLATA et al. 2001), was die Aussagekraft dieser indirekten Nachweismethode unterstützt.

Über die Beurteilung der Selenversorgung aufgrund der Aktivität der Glutathionperoxidase der Erythrozyten liegen laut SCHOLZ & STÖBER (2006) verschiedene, laborabhängige Beurteilungsstufen vor. Nach Angaben der VETERINARY RESEARCH LABORATORIES, BELFAST (1996) liegt bei einem GSH-Px-Wert von $\leq 60 \text{ U g}^{-1} \text{ Hb}$ eine Mangelsituation vor. Eine Glutathionperoxidase-Aktivität von $> 130 \text{ U g}^{-1} \text{ Hb}$ belegt dagegen eine ausreichende, adäquate Selenversorgung, wie in Tab. 1 dargestellt ist.

Tab. 1: Beurteilung der Selenversorgung anhand der Aktivität der Glutathionperoxidase

	Selenversorgung		
	ausreichend	marginal	defizitär
erythrozyräre GSH-Px [$\text{U g}^{-1} \text{ Hb}$]	> 130	61 - 130	≤ 60

2.6 Toxizität

Selen ist einer der Mikronährstoffe mit der geringsten therapeutischen Breite (ANONYMUS 2002). Daher ist neben der Essentialität und der präventiven Wirkung die Gefahr einer Selenintoxikation nicht zu unterschätzen ist. So kann der Verzehr von Futterpflanzen mit übermäßigem Gehalt organisch oder anorganisch gebundenen Selens, oder eine direkte Überdosierung dieses Spurenelements eine Intoxikation, als Selenose bekannt, hervorrufen, die je nach Wirkstoffmenge und Aufnahmeweise

akut, mit zentralnervösen und respiratorischen Erscheinungen, oder chronisch, mit pathologischen Veränderungen von Gelenken, Herz, Leber und Klauen bis hin zum Ablösen der Klauenschuhe, verlaufen kann. Bekannt geworden ist diese Symptomatik Ende des 19. Jahrhunderts als sogenannte Alkali disease amerikanischer Militärpferde, die nach kontinuierlicher Aufnahme selenakkumulierender Pflanzen erkrankten (COMBS & COMBS 1986). Die akute Form kann bei einer einmaligen Aufnahme größerer Mengen selenhaltiger Pflanzen (2,0 – 10,0 mg Se kg⁻¹ KM) oder durch versehentliche parenterale Applikation von $\geq 1,0$ mg Se kg⁻¹ KM ausgelöst werden. Die chronische Selenose resultiert aus einer täglichen Ingestion von $\geq 0,15$ mg Se kg⁻¹ KM resultiert (STÖBER 2002; GISSEL-NIELSEN et al. 1984). Nach dem National Research Council der USA (NRC) ist allerdings eine langfristige tägliche Aufnahme von $< 2,0$ mg Se kg⁻¹ KM noch tolerierbar (ANONYMUS 1996). Die toxische Wirkung des Selens kann durch Verdrängung des Schwefels aus Sulfhydrylverbindungen, Hemmung von Enzymsystemen, Störungen des Porphyrin- und Kreatininstoffwechsels sowie von Methylierungsvorgängen erklärt werden. Die orale Aufnahme von Selen und dessen Verbindungen in übermäßig hohen Dosen kann sogar Verätzungen und Kontaktdermatitis der Mundschleimhaut sowie starke gastrointestinale Symptome hervorrufen (FALBE & REGITZ 1995).

2.7 Supplementierung

Um einen Selenmangel bei Rindern zu vermeiden bieten sich verschiedene Strategien der Selensupplementierung an. In der Milchviehhaltung und in der intensiven Rindermast lassen sich Mineralfutterzusätze, die anorganisches Natriumselenit enthalten, bedarfsgerecht z.B. über die Grundfuttermischung oder als Ergänzung zum Kraftfutter gezielt zufügen. Bei Weidesystemen, insbesondere bei extensiven, ist dies nicht möglich und es sind andere Maßnahmen der Selenergänzung erforderlich (HIDIROGOU et al. 1985, 1987, MCDOWELL 1996). Aufgrund der oben genannten geringen therapeutischen Breite muss eine zusätzliche Selenverabreichung allerdings sehr genau den Anforderungen und dem Bedarf der Tiere angepasst sein.

Als direkte Methoden der Ergänzung besteht die Möglichkeit, das Trinkwasser anzureichern oder Selen in Form von Lösungen oder Pasten oral zu verabreichen, dem so genannten Drenchen. Es können weiterhin über Eingabesonden Verweilboli,

Rumen-Pellets oder osmotische Pumpen verabreicht werden, die gemäß der Vormagenmotorik im Retikulum oder Rumen verbleiben, um kontinuierlich eine

definierte Menge an Mikronährstoffen in Lösung zu überführen. Sehr gezielt dosierbare Maßnahmen sind subkutane oder intramuskuläre Injektionen von Vitamin E- / Selen-Kombinationspräparaten. Weniger bedarfsgerecht dagegen ist die ad libitum Supplementierung durch selenhaltige Mineralsalzmischungen, welche meist als Salzleckstein gebräuchlich sind (McDOWELL 1996).

Die Selenergänzung über das Trinkwasser ist aufgrund einer zu großen Variabilität vieler Faktoren problematisch. Es darf zunächst neben der präventiven Tränke kein weiteres Wasserangebot zugänglich sein. Weiterhin schwankt die tägliche Wasseraufnahme der Wiederkäuer in großem Maße, da sie durch genetische, physiologische und umweltbedingte Faktoren, wie Niederschlagsmenge, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung beeinflusst wird (MEHLHORN 1979; McDOWELL 1996). Obwohl eine regelmäßige orale bzw. parenterale Verabreichung selenhaltiger Pasten bzw. Lösungen sehr effektiv sein kann, so ist dies, unter Berücksichtigung des bei anorganischen Selenverbindungen erforderlichen ein- bis dreimonatigen Wiederholungsintervalls, in extensiven Weidesystemen, aufgrund eines hohen zusätzlichen Arbeitsaufwands, erschwerten Handlings der großen Wiederkäuer und des unverhältnismäßig hohen Stressfaktors durch die Manipulation der Tiere, nur als eine suboptimale Maßnahme zu betrachten (BOSTEDT & SCHRAMMEL 1981; GRÜNDER & AUER 1995; McDOWELL 1996; UNDERWOOD & SUTTLE 1999). Bei eingegebenen Verweilboli besteht unter Umständen auch eine Unsicherheit bezüglich der dem Entwicklungsstand der Tiere anzupassenden Dosierung und Wirkungsdauer (UNDERWOOD & SUTTLE 1999). Die in der Anschaffung eher kostengünstigen selenhaltigen Salzlecksteine unterliegen starken individuell und zeitlich variierenden Nutzungsschwankungen, so dass eine Diskrepanz entstehen kann zwischen gering versorgten, wenig konsumierenden Tieren und solchen, bei denen aufgrund der Aufnahme zu großer, u.U. toxischer Mengen der angebotenen Mineralstoffe, der mögliche Schaden größer sein kann als der angestrebte Nutzen (McDOWELL 1996).

Als indirekte Maßnahme der Selen-Supplementierung zur Steigerung der Selenkonzentration des Grundfutters besteht die Möglichkeit der Selen-Applikation mittels selenhaltiger Düngemittel, wie es bereits in Finnland seit einigen Jahren erfolgreich praktiziert wird (VARO 1993). Da Selen keinen essentiellen Pflanzennährstoff darstellt (TERRY et al. 2000), ist dessen Ausbringung gemäß Düngemittelverordnung (ANOYMUS 2007) nur als Zusatz in Kombinationspräparaten

zulässig, wobei Selenkonzentrationen $> 5 \text{ mg Se kg}^{-1}$ Dünger-TS durch den Hersteller zu deklarieren sind. Vor 2003 wurden lediglich durch den Produktionsprozess eingetragene Selengehalte toleriert.

Die Selenkonzentration in wirtschaftseigenen Düngern ist sehr variabel und hängt von der Tierart, der jeweiligen Beschaffenheit und besonders auch von der Versorgungslage der Tiere mit Selen ab. Zudem ist die Verfügbarkeit organisch gebundenen Selens für die Pflanzen als gering anzusehen.

Eine Düngung in Form von Selenat ist im Hinblick auf die Anreicherung des Selens im Pflanzenmaterial effektiver als eine entsprechende Menge in Form von Selenit oder selenangereicherter organischer Substanz (YLÄRANTA 1983b, 1993; BAHNERS & HARTFIEL 1985; STÜNZI 1988; AJWA et al. 1998). Selenat wird im Boden nur schwach sorbiert, was die Aufnahme über die Wurzeln und die Translokation in den Spross erleichtert. Selenit dagegen ist überwiegend an partikuläre Bodenbestandteile gebunden (YLÄRANTA 1983a, b, 1984; VAN DOORST & PETERSON 1984; GISSEL-NIELSEN 1993; TERRY et al. 2000; LASER 2004). Es wurde bereits festgestellt, dass eine Selenapplikation von 4-10 g Se/ha in Form von Natriumselenat u.a. mittels Flüssigapplikationsverfahren ausreicht, um Selenmangel auf Grünland vorzubeugen. Jedoch konnten dabei nur kurzfristige Effekte beschrieben werden (OPITZ v. BOBERFELD 2002; LASER 2004). Seit einigen Jahren wird in Neuseeland, Australien und Amerika erfolgreich der in Deutschland nicht handelsfähige Selendünger Selcote[®] ultra, der 1 % Selen in Form von Barium- und Natrium-Selenat enthält, zur Selensupplementierung auf Grünland genutzt. Bei einer Aufwandmenge von 0,5 bis 1,0 kg ha⁻¹ kann eine ausreichende Selenversorgung von Milchvieh gewährleistet werden. Der dagegen auch in Deutschland erhältliche granuliert Kalkdünger mit Selen, Dino Selenium[®], ermöglicht Steigerungen der Selenkonzentration im Grünland von teilweise mehr als 0,4 mg Se kg⁻¹ TM. Der Vorteil dieser Verbindungen ist der slow-release-Effekt des Barium-Selenats, der dem kombinierten Düngemittel eine Depotwirkung für Selen im Grünlandaufwuchs ermöglicht (TÖNEPÖHL 2007). So wird nach einer einmaligen Ausbringung von 5 kg ha⁻¹ des 0,2 % Selen enthaltenen Düngers, mit Kalkgranulat als Trägersubstanz, zu Beginn der Vegetationsperiode, nach ersten Niederschlägen zunächst Natrium-Selenat freigesetzt und innerhalb der nächsten Wochen in pflanzliche Selenoproteine integriert, und im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode dient Barium-Selenat im Boden als Depot, welches in der

Lage ist, den Pflanzen kontinuierlich Selen zur Verfügung zu stellen (TÖNEPÖHL 2007; ANONYMUS 2007).

2.8 Arbeitshypothese

Aus der Literaturübersicht lässt sich für diese Arbeit zusammenfassen:

- Selen ist ein für Tiere essentielles Spurenelement, da es bedeutsame enzymatische und strukturelle Funktionen des Körpers unterstützt oder sogar erst ermöglicht.
- Selenmangel äußert sich unter anderem in einer Schwächung des Immunsystems, in verminderter Fertilität männlicher und weiblicher Tiere, in Dystokien, Myopatien und Herzfunktionsstörungen mit zum Teil letalem Ausgang.
- Um Mangelsymptome bei Rindern zu vermeiden, wird ein Selengehalt im Futter von mindestens $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ TS empfohlen. Ab einen Gehalt von $2,0 \text{ mg Se kg}^{-1}$ TS muss jedoch mit toxischen Wirkungen gerechnet werden.
- Da Grünlandaufwüchse in vielen Teilen Deutschlands nicht den Selenbedarf von Wiederkäuern decken können, sind zur Prophylaxe bzw. Therapie der genannten Symptome Maßnahmen zur Selensupplementierung erforderlich.
- In der Milchviehhaltung haben sich direkte Applikationen, insbesondere prophylaktisch über angereichertes Mineralfutter oder Verweilboli, als auch therapeutisch über Injektionen bewährt.
- Zur Selenanreicherung des Grundfutters kann in Milchviehbetrieben, insbesondere aber in extensiven Weidesystemen, z.B. zur Haltung von Mutterkuhherden, eine einmalige Ausbringung selenhaltiger Düngemittel pro Jahr zu Beginn der Vegetationsperiode eine bedarfsgerechte Selenversorgung von $> 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ TS gewährleisten.
- Die Ermittlung des Selen-Versorgungsstatus von Rindern, gemessen anhand der Aktivität der selenabhängigen erythrozytären Glutathionperoxidase besitzt eine bessere biologische Aussagekraft und dementsprechend eine größere klinische Relevanz, als die direkte Selenbestimmung im Blut.

Aus der Zusammenfassung lassen sich folgende Fragestellungen ableiten:

-
- Gelingt es, den erforderlichen Selen-Versorgungsstatus von Mutterkühen, gemessen anhand der Glutathionperoxidase-Aktivität, durch die Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen sicherzustellen?
 - Welchen Einfluss hat die Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf die Glutathionperoxidase-Aktivität von Mutterkühen?
 - Gelingt es, Selenmangelsituationen von Rindern durch das Angebot von Grünlandaufwüchsen mit ausreichender Konzentration an organischen Selenverbindungen zu vermeiden?
 - Liegt ein gleichmäßiger Selen-Versorgungsstatus innerhalb einer Herde vor oder sind individuelle Unterschiede nachweisbar?
 - Bestehen Abhängigkeiten zwischen der Glutathionperoxidase-Aktivität und der Rasse der Tiere sowie anderer Tiereffekte?

3 Material und Methoden

3.1 Standort

Der Standort der Beweidungsflächen für die untersuchten Tiere lag im Umland von Rudlos, einem Ortsteil von Lauterbach am Nordosthang des Vogelsbergs. Die Flächen lagen auf einer Höhe von etwa 400 m ü. NN und es liegt dort ein durchschnittlicher Jahresniederschlag von ca. 500 mm qm^{-1} vor. Die Flächen wurden vom Lehr- und Versuchsbetrieb Rudlos, das dem Institut für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Giessen zugeordnet ist, bewirtschaftet. Die 420 ha landwirtschaftliche Nutzfläche wurden jeweils etwa zur Hälfte ackerbaulich und als Dauergrünland, in Form von Stand- und Umtriebsweiden, Mähstandweiden und Wiesen, genutzt. Der Bestand an Rindern des Betriebes besteht aus Mutterkühen der Rassen Dt. Fleckvieh und Dt. Angus mit jeweils etwa 140 Tieren. In den Sommermonaten wird den Tieren Weidegang, teilweise mit einem Besamungsbullen, ermöglicht. Im Winter werden die Tiere in verschiedenen Tieflaufställen gehalten und die Fütterung, bestehend aus Grassilage, Maissilage und Stroh erfolgte mit einem Futtermischwagen. Als Selenquellen wurden den Tieren Mineralsalz-Lecksteine angeboten. Die Kälber erhielten postnatale Seleninjektionen. Im vorliegenden Versuch wurde der selenhaltige Kalkdünger Dino Selenium[®] eingesetzt werden, um dessen Einfluss auf den Selen-Versorgungsstatus dieser Mutterkühe zu überprüfen. Die zur Verfügung stehenden Flächen wurden hinsichtlich möglichst vieler gemeinsamer und somit vergleichbarer biotischer und abiotischer Faktoren ausgewählt. Sie wurden in Kontrollflächen und Versuchsflächen eingeteilt. Im März 2007 wurden alle Flächen mit etwa 70 kg N ha^{-1} in Form von 250 kg ha^{-1} Kalkammonsalpeter gedüngt. Während die Schläge der Kontrollflächen keine weitere Behandlung erhielten, wurde am 13. April auf die ca. 20 ha große Versuchsfläche mit einem Grünland-Nachsaat-Gerät der Firma Köckerling (Verl) 6 kg ha^{-1} Dino Selenium 5[®] ausgebracht. Dies entspricht einer Menge von 12 g Se ha^{-1} entspricht, ausgebracht. Sowohl auf den Kontrollflächen, als auch auf den Versuchsflächen wird Silage zur Fütterung im Winter geworben. Den Tieren der Versuchsgruppe steht somit ganzjährig eine organische Selenquelle zur Verfügung.

3.2 Pflanzenmaterial

Das Pflanzenmaterial, welches den Tieren im Rahmen dieser Untersuchung zur Verfügung stand, wurde durch den Grünlandaufwuchs der jeweiligen Weideflächen gestellt. Dies ermöglichte ein bedarfsgerechtes ad libitum Angebot an Grundfutter.

Der Aufwuchs der nicht selengeüngten Kontrollflächen besaß in der Zeit von Mai bis Ende Juli Selengehalte von weit unter $0,04 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TM}$. Die bisher mit selenhaltigem Kalkdünger behandelten Flächen erbrachten im selben Zeitraum Aufwüchse mit Konzentrationen im Bereich von $0,16$ bis $> 0,4 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ TM}$ (TÖNEPÖHL 2007).

3.3 Tierbestand

Für die Ermittlung der Aktivität der selenabhängigen Glutathionperoxidase wurden Blutproben von 76 Kühen und Kälbern der Rassen Dt. Fleckvieh und Dt. Angus genommen. Die Einteilung der Untersuchungsgruppen erfolgte anhand der Weideflächen in Selen-Versuchsgruppe und Referenzgruppe. Die 34 Tiere der Versuchsgruppe, die auf den Dino Selenium 5[®] gedüngten Versuchsfächen gehalten wurden, setzten sich aus 19 Tieren der Rasse Fleckvieh und 15 Tieren der Rasse Angus zusammen. Die Referenzgruppe, welche die unbehandelten Kontrollflächen beweideten, mit insgesamt 42 Tieren, bestand aus 25 Angus- und 17 Fleckviehrindern. Die beprobten Tiere waren Kühe, die zum überwiegend wieder tragend waren, und in der Herde mitlaufende, etwa 4-5 Monate alte Kälber beider Geschlechter.

3.4 Probenentnahme und -untersuchung

Die zu beprobenden Tiere wurden auf einem Wiegestand durch das Headgate fixiert. Die Blutentnahme erfolgte am 31.07.2007 mittels Punktion der linken Vena jugularis. Das Blut wurde in Lithium-Heparin-Blutentnahmeeinrichtungen der Firma Klinika Medical GmbH (Usingen), aufgenommen und bis zur Untersuchung im Labor der Klinik für Wiederkäuer und Schweine (Innere Medizin und Chirurgie) der Justus-Liebig-Universität Giessen gekühlt gelagert und transportiert. Zur Analyse der Aktivität der erythrozytären Glutathionperoxidase im Vollblut wurde die auf PAGLIA & VALENTINE (1967) basierende, photometrische UV-Methode mit Hilfe eines

Diagnostik-Kits der Firma Randox Laboratories, (Antrim UK), durchgeführt. Die Enzymaktivität wurde in der Einheit GSH-Px g^{-1} Hb (U g^{-1} Hb; Glutathionperoxidase-Einheiten pro Gramm Hämoglobin) angegeben. Die Beurteilung erfolgte anhand der Tab. 1 auf Seite 10.

3.5 Selendüngung

Zur Selen-Supplementierung der Versuchsflächen wurde ein granulierter Kalkdünger mit Selen (Dino Selenium 5[®], der Firma Vereinigte Kreidewerke Dammann KG, Söhlde) ausgebracht. Da Selen kein pflanzenessentielles Spurenelement ist, sieht die Düngeverordnung (ANONYMUS 2006) keine Deklaration reiner Selendünger vor. Handelsfähig ist jedoch eine Kombination eines granulierten Kalkdüngers mit dem reinen Selendünger Selcote[®] ultra. Dieses Präparat enthält 1 % elementares Selen, welches zu 12 % aus schnell verfügbarem Natriumselenat und zu 88 % aus Bariumselenat mit einer Depot-Wirkung, dem so genannten slow release-Effekt besteht. Dino Selenium 5[®] ist ein granulierter kohlenaurer Kalk 75 mit Selen und besteht zu 70 % aus Calciumcarbonat (CaCO_2), 5 % Magnesiumcarbonat (MgCO_3) und 0,2 % Selen, welches sich ebenfalls aus 12 % Natrium- und 88 % Bariumselenat zusammensetzt. Durch die dadurch bedingte Depotwirkung ist eine einmalige Anwendung im Frühjahr für die gesamte Vegetationsperiode ausreichend, um eine bedarfsgerechte Selenversorgung für Weidetiere zu gewährleisten. Die empfohlene jährliche Aufwandmenge beträgt 5 kg ha^{-1} Dino Selenium 5[®]. Dies entspricht einer Applikation von $10 \text{ g}^{-1} \text{ ha}$ elementarem Selen entspricht.

3.6 Statistische Auswertung

Die Angabe der Einzelwerte erfolgte über direkte Aufstellung der Zahlenwerte. Bei den Gruppenzusammenstellungen sind die Datenwerte als Mittelwerte (MW) \pm Standardabweichung (SD) und Standardfehler (SEM) angegeben. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte durch zweifaktorielle Varianzanalyse unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS für Windows, Version 12,0 (ANONYMUS 2003). Um für den Rassenvergleich (= Fleckvieh/Angus) die Vergleichbarkeit der Gruppen für die Varianzanalyse zu ermöglichen,

wurden die Größen der zu überprüfenden Gruppen der Tierruppe mit der geringsten Individuenzahl angepasst, so dass von jeder Rasse jeweils 15 Individuen von selengedüngten Weiden, 15 von unbehandelten Weiden berücksichtigt wurden ($n = 60$). Die Auswahl erfolgte durch Zufallsprinzip im Losverfahren. Für alle anderen Untersuchungen wurden alle Versuchstiere berücksichtigt ($n = 76$).

Die Sicherungsniveaus der Signifikanztests wurden folgendermaßen festgelegt:

F-Test für Varianzanalyse

Signifikanzniveau 5 % ($p < 0,05$) in den Tabellen gekennzeichnet durch " * "

Signifikanzniveau 1 % ($p < 0,01$) in den Tabellen gekennzeichnet durch " ** "

Multipler t-Test für die Einzelwerte

Signifikanzniveau 5 %

4 Ergebnisse

4.1 Vergleich der Untersuchungsgruppen

Um Rückschlüsse auf den Selenversorgungsstatus der beprobten Tiere ziehen zu können, wurde die Bestimmung der korrelierenden Aktivität der Glutathionperoxidase herangezogen. Bei der Messung der erythrozytären Glutathionperoxidase-Aktivität in den Blutproben der 76 Rinder wurden zunächst die Werte der gesamten Selen-Versuchsgruppe mit denen der gesamten Referenzgruppe verglichen. Abb. 2 und Anhangtab. 1 und 2 zeigen, dass die Tiere auf den mit Selen gedüngten Versuchsflächen im Mittel eine deutlich höhere Aktivität der selenabhängigen Glutathionperoxidase aufweisen, als die Tiere der Referenzgruppe. Mit einem Mittelwert von 338,59 GSH-Px g^{-1} Hb liegen die Tiere der Versuchsgruppe deutlich im Bereich der ausreichenden Selenversorgung, während die Referenztiere mit einem Mittelwert von 90,64 GSH-Px g^{-1} Hb nur knapp versorgt sind, vgl. Tab.1 auf Seite 10. Die Anhangtab. 7 manifestiert die hohe Signifikanz des gesteigerten Parameters der Versuchsgruppe gegenüber der Referenzgruppe.

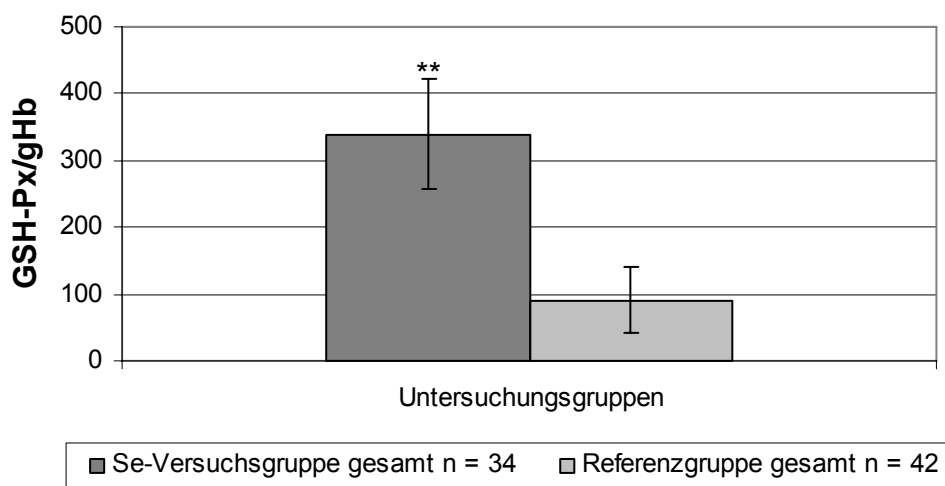


Abb. 2: Glutathionperoxidase-Aktivität (MW \pm SD) der Untersuchungsgruppen (** $p < 0,01$ vs. Referenzgruppe)

Den Anhangtabellen 1 und 2 sind die tierindividuellen Einzelwerte zu entnehmen. Die Tiere der Versuchsgruppe besitzen allesamt eine ausreichende Selenversorgung im Bereich von 156,00 bis 502,00 GSH-Px g^{-1} Hb mit SD = $\pm 82,38$, während die Tiere

der Referenzgruppe dagegen zum größten Teil nur marginal oder sogar defizitär versorgt sind, wie aus Angangtab. 8 und 9 hervorgeht. Die ermittelten Werte bewegen sich hier zwischen 11,00 und 177,00 GSH-Px g^{-1} Hb bzw. in einem Einzelfall bis zu 274,00 GSH-Px g^{-1} Hb bei einem Tier. Hier liegt eine Standardabweichung von $SD = \pm 49,25$ vor.

4.2 Rasseeffekte

Um den Einfluss von Rasseeffekten bei der Verwertung der im Grünlandaufwuchs vorliegenden organischen Selenverbindungen zu beurteilen, sind im Folgenden die Enzymaktivitäten der genutzten Rassen Deutsch Angus und Deutsches Fleckvieh getrennt aufgeführt. Zur Vergleichbarkeit der Gruppen wurde die Gruppengröße aller Tiergruppen durch Losverfahren auf die Größe der kleinsten Teilgruppe, $n = 15$, angepasst.

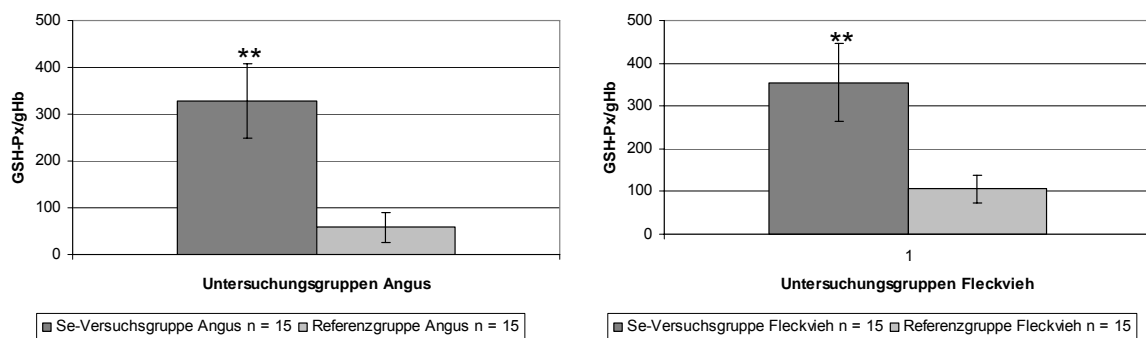


Abb. 3: Glutathionperoxidase-Aktivität (MW±SD) der Untersuchungsgruppen jeweils der Rassen Dt. Angus und Dt. Fleckvieh jeweils $n = 15$ (** $p < 0,01$ vs. Referenzgruppen)

Die zweifaktorielle Varianzanalyse der Gruppen jeweils, mit $n = 15$ (Anhangtab. 7 und 10) zeigt, dass die Enzym-Aktivität signifikant ($p < 0,05$) von der Rinderrasse abhängig ist. In Abb.3 sind die Werte der Selenversorgung, gemessen anhand der Glutathionperoxidase-Aktivität der Rassen Dt. Angus und Dt. Fleckvieh nebeneinander aufgeführt (Anhangtab.3 bis 6.). Hierbei fällt auf, dass bei der Rasse Fleckvieh eine geringgradig höhere Aktivität des selenabhängigen Enzyms vorliegt, als bei den Tieren der Rasse Angus. Abb. 4 und Anhangtab. 8 und 9 zeigen die Anteile, mit denen die Tiere der beiden Rassen in den jeweiligen Beurteilungsgrenzen der Selen-Versorgung vertreten sind. Auch hier zeigt sich bei

den Angusrindern der Referenzgruppe (= Weiden ohne Selen-Applikation) eine geringere Selenversorgung, als beim Fleckvieh. In den untersuchten Tiergruppen der Referenzfläche waren keine Tiere der Rasse Fleckvieh in einer als Mangelsituation zu bezeichnenden Situation, bei den Tieren der Rasse Angus zeigen 60 % eine Enzym-Aktivität, die auf eine unzureichende Selen-Versorgung schließen lässt. Die weiteren 40 % weisen einen mäßigen Status auf. Die Tiere der Rasse Fleckvieh sind zu 73 % marginal und zu 27 % ausreichend versorgt.

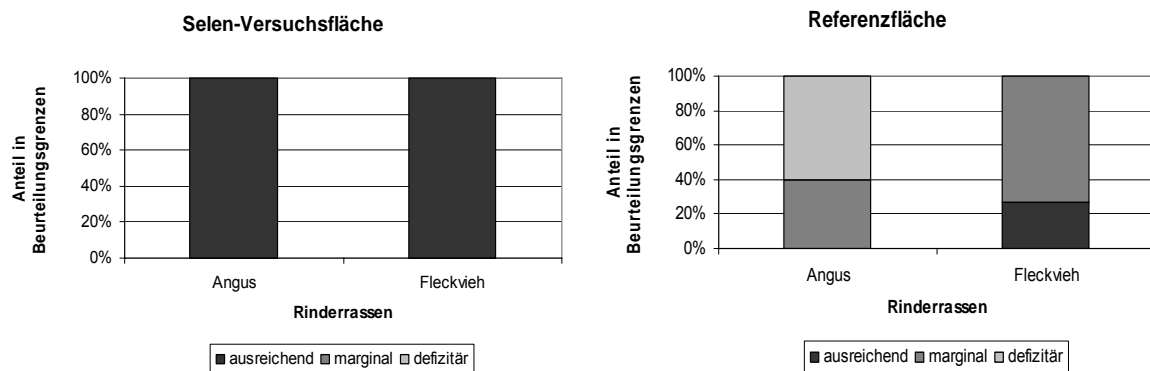


Abb. 4: Anteile der Rinderrassen Angus und Fleckvieh in den Beurteilungsgrenzen der Selen-Versorgung in % auf Versuchsfläche und Referenzfläche

5 Diskussion

5.1 Selenversorgungsstatus von Mutterkühen

Nachdem TÖHNEPÖHL 2007 feststellen konnte, dass der Grünlandaufwuchs auf den untersuchten Referenzflächen mit weit $< 0,1 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ TM}$ deutlich unter den für Mutterkühe empfohlenen Mindestbedarfsmengen an Selen liegt, zeigten die Ergebnisse der Blutuntersuchung dieser Versuche erwartungsgemäß eine Unterversorgung bei mehr als 80 % der beprobten Tiere, die nicht auf der mit Selendünger behandelten Flächen weideten, siehe Anhangtab. 9. Die bisher praktizierten Methoden der Selen-Supplementierung in Form von selenhaltigen Lecksteinen und Selen-Injektionen der Kälber reichen offenbar nicht für eine adäquate Versorgung aus. Durch die einmalige Anwendung des granulierten Kalkdüngers mit Selen zu Beginn der Vegetationsperiode konnten zum einen an mehreren Probeterminen in dem Pflanzenmaterial signifikant höhere Selenkonzentrationen als in dem der Kontrollflächen ermittelt werden (TÖNEPÖHL 2007). Diese lagen dadurch im Bereich der Bedarfsempfehlungen für Fleischrinder. In der eigenen Studie konnte die Messung der Glutathionperoxidase-Aktivität in den Erythrozyten der Rinder nach einem etwa dreimonatigen Beweidungszeitraum, nachgewiesen werden, dass das in den Pflanzen in organischen Verbindungen integrierte Selen zu einer ausreichenden Versorgung aller Rinder führte (siehe Anhangtab. 8).

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse besteht bei der Haltung von Mutterkühen und Fleischrindern insbesondere auf extensiven Flächen die Möglichkeit, vorliegende Selen-Mangelsituationen auf Grünland durch die Anwendung eines granulierten Kalkdüngers mit Selen zu vermindern. Die Beweidung und Grundfutterwerbung auf derartig behandelten Flächen hat somit einen entscheidenden prophylaktischen Einfluss auf die Tiergesundheit. Der Vorteil dieser Art der Selenversorgung gegenüber anderen, ist die bedarfs- und leistungsadäquate Aufnahme von Selen, da diese direkt mit der Grundfutteraufnahme korreliert. Die Gefahr einer Intoxikation, wie sie bei direkten Supplementierungsverfahren durchaus besteht, ist aufgrund des bedarfsgerechten und entsprechend limitierten Futterraufnahmeverhaltens der Tiere äußerst gering. Weiterhin vorteilhaft ist die Form in der den Tieren das Selen zur Verfügung steht. Denn das organisch gebundene Selen wird im Gegensatz zu einem

Großteil der anorganischen Selenite im Pansen nicht in eine unlösliche Form transferiert und besitzt dementsprechend eine weitaus höhere Absorptionsfähigkeit und Bioverfügbarkeit als die anorganischen Formen. Dies konnte auch in Fütterungsversuchen mit Selenhefe gezeigt werden (STRÖHLEIN 2007). Erwiesenermaßen können aufgenommene organische Selenverbindungen in stärkerem Maße die Plazenta und die Blut-Euter-Schranke passieren, was für eine angemessene Selenversorgung der Kälber sowohl intrauterin, unmittelbar postnatal, als auch in den ersten Lebensmonaten von entscheidender Bedeutung ist.

Die präventive Supplementierung von Selen mit Hilfe angereicherter Kalkdünger erscheint bei etwa 16 bis 18 € ha⁻¹ auch wirtschaftlich als effizient, da eine einmalige Ausbringung in ein bis zwei Jahren nur einem geringen Arbeitsaufwand erfordert. Es bietet sich hierfür ein Schneckenkornstreuer oder ein Grünland-Nachsaatgerät an. Für den Einsatz von konventionellen Zentrifugaldüngerstreuern sind im Handel auch Präparate mit geringerer Selenkonzentration (0,04 %) erhältlich. Kosten für zusätzliche Spezialgeräte stehen somit nicht an.

5.2 Bedeutung der Rasseeffekte und anderer individueller Tiereffekte

In den durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass die Tiere der Rasse Dt. Fleckvieh eine signifikant bessere Selenversorgung, gemessen anhand der Glutathionperoxidase-Aktivität, als die Tiere der Rasse Dt. Angus aufwiesen (siehe Abb. 3 und 4, sowie Anhangtab. 3-6). Für diese Abhängigkeit der Enzym-Aktivität von der Rasse können mehrere Gründe herangezogen werden. Es ist möglich, dass rassebedingte Unterschiede auf den Ebenen der Absorption, der Verwertung und Bioverfügbarkeit sowie bei der Verteilung der Selenverbindungen auf die Kompartimente oder Selenoproteine und Enzyme des tierischen Organismus vorliegen. In den durchgeführten Versuchen, waren die Kühe der Rasse Fleckvieh etwas besser an selenarme Standorte (Referenzfläche) angepasst, als Tiere der Rasse Angus. Auf den selenversorgten Versuchsflächen sind zwar auch rassebedingte Unterschiede sichtbar, diese sind aber hier nicht von entscheidender Bedeutung, da hier bei allen Individuen ein sicher ausreichendes Niveau der Selenversorgung vorliegt.

Unter Berücksichtigung weiterer individuenbezogener Daten kann die Streubreite und die relativ große Standardabweichung nicht erklärt werden. Es sind keine Abhängigkeiten der Glutathionperoxidase-Aktivität vom Trächtigkeits-, Laktations-

oder Entwicklungszustands der Rinder augenscheinlich. Es ist davon auszugehen dass der Varianz individuelle, idiopathische Unterschiede der Tiere zugrunde liegen. Jedoch sind alle Abweichungen in vertretbarem Rahmen. Auf den Referenzflächen liegen keine extremen Mangelsituationen vor. Bei Aufnahme selen-behandelter Grünlandaufwüchse weder Selenmangelzustände noch toxische Effekte beobachtet werden.

5.3 Ausblick und weitere Erhebungen

Im Anschluss an die bisherigen Versuche ist nun von Interesse, wie sich die Selenversorgung der Untersuchungsgruppen im Verlauf der Winterfütterung mit Grassilage entwickelt. Es ist zu überprüfen, ob die Depot-Wirkung des Düngemittelzusatzes bei den Mutterkühen sowie bei den Kälbern des Folgejahres anhand der Blutwerte zu belegen ist.

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist die Anwendung oben genannter Dünger derzeit nicht zugelassen, da Selenverbindungen in der EU-BioVerordnung lediglich als Zusatzstoffe in der Tierernährung zugelassen sind (DOLL & LASER 2007). Hier besteht also noch Handlungsbedarf.

6 Zusammenfassung

Da Selenmangel bei Wiederkäuern infolge selenarmer Grünlandstandorte ein gravierendes Problem darstellen kann, sollte in der vorliegenden Arbeit der Einfluss der Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf die Glutathionperoxidase-Aktivität von Mutterkühen untersucht werden. Für die Versuche standen eine Versuchsfläche, die zu Beginn der Vegetationsperiode mit dem selenhaltigen Düngemittel Dino Selenium 5[®] behandelt wurde, sowie eine unbehandelte Referenzfläche zur Verfügung. Die Flächen wurden von einer Mutterkuhherde beweidet, die aus Tieren der Rassen Deutsch Angus und Deutsches Fleckvieh bestand. Der Tierbestand beider Rassen wurde jeweils gemäß der Flächenaufteilung in eine Selen-Versuchsgruppe und eine Referenzgruppe eingeteilt. Um den Einfluss der Selen-Supplementierung zu erfassen, wurden Blutproben genommen, anhand derer die Aktivität des selenabhängigen Enzyms Glutathionperoxidase in den Erythrozyten bestimmt wurde. Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Durch die Ausbringung des granulierten Kalkdüngers mit Selen auf den Selen-Versuchsflächen konnte eine ausreichende Konzentration von $> 0,1 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ TM}$ im Grünlandaufwuchs erreicht werden. Dadurch kann grundsätzlich der Selen-Versorgungsstatus von Mutterkühen, gemessen anhand der Aktivität der Glutathionperoxidase, sichergestellt werden.
2. Während die Tiere der unbehandelten Fläche trotz angebotener Salzlecksteine und prophylaktischer Injektionen unmittelbar post natum zum größten Teil nur marginal oder sogar defizitär mit Selen versorgt waren, konnte bei allen Tieren der Versuchsfläche eine ausreichende, bedarfsgerechte Selenversorgung nachgewiesen werden.
3. Bei der vergleichenden Betrachtung der beiden Rassen fiel auf, dass die Tiere der Rasse Fleckvieh sowohl auf der Versuchsfläche, als auch auf der Referenzfläche eine höhere Glutathionperoxidase-Aktivität aufwiesen, als die Tiere der Rasse Angus.
4. Der Selenversorgungsstatus innerhalb der Untersuchungsgruppen war grundsätzlich homogen, zeigte jedoch eine gewisse individuelle Streuung, die nicht auf für uns erfasste Gegebenheiten der Tiere, wie Gravidität, Laktation oder Alter zurückzuführen ist.

7 Literaturverzeichnis

1. AJWA, H.A.; G.S. BANUELOS & H.F. MAYLAND, 1998: Selenium uptake by plants from soils amended with inorganic and organic materials. *J. Environm. Qual.* **27**, 1218-1227.
2. ANGELOW, L & M. ANKE, 1987: Selenmangelerscheinungen. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Karl-Marx Universität Leipzig, 440-447.
3. ANKE, M.; PATSCHEFELD; J. KURSA & V. KROUPOVA, 1983: Die Selenmyopathie. *Wiss. Zeitschr. Friedrich-Schiller-Univ. Jena, Math.-Naturwiss. R.* **4/5**, 809-820.
4. ANKE, M.; W. DORN; G. GUNSTHEIMER; W. ARNOLD; M. GLEI; S. ANKE; E. LÖSCH, 1998: Effects of trace and ultratrace elements on the reproduction performance of ruminants. *Czech. Vet. Med.* **43**, 272-282.
5. ANONYMUS, 1995:
6. ANONYMUS, 1996: Nutrient requirements for beef cattle. 7th ed. rev. ed. Update 2000 – Publ. National Res. Council, National Academy Press, Washington DC.
7. ANONYMUS, 2002: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 2002: Selen und Human-Biomonitoring, Stellungnahme der Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes. **45(2)**, 190-195.
8. ANONYMUS, 2003: SPSS für Windows. Version 12.0 SPSS Software, München.
9. ANONYMUS, 2006: Düngeverordnung (DüngeVO). Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 10.01.2006. BGBl, I, 2006, S. 20.
10. ANONYMUS, 2007: Dino Selenium[®] - granulierter Kalkdünger mit Selen. URL: <http://www.dino-selenium.de/>.
11. 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.
12. BAYER, W., 1996: Zur biochemischen Bedeutung von Selen. *Z. Allg. Med.* **72**, 18-27.
13. BEHNE, D & A. KYRIAKOPOULOS, 2001: Mammalian Selenium-containing proteins. *Annu. Rev. Nutr.* **21**, 453-473.

14. BOSTEDT, H., 1980: Über die ernährungsbedingte Muskeldystrophie bei Jungtieren in den ersten Lebenstagen und -wochen. *Collegium veterinarium* 1979, 45-49.
15. BOSTEDT, H. & H. SCHRAMMEL, 1981: Vergleichende Untersuchungen über die Selenkonzentrationen im Blutserum, in der Plazenta, im Myometrium und in der Milch von Kühen mit oder ohne Retentio secundinarum. *Zbl. Vet. Med. A.* **28**, 529-537.
16. BOSTEDT, H. & H. SCHRAMMEL, 1983: Effekt unterschiedlicher Selensupplementierung auf die Selenkonzentration in Blut und Plazentagewebe bei Kühen. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* **104**, 398-401.
17. BOSTEDT, H.; E. JEKEL & H. SCHRAMMEL, 1987: Bestimmungen von Selenkonzentrationen im Blutplasma neugeborener Kälber aus klinischer Sicht. *Tierärztl. Prax.* **15**, 369-372.
18. BOYNE, R & J.R. ARTHUR, 1979; Alterations of neutrophil function in selenium deficient cattle. *J. Comp. Pathol.* **89**, 151-159.
19. CHENG, W.H.; X.Y. FU; J.M. PORRES; D.A. ROSS; X.G. LEI, 1999: Selenium-dependent cellular glutathione peroxidase protects mice against a pro-oxidant-induced oxidation of NADPH, NADH, lipids, and protein. *FASEB J.* **13**, 1467-1475.
20. COMBS, G.F. JR. & S.B. COMBS, 1984: The nutritional biochemistry of selenium. *Ann. Rev. Nutr.* **4**. 257-280.
21. COMBS, G.F. JR. & S.B. COMBS, 1986: The role of selenium in nutrition. Academic Press Inc., Orlando, Florida.
22. CONTRERAS, P.A.; R. MATAMOROS; R. MONROY; J. KRUIZE, V. LEYAN, M. ANDAUR, H. BÖHMWALD & F. WITTEWER, 2002: Effect of a Selenium-Deficient Diet on Blood Values of T3 and T4 in Cows. *Comp. Clin. Path.* **11**, 65-70.
23. DOLL, K. & H. LASER, 2007: Selenversorgung – ein wichtiges Problem in der Mutterkuhhaltung. *Fleischrinder J.* **4**, 6-8.
24. FALBE, J. & M. REGITZ, 1995: Römpp-Chemie-Lexikon, CD: Version 1,0. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

-
25. FLOHÉ, L.; W.A. GÜNZLER; H.H. SCHOCK, 1973: Glutathione peroxidase: A selenoenzyme. *FEBS Lett.* **32**, 132-134.
 26. GASNIER, B.C.H., 2002: Einfluß einer Selen-Substitution auf den Verlauf einer Autoimmunthyreoiditis. Dissertationsschrift. Med. Fak. Univ. München.
 27. GISSEL-NIELSEN, G., 1993: General aspects of selenium fertilization. *Norwegian J. Agric. Sci.* **11**, 135-140.
 28. 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.
 29. GRAMM, H.J.; A. KOPF & K. EYRICH, 1992: Spurenelementsupplementierung im Rahmen langjähriger Ernährungstherapien. In BRÄTTER, P. & GRAMM, H.J. (Hrsg.): Mineralstoffe und Spurenelemente in der Ernährung des Menschen. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 34-41.
 30. GRÜNDER, H.D. & S. AUER, 1995: Selenversorgung in hessischen Rinderbeständen und Möglichkeiten der Prophylaxe. *Tierärztl. Umschau* **50**, 250-255.
 31. GÜNSTER, K.-H. & H. FRÖLEKE, 1986: Die physiologisch-toxikologische Wirkung des Selens. *Ernährungs-Umschau* **33**, 116-120.
 32. GYANG, E.O.; J.B. STEVENS; W.G. OLSON; S.D. TSIDSAMIS & E.A. USENIK, 1984: Effects of Selenium-vitamin E injection on bovine polymorphnucleated leucocytes, phagocytosis and killing of *Staphylococcus aureus*. *Am. J. Vet. Res.* **46**, 175-177.
 33. HARTFIEL, W. & N. BAHNERS, 1986: Zur Selenversorgung von Wiederkäuern. Kongressband 1985, *VDLUFA-Schriftenreihe* **16**, 511-518.
 34. HARTFIEL, W. & W. SCHULTE, 1988: Selenmangel in der Bundesrepublik (II). *Akt. Ernähr.* **13**, 77-82.
 35. HARTLEY, W.J., 1963: Selenium and ewe fertility. *N.Z. Soc. Anim.* **23**, 20-27.
 36. HEMINGWAY, R.G., 1999: The influence of dietary selenium and vitamin E intakes on milk somatic cell counts and mastitis in cows. *Vet. Res. Commun.* **23**, 481-499.
 37. HIDIROGLOU, M.; J. PROULX & J. JOLETTE, 1985: Intraruminal selenium pellet for control of nutritional muscular dystrophy in cattle. *J. Dairy Sci.* **68**, 57-66.

-
38. HIDIROGLOU, M.; J. PROULX & J. JOLETTE, 1987: Effect of intraruminally administered selenium soluble-glass boluses on selenium status in cows and their calves. *J. Anim. Sci.* **65**, 815-820.
39. HOLLEMANN, A.F., 1995: *Lehrbuch der anorganischen Chemie/Holleman-Wiberg*. De Gruyter, Berlin, New York, 613-628.
40. JULIEN, W.E.; H.R. CONRAD; J.E. JONES & A.L. MOXON, 1976: Selenium and vitamin E and incidence of retained placenta in parturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* **59**, 1954-1959.
41. 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.
42. KYRIAKOPOULOS, A. & D. BEHNE, 2004: Untersuchung von Selenoproteinen. URL: <http://www.hml.de/bereiche/SF/SF6/arbeitsg/selen.html>.
43. LASER, H. 2004: Pflanzenbauliche Ansätze zur Selen-Versorgung von Mutterkühen und Fleischrindern in Weidesystemen. Habilitationsschrift Gießen.
44. LANNECK, N & P. LINDBERG, 1975: Vitamin E and selenium deficiencies (VESD) of domestic animals. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.* **19**, 127-164.
45. MATHIS, A.; H. HORBER & H. JUCKER, 1982: Selenstoffwechsel beim Wiederkäuer – Eine Literaturübersicht. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* **124**, 591-601.
46. McDOWELL, L.R., 1996: Feeding minerals to cattle on pasture. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **60**, 247-271.
47. McDOWELL, L.R.; S.N. WILLIAMS, M. HIDIROGLOU; C.A. NJERU; G.M. HILL, L. OCHOA & N.S. WILKINSON, 1996: Vitamin E supplementation for the ruminant. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **60**, 273-296.
48. MEHLHORN, T., 1979: *Lehrbuch der Tierhygiene, Teil I*. Verl. Gustav Fischer, Jena.
49. OPITZ v. BOBERFELD, W., 2002: Winteraußenhaltung und Standort. In: *Ganzjährige Freilandhaltung von Fleischrindern*. KTBL-Schrift **409**, 30-46.
50. PAVLATA, L.; J. ILLEK & A. PECHOVÁ, 2001: Blood and tissue selenium concentrations in calves treated with inorganic or organic selenium compounds. *Acta. Vet. Brno* **70**, 19-26.
51. PEHRSON, B.; K. ORTMAN; M. MADJID & U. TRAFIKOWSKA, 1999: The influence of dietary selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in

- the milk of suckler cows and on the selenium status of their calves. *J. Anim. Sci.* **77**, 351-360.
52. ROCHER, C.; J.L. LALANN & J. CHAUDIERE, 1992: Purification and properties of a recombinant sulfur analog murine selenium-glutathione peroxidase. *Eur. J. Biochem.* **205**, 955-960.
53. ROTRUCK, J.T.; A.L. POPE; H.E. GANTHER; D.G. HAFEMAN; A.B. SWANSON & W.G. HOEKSTRA, 1973: Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 588-590.
54. SCHOLZ, H. & M. STÖBER, 2006: Enzootische Myodystrophie des präruminanten Kalbes und Überlastungsmiopathie, Paralytische Myoglobinurie des ruminanten Rindes in: DIRKSEN, G; H.D. GRÜNDER (Hrsg.), 2006: Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. *Parey*. **5**, 1000-1008.
55. SCHRAUZER, G.N., 1998: Selen. Neue Entwicklungen aus Biologie, Biochemie und Medizin. 3. Aufl., Verl. Johann Ambrosius Barth, Heidelberg, Leipzig.
56. STÜNZI, H., 1998: Applikation von Selen auf Dauerwiesen. 1. Wirkung von Selenit und Selenat auf verschiedene Pflanzenarten im Langzeitversuch. *Schweiz. Landw. Forsch.* **28**, 191-201.
57. STRÖHLEIN, H., 2007: Der feine Unterschied: Selen wird erst mit Hefe gut. *Allgäuer Bauernblatt* **3**, 26-28.
58. SUNDE, R.A., 1990: Molecular biologie of selenoproteins. *Ann Rev. Nutr.* **10**, 451-474.
59. TERRY, N.; A.M. ZAYED; M.P. DE SOUZA & A.S. TARUN, 2000: Selenium in higher plants. *Annu. Rev. Plant. Mol. Biol.* **51**, 401-432.
60. TÖNEPÖHL, B., 2007: Applikation eines granulierten Kalkdüngers mit Selen auf einer Rinderweide. Bachelorarbeit Gießen. URL: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2007/5119/pdf/ToenepoehlBjoern-2007-10-23.pdf>.
61. UNDERWOOD, C.B.E. & N.F. SUTTLE, 1999: The mineral nutrition of livestock. 3rd edition, CABI Publishing, Wallingford, UK.
62. VETERINARY RESEARCH LABORATORIES, BELFAST, 1996: Manual of Glutathione Peroxidase in vitro determination, Randox Laboratories
63. 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.
64. WOLF, C., 1998; Selenversorgung von Kühen – Mangel oder Überschuß? 2. Mitteilung: Die Entwicklung der Selen-Glutathionperoxidase-Aktivität von

Milch- und Mutterkühen in Mecklenburg-Vorpommern von 1993-1996. Prakt. Tierarzt **79**, 755-759.

65. YLÄRANTA, T., 1983a: Sorption of selenate and selenite in the soil. Ann. Agric. Fenn. **22**, 29-39.

66. 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.

9 Anhang

Anhangtab. 1: GSH-Px-Aktivität der Selen-Versuchsgruppe in GSH-Px/gHb

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	Angus	156,00
2	Angus	169,00
3	FV	173,00
4	Angus	223,00
5	FV	226,00
6	FV	243,00
7	Angus	288,00
8	Angus	298,00
9	Angus	303,00
10	FV	304,00
11	Angus	306,00
12	Angus	317,00
13	FV	320,00
14	Angus	333,00
15	FV	334,00
16	FV	338,00
17	Angus	344,00
18	Angus	355,00
19	FV	363,00
20	Angus	365,00
21	FV	368,00
22	Angus	369,00
23	Angus	372,00
24	Angus	385,00
25	FV	388,00
26	Angus	394,00
27	Angus	394,00
28	Angus	396,00
29	FV	401,00
30	Angus	415,00
31	FV	439,00
32	FV	457,00
33	FV	474,00
34	FV	502,00
MW		338,59
SD		82,37
SEM		14,13

Anhangtab. 2: GSH-Px-Aktivität der Referenzgruppe in GSH-Px/gHb

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	Angus	11,00
2	Angus	25,00
3	Angus	25,00
4	Angus	32,00
5	Angus	33,00
6	Angus	37,00
7	Angus	41,00
8	Angus	45,00
9	Angus	46,00
10	Angus	49,00
11	Angus	60,00
12	Angus	64,00
13	FV	65,00
14	Angus	65,00
15	Angus	70,00
16	FV	70,00
17	FV	72,00
18	FV	75,00
19	Angus	78,00
20	Angus	80,00
21	FV	82,00
22	FV	90,00
23	FV	90,00
24	FV	93,00
25	Angus	93,00
26	Angus	94,00
27	Angus	100,00
28	Angus	102,00
29	Angus	106,00
30	FV	114,00
31	Angus	114,00
32	Angus	118,00
33	FV	120,00
34	FV	123,00
35	FV	132,00
36	FV	136,00
37	Angus	136,00
38	FV	153,00
39	FV	156,00
40	Angus	161,00
41	FV	177,00
42	FV	274,00
MW		90,64
SD		49,25
SEM		7,60

Anhangtab. 3: GSH-Px-Aktivität
der Selen-Versuchsgruppe in GSH-Px/gHb
Rasse Angus

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
5	Angus	156,00
6	Angus	169,00
8	Angus	223,00
9	Angus	288,00
10	Angus	298,00
11	Angus	303,00
12	Angus	306,00
13	Angus	317,00
14	Angus	333,00
15	Angus	344,00
18	Angus	355,00
22	Angus	365,00
24	Angus	369,00
25	Angus	372,00
26	Angus	385,00
27	Angus	394,00
28	Angus	394,00
29	Angus	396,00
33	Angus	415,00
MW		325,37
SD		72,42
SEM		16,61

Anhangtab. 4: GSH-Px-Aktivität
der Referenzgruppe in GSH-Px/gHb
Rasse Angus

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
2	Angus	11,00
4	Angus	25,00
7	Angus	25,00
8	Angus	32,00
10	Angus	33,00
11	Angus	37,00
13	Angus	41,00
14	Angus	45,00
15	Angus	46,00
16	Angus	49,00
19	Angus	60,00
20	Angus	64,00
21	Angus	65,00
22	Angus	70,00
23	Angus	78,00
24	Angus	80,00
26	Angus	93,00
27	Angus	94,00
31	Angus	100,00
32	Angus	102,00
33	Angus	106,00
34	Angus	114,00
35	Angus	118,00
36	Angus	136,00
37	Angus	161,00
MW		71,40
SD		37,63
SEM		7,53

Anhangtab. 5: GSH-Px-Aktivität
der Selen-Versuchsgruppe in GSH-Px/gHb
Rasse Fleckvieh

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	FV	173,00
2	FV	226,00
3	FV	243,00
4	FV	304,00
7	FV	320,00
16	FV	334,00
17	FV	338,00
19	FV	363,00
20	FV	368,00
21	FV	388,00
23	FV	401,00
30	FV	439,00
31	FV	457,00
32	FV	474,00
34	FV	502,00
MW		355,33
SD		90,75
SEM		23,43

Anhangtab. 6: GSH-Px-Aktivität
der Referenzgruppe in GSH-Px/gHb
Rasse Fleckvieh

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	FV	65,00
3	FV	70,00
5	FV	72,00
6	FV	75,00
9	FV	82,00
12	FV	90,00
17	FV	90,00
18	FV	93,00
25	FV	114,00
28	FV	120,00
29	FV	123,00
30	FV	132,00
40	FV	136,00
41	FV	153,00
42	FV	156,00
43	FV	177,00
44	FV	274,00
MW		118,94
SD		50,64
SEM		12,28

Anhangtab. 7: Varianztabelle für die Selenversorgung
und Rinderrassen

Varianzursache	FG	MQ/F-Wert	Signifikanz
SeVersorgung	1	1010882,400	**
Rasse	1	21281,667	*
SeVersorgung * Rasse	1	1622,400	
Fehler	57	4462,517	
Gesamt	60		

Anhangtab. 8: Anteile der Rassen der Versuchsgruppe
in Beurteilungsgrenzen der Selenversorgung, angepasst auf n = 15

Se-Status Versuchsgruppe		Gesamt		Angus		Fleckvieh	
		n	%	n	%	n	%
defizitär	≤ 60	0	0	0	0	0	0
marginal	61-130	0	0	0	0	0	0
ausreichend	> 130	30	100	15	100	15	100
Total		30	100	15	100	15	100

Anhangtab. 9: Anteile der Rassen der Referenzgruppe
in Beurteilungsgrenzen der Selenversorgung, angepasst auf n = 15

Se-Status Referenzgruppe		Gesamt		Angus		Fleckvieh	
		n	%	n	%	n	%
defizitär	≤ 60	9	30	9	60	0	0
marginal	61-130	17	57	6	40	11	73
ausreichend	> 130	4	13	0	0	4	27
Total		30	100	15	100	15	100

Anhangtab. 10: GSH-Px-Aktivität der Untersuchungsgruppen in GSH-Px/gHb nach Rassen getrennt
Gruppengröße zur Varianzanalyse per Losverfahren auf n = 15 festgelegt

Versuchsgruppe Angus

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
5	Angus	344,00
8	Angus	169,00
9	Angus	303,00
10	Angus	396,00
12	Angus	355,00
13	Angus	385,00
14	Angus	317,00
15	Angus	394,00
22	Angus	415,00
24	Angus	223,00
26	Angus	372,00
27	Angus	333,00
28	Angus	156,00
29	Angus	365,00
33	Angus	394,00
MW		328,07
SD		79,63
SEM		20,56

Referenzgruppe Angus

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
2	Angus	11,00
7	Angus	46,00
11	Angus	102,00
14	Angus	100,00
15	Angus	37,00
16	Angus	33,00
19	Angus	49,00
21	Angus	78,00
22	Angus	114,00
23	Angus	80,00
24	Angus	94,00
31	Angus	32,00
34	Angus	45,00
35	Angus	25,00
37	Angus	25,00
MW		58,07
SD		32,19
SEM		8,31

Versuchsgruppe
Fleckvieh

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	FV	363,00
2	FV	226,00
3	FV	173,00
4	FV	304,00
7	FV	338,00
17	FV	243,00
19	FV	401,00
20	FV	474,00
21	FV	502,00
23	FV	320,00
30	FV	368,00
31	FV	388,00
32	FV	334,00
34	FV	457,00
36	FV	439,00
MW		355,33
SD		90,75
SEM		23,43

Referenzgruppe
Fleckvieh

Nr.	Rasse	GSH-Px/gHb
1	FV	72,00
3	FV	90,00
5	FV	132,00
6	FV	136,00
9	FV	153,00
12	FV	65,00
17	FV	114,00
25	FV	120,00
29	FV	93,00
30	FV	177,00
40	FV	82,00
41	FV	90,00
42	FV	70,00
43	FV	75,00
44	FV	123,00
MW		106,13
SD		32,38
SEM		8,36

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 05.02.2008 _____