

Möglicher Einfluß von Immissionen auf die Spurenelementversorgung wildlebender Wiederkäuer: Selen als Beispiel

Von W. T. FLUECK, Davis

1 Einleitung

Die Erkenntnis, daß Biodiversität geschützt und gefördert werden muß, hat sich nun auch auf verschiedenen politischen Ebenen eingebürgert. Wichtig scheinen dabei die möglichen Vorteile zu sein, welche die Menschheit von der Vielfalt der genetischen Strukturen erhalten kann, und die Stabilität im Ökosystem, die durch diese Vielfalt bewirkt wird. Es bestehen deshalb diverse Unternehmen mit dem Ziel, lokale Gebiete von unterschiedlicher Größe möglichst zu schützen. Oft ist das Hauptziel, eine oder mehrere selten gewordenen Arten zu erhalten. Bevölkerungsdichte und Besiedlungsstruktur bestimmen, daß solche Schutzgebiete meistens kleinflächig und fragmentiert sind.

Das Konzept von lokalen kleinflächigen Schutzgebieten ist heute in Frage gestellt (siehe z. B. N. Nat. Akad. Ber. 1989). Der Hauptgrund dafür sind großflächige und globale anthropogene Umwelteinflüsse wie folgt.

1. Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration könnte Pflanzenwachstum steigern und Pflanzengesellschaften ändern (FAJER 1989), könnte vermehrten Krankheitsanfall bei Pflanzen und Tieren bewirken (KLOPRIES u. BECKMANN 1984), und ist scheinbar für einen Treibhauseffekt mitverantwortlich;
2. Immissionen von Schwefel und Stickstoffverbindungen führen zu einer Eutrophierung von terrestrischen Systemen (ELLENBERG 1988), führen zu einer Versäuerung der Böden (VAN BREEMEN u. a. 1984) und haben einen direkten toxischen Effekt auf Pflanzen und Tiere (FERENBAUGH 1975, STOCKINGER 1962); und
3. vermehrte Aussetzung an toxische organische und inorganische Substanzen haben gesundheitliche Folgen.

In der folgenden Diskussion möchte ich am Beispiel von Selen (Se) darauf hinweisen, daß diese flächenweiten Einflüsse zusätzlich erhebliche Veränderungen im Haushalt von Spurenelementen bewirken können.

2 Der Selen-Zyklus: Boden – Pflanze – Tier

Se kommt im Gestein als Spurenelement vor, kann aber in gewissen Sedimentböden bis zu toxischen Mengen angereichert werden. Da Se für Pflanzen nicht nötig ist, wird es nur passiv vom Boden aufgenommen. Die häufigste und gleichzeitig unlösliche Bodenform ist elementares Se. Nur Selenat (Se VI) und Selenit (Se IV) wird von Pflanzen, welche dann Se in Aminosäuren einbauen, aufgenommen (GUPTA u. WATKINSON 1985).

Für alle bisher untersuchten Säugetiere ist Se ein essentielles Element. Das ist im Hinblick auf die Hauptfunktion leicht zu verstehen (siehe FLUECK u. SMITH-FLUECK 1989). Se ist im Glutathion-Peroxidase-Enzym (GSH-Px) integriert. Dieses System schützt den Organismus vor oxidativer Schädigung, die bei Gebrauch von Sauerstoff unweigerlich anfällt. Eine solche grundsätzliche Funktion ist dann auch in einem evolu-

tionsmäßig konservativen Enzymsystem erhalten geblieben. Bei Wiederkäuern resultiert Se-Mangel typisch in Weißmuskelkrankheit (WMD) vor allem in Jungtieren, Fortpflanzungsschwierigkeiten, und Immunodefizit.

3 Beeinflussung der Selenversorgung von wilden Herbivoren

Krankheiten, die auf Se-Mangel zurückzuführen sind, haben in mehreren Gegenden zugenommen (siehe FLUECK u. SMITH-FLUECK) und können wie folgt erklärt werden.

3.1 Versäuerung des Bodens

Der pH im Boden bestimmt, welche Form von Se überwiegt. Eine Versäuerung hat zur Folge, daß die den Pflanzen zugänglichen Formen abnehmen (GEERING u. a. 1968, GISSEL-NIELSEN 1971), und saure Präzipitation wurde deshalb auch als beitragender Faktor bezeichnet (FROST 1972, 1983; MUSHAK 1985).

3.2 Schwermetalle

Neben direkten Immissionen von Schwermetallen bewirkt eine Versäuerung gleichzeitig eine Liberalisierung von Schwermetallen im Boden. In der Folge sind auch hohe Konzentration in Herbivoren festgestellt worden (BACKHAUS u. BACKHAUS 1983, LINDEVALL 1984). Schwermetalle wie Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) sind jedoch antagonistisch zu Se und erfordern eine erhöhte Einnahme von Se als Kompensation. Das erklärt auch, warum Se als Gegenmittel bei Vergiftungen mit Schwermetallen gebraucht wird. Im Boden könnten diese gelösten Schwermetalle zudem Se als Selenide unlöslich und den Pflanzen unzugänglich machen (COMB u. COMB 1986: 2, FROST 1987).

3.3 Düngung

Da alle Formen der Agrikultur ausnützend sind, wird intensive Nutzung nur durch Düngung möglich. Es ist schon lange bekannt, daß Düngung die Gewebekonzentration von Se erniedrigt (MILLAR 1983, GUPTA u. WATKINSON 1985) und Mangelkrankheiten wie WMD hervorruft (STEFFERUD 1956: 431). Phosphate reduzieren Se in Pflanzen (GISSEL-NIELSEN 1977), und reduzieren die GSH-Px-Aktivität in Erythrozyten von Tieren, die diese Pflanzen fressen (HALPIN u. a. 1982). Stickstoff reduziert Se in Pflanzen wahrscheinlich durch einen Verdünnungseffekt (GISSEL-NIELSEN 1971, 1979). Schwefeldüngung hat 4 Effekte:

1. es kann einen Pflanzenmangel beheben und dabei das Se verdünnen;
2. es reduziert den Boden-pH und dadurch die Se-Aufnahme von Pflanzen (UNDERWOOD 1977);
3. Sulfate verhindern die Absorption von Selenaten und möglicherweise Seleniten bei Pflanzen (GISSEL-NIELSEN 1973, 1987; GUPTA u. WATKINSON 1985); und
4. Schwefel ist höchst antagonistisch zu Se in Tieren, durch Reduzieren der Se-Absorption (NAT. RES. COUNCIL 1983, JONES u. a. 1987), durch Erhöhen der Se-Exkretion (POPE u. a. 1979), durch Reduzieren der Gewebe-Konzentration von Se (WHITE u. SOMERS 1977, POPE u. a. 1979), und dadurch ein erhöhtes Auftreten von kardialen und biochemischen Läsionen inklusive WMD (WHANGER u. a. 1969).

Schwefeldioxid kann ebenfalls zur Verdünnung von pflanzlichem Se führen (FROST 1972, HOFF u. DAVIS 1983: 132, MILCHUNAS u. a. 1983). Zudem akkumulieren Pflanzen überschüssigen Schwefel als Sulfat im Laub, wo es für Herbivoren leicht zugänglich wird (TURNER u. LAMBERT 1980).

Optimale Wasser- und Temperaturbedingungen können im gleichen Sinne als Düngung betrachtet werden. So ist es bekannt, daß üppiges Pflanzenwachstum im Frühling und Herbst auch die risikoreichsten Zeiten für Se-Mangelkrankheiten bedeuten (STEFFERUD 1956: 431, ANDERSON 1983, TOWERS u. CLARK 1983).

Düngung kann nicht ohne eine Diskussion des Einflusses der Herbivoren betrachtet werden. Das trifft vor allem auf Gebiete mit intensiver Tierhaltung zu. In Wiederkäuern wird Se hauptsächlich als Trimethyl-selenid im Urin, und als elementares Se und metallische Selenide im Kot ausgeschieden. Diese Se-Formen sind unlöslich und lassen die Vermutung zu, daß kontinuierliches Weiden das für Pflanzen erhältliche Se reduziert (BUTLER u. PETERSON 1963, PETERSON u. SPEDDING 1963).

3.4 Komposition der Pflanzengesellschaft

Die Se-Konzentration variiert stark in verschiedenen nahestehenden Exemplaren der gleichen Art, in verschiedenen Pflanzenteilen, und in verschiedenen Arten. Zusätzliche Faktoren spielen eine Rolle, da z. B. Leguminosen im Vergleich zu Gräsern mit derselben Se-Konzentration mehr Fälle von WMD erzeugen. Eine Änderung der Pflanzengesellschaft und Struktur kann deshalb das Angebot von Se an Herbivoren verschieben (WHAN-GER u. a. 1972, BURRIDGE u. a. 1983, MILLAR 1983, NAT. RES. COUNCIL 1983: 20).

4 Selen in wildlebenden Wiederkäuern

Se ist als wichtiges Spurenelement bei verschiedenen wilden Wiederkäuern erkannt (ROBBINS u. a. 1985, FIELDER 1986, FLUECK u. SMITH-FLUECK 1989). Fälle mit klinischen Symptomen oder verendete Tiere mit den typischen Mangelerscheinungen sind selten unter wildlebenden Tieren zu finden. Ebenso schwierig sind subklinische Fälle zu beurteilen, da Symptome nicht spezifisch sind, oder überhaupt nicht vorhanden sind. Subklinischer Se-Mangel kann nur durch Se-Supplementierung in Produktionsversuchen mit adäquaten Kontrollen positiv bestimmt werden (MILLAR 1983). In wildlebenden Wiederkäuern ist bei Schwarzwedelwild (*Odocoileus hemionus columbianus*) ein solcher Versuch unternommen worden (FLUECK 1989). Adulten Stücken wurde Se-Pansenkugeln und Radiosender im späten Winter verabreicht. Die Tiere wanderten dann bis zu 130 km in den Sommereinstand. Während im ersten Versuchsjahr je eine Pansenkugel gegeben wurde, sind anhand der Se-Konzentrationen im Blut für die folgenden 3 Jahre je 2 Kugeln gegeben worden. Diese Kugeln erhöhten den Blutspiegel von 0,034 ppm ($n = 135$) zu 0,121 ppm

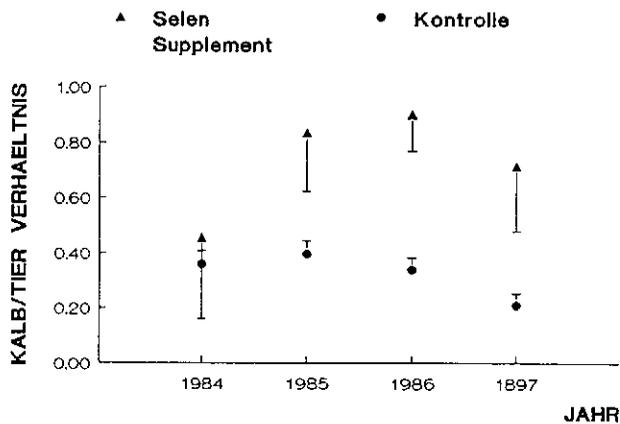


Abb. Einfluß von Selensupplementierung auf die Überlebenschance (95 % K.I.) von Schwarzwedel-Kälbern in Kalifornien, 1984-1987

($n = 42$) und konnten somit die Chance von WMD und Immunodefizit der Kälber beeinflussen. Kurz nach Rückwanderung in den Wintereinstand wurden die Kälber der experimentellen Tiere gezählt. Gleichzeitig wurde die Komposition der Herde anhand von Zählungen analysiert. Die Verhältnisse (Kälber/Tiere) waren 0,83 bei der experimentellen Gruppe ($n = 79$) im Gegensatz zu 0,32 in der Herde ($n = 1551$) (Abb.). Bei diesem klinischen Versuch wurden zwar die Kontrolltiere nicht gleich wie die experimentellen Tiere behandelt, jedoch hätten Behandlungen wie Einfangen, Blutentnahme und anderer Stress höchstens einen negativen Einfluß auf die Überlebenschance der Jungtiere. Die Se-Supplementierung hat also trotz eventueller streßabhängiger Mortalität der Kälber deutlich die Reproduktion beeinflusst.

5 Diskussion

Anhand des Beispiels mit Se wird deutlich, daß flächenweite anthropogene Einflüsse auch den Haushalt von Spurenelementen beeinflussen können. Dafür spricht eine Zunahme von klinischen Fällen in extensiven Haustierbetrieben, jedoch sind die meisten wildlebenden Tiere der ärztlichen Überwachung entzogen. Eine Zunahme von subklinischem Ausmaße ist schwierig zu ermessen, würde aber in vielen Gebieten ein erstes Anzeichen solcher Änderungen sein. Der subklinische Effekt von Se-Mangel an der Reproduktion einer wildlebenden Herde von Schwarzwedelwild konnte gezeigt werden.

Die angeführten Mechanismen, welche den Se-Zyklus beeinflussen, können mit den Erkenntnissen von Umweltbelastung in Zusammenhang gebracht werden. Wohl am deutlichsten erwiesen sind saure Präzipitation und Änderungen im pH vieler Böden. Es ist anzunehmen, daß das nicht ohne Folgen für die pflanzliche Aufnahme von Se bleibt. Das Gleiche gilt für Schwermetallbelastung, die z. T. gut dokumentiert ist und auch Einfluß auf Se haben müßte. Das Ausmaß von Düngung in Wald- und Weidegebieten, vor allem bedingt durch Immissionen, wird nun auch öfters diskutiert (ELLENBERG 1988, ABER u. a. 1989, N. Nat. Akad. Ber. 1989). Zudem ist zu erwarten, daß zusätzliche Düngung von Waldgebieten noch populärer werden könnte, um den schon geschwächten Pflanzen nachzuhelfen. Es ist aber eindeutig erwiesen, daß Düngung einen starken Effekt auf Se-Konzentration in Pflanzen hat. Zusätzlich bewirkt Düngung eine Änderung der Pflanzengesellschaft und Struktur mit der Konsequenz, daß das Angebot von Spurenelementen für Herbivoren geändert wird.

Ein weiterer Faktor, der zur Erschöpfung von Spurenelementen beiträgt, ist die Rate des Exportes von Biomasse. Das ist vor allem für diejenigen Spurenelemente wichtig, die einen kurzen Zyklus zwischen Boden und Biomasse haben, und die zum großen Teil in der Biomasse gebunden sind (siehe FLUECK u. SMITH-FLUECK). Wird also ein Spurenelement aus einem Gebiet schneller entfernt als der Boden es hinzufügen kann, dann ist eine Erschöpfung unausweichlich.

Eine wichtige Erkenntnis ist die Dynamik des Se-Normalwertes für Säugetiere. Um oxidativen Schaden zu verhüten, muß bei einer Erhöhung der Cd-, Hg-, oder Schwefelkonzentration die Einnahme von Se erhöht werden. Dazu kommen aber unzählige organische und anorganische Substanzen, deren Detoxifikation mit erhöhter Einnahme von Se gefördert werden sollte. Auch körpereigene metabolische Produkte, die bei Stress-, Immun- und Inflammationsreaktionen entstehen, benötigen GSH-Px, um die degenerierenden Kettenreaktionen zu unterbinden. Je nach Umweltbedingungen kann sich also der effektive Normalwert stark ändern und dürfte für die große Varianz der publizierten Normalwerte für Haustiere verantwortlich sein.

Mit dem Ausmaß der heutigen Änderungen in der chemischen Umwelt und den veränderten Raten der zyklischen Prozesse vieler chemischer Komponenten ist zu erwarten, daß auch Spurenelemente davon betroffen werden könnten. Da Spurenelemente mit Gesundheit/Krankheit zusammenhängen, ist es naheliegend, diese in Pflanzen und Tieren

zu überwachen und im gegebenen Fall als Supplement beizugeben. Se wird z. B. schon in einigen Gebieten per Flugzeug flächenweit als Düngung verteilt. Solche Eingriffe müssen möglicherweise auch in Naturschutzgebieten in Erwägung gezogen werden, da sie denselben Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Es ist dabei wichtig, daß wildlebende Wiederkäuer routinemäßig auf Spurenelemente untersucht werden. Leider sind Normalwerte für Spurenelemente noch nicht für alle wilde Arten erarbeitet, aber Werte für Haustiere können mangels Data vorerst als Richtlinien gebraucht werden.

Zusammenfassung

Großflächige Umwelteinflüsse können auch abgelegene Naturschutzgebiete beeinflussen. Saure Präzipitation, Immissionen von Schwefel und Stickstoffverbindungen und Immissionen und Liberalisierung von Schwermetallen können u. a. die zyklischen Prozesse von Spurenelementen beeinflussen. Die Löslichkeit von Selen (Se) z. B. ist vom pH abhängig. Eine Versäuerung des Bodens reduziert den Selengehalt der Pflanzen und damit der Herbivoren. Sodann wird Se von Schwermetallen gebunden, was im Boden zu unlöslichen Formen führt, im Tier ein erhöhtes Bedürfnis von Se bewirkt und bei Quecksilber und Cadmium Toxizität als Gegengift gebraucht wird. Düngung in Wald- und Weidegebieten resultiert vor allem von Immissionen von Schwefel und Stickstoffverbindungen. Diese Pflanzennährstoffe bewirken, daß die Se-Konzentration in Pflanzen reduziert wird und sich Se-Mangelkrankheiten häufen.

Se-Mangelkrankheiten in wildlebenden Wiederkäuern sind schwierig festzustellen, da klinische Fälle selten gefunden werden. Subklinischer Mangel, der weit verbreitet und unerkannt sein kann, dürfte von größerer Bedeutung sein. Se-Supplementierung in wildlebendem Schwarzweddelwild demonstrierte, daß sich subklinischer Mangel bei der Überlebenschance der Kälber auswirkte. Mögliche Änderungen beim Spurenelementangebot müssen deshalb auch in Naturschutzgebieten in Erwägung gezogen werden und können mit spezifischer Düngung korrigiert werden.

Summary

Possible impact of immissions on trace mineral availability to free-ranging ruminants: selenium as an example

Transnational and global environmental impacts can also influence remote protected areas. Acid precipitation, immission of sulphur and nitrogen compounds, and liberalization of heavy metals can influence the cyclical processes of trace minerals among other things. For instance, the solubility of selenium (Se) depends on the pH. Acidification of soils thus can reduce Se concentration in plants and consequently in herbivores. Further, heavy metals bind to Se which may result in insoluble forms in soils and increases of Se requirements of animals, and also explains the use of Se as antidote against mercury and cadmium intoxications.

Fertilization (eutrophication) of forest and range lands results primarily from the immission of sulphur and nitrogen compounds. Such plant nutrients decrease the Se concentration in plants and cause an increased incidence of Se responsive diseases in herbivores.

Se deficiency disease is difficult to observe in free-ranging wild ruminants because clinical cases are hard to find. However, subclinical deficiency may be wide spread and unrecognized, and may be more significant than overt deficiency. Se supplementation of free-ranging black-tailed deer demonstrated that subclinical deficiency is reflected in the preweaning survival of the young. Thus, possible alterations of trace mineral availability may also have to be considered in remote protected areas, as well as counter measures such as specific trace mineral fertilization.

Transl.: W. T. FLUECK.

Résumé

Influence possible d'émissions sur les ressources en éléments traces des ruminants sauvages: l'exemple du Sélénium

Des facteurs macro-écologiques sont susceptibles d'affecter des espaces naturels éloignés. Des précipitations acides, des émissions de Soufre et de composés azotés de même que des émissions et des libérations de métaux lourds peuvent notamment influencer les cycles des éléments traces. La solubilité du Sélénium (Se), par exemple, est fonction du pH. Une acidification du sol réduit la teneur en Se des plantes et donc des herbivores. Le Se est alors fixé par des métaux lourds, ce qui entraîne des composés insolubles dans le sol, un besoin accru de Se chez l'animal et, par voie de conséquence, une toxicité par substitution du Mercure et du Cadmium. La fumure en forêt et dans les pâturages résulte

surtout d'émissions de Soufre et de composés azotés. Ces substances nutritives font en sorte que la concentration du Se dans les plantes se voit réduite et que les carences en Se s'accroissent.

Les carences pathologiques chez les ruminants sauvages sont difficiles à constater, des cas cliniques étant rarement observés. Une carence sub-clinique, qui peut être largement répandue et cependant passer inaperçue, pourrait s'avérer plus significative. Une supplémentation en Se chez le Chevreuil à queue noire (*Odocoileus columbianus*) a montré qu'une carence sub-clinique présentait un effet sur les chances de survie des faons. Des déficiences quant à l'approvisionnement en éléments traces dans les espaces naturels doivent dès lors être prises en considération; celles-ci peuvent être corrigées par des fumures appropriées.

Trad.: S. A. DE CROMBRUGGHE

Literatur

- ABER, J. D.; NADELHOFFER, K. J.; STEUDLER, P.; MELILLO, J. M., 1989: Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioSci.* 39, 378-386.
- ANDERSON, P. H., 1983: Selenium deficiency in farm livestock in Britain. In: Trace Elements in Animal Production and Veterinary Practice. Occasional Publ. No. 7. Suttle, N. F., Gunn, R. G., Allen, W. M., Linklater, K. A., and Wiener, G., eds. *Brit. Soc. Anim. Prod.*, 126-127.
- BACKHAUS, B.; BACKHAUS, R., 1983: Die Cadmium-Belastung des Rehwildes im Eggegebirge. *Z. Jagdw.* 29, 213-218.
- BURRIDGE, J. C.; REITH, J. W. S.; BERROW, M. L., 1983: Soil factors and treatments affecting trace elements in crops and herbage. In: Trace Elements in Animal Production and Veterinary Practice. Occasional Publ. No. 7. Suttle, N. F., Gunn, R. G., Allen, W. M., Linklater, K. A., and Wiener, G., eds. *Brit. Soc. Anim. Prod.*, 77-85.
- BUTLER, G. W.; PETERSON, P. J., 1963: Availability of selenium in forage to ruminants. *N. Z. Soc. Anim. Prod.* 23, 13-27.
- COMBS, G. F.; COMBS, S. B., 1986: The role of selenium in nutrition. Academic Press, New York.
- ELLENBERG, H., 1988: Floristic changes due to nitrogen deposition in central Europe. In: Critical loads of sulphur and nitrogen. Nilsson, J.; Grennfelt, P., eds., UN-ECE u. Nordic Council of Ministers. 375-383.
- FAJER, E. D., 1989: How enriched carbon dioxide environments may alter biotic systems even in the absence of climatic changes. *Conserv. Biol.* 3, 318-320.
- FERENBAUGH, R. W., 1975: Acid rain: biological effects and implications. *Environ. Affairs*, 4, 745-758.
- FIELDER, P. C., 1986: Implications of selenium levels in Washington Mountain goats, Mule deer, and Rocky Mountain elk. *Northwest Sci.* 60, 15-20.
- FLUECK, W. T., 1989: The effect of selenium on reproduction of black-tailed deer (*Odocoileus hemionus columbianus*) in Shasta County, California. Dissertation, University of California, Davis.
- FLUECK, W. T.; SMITH-FLUECK, J. M., 1989: Selenium deficiency in deer: the effect of a declining selenium cycle? *Congr. Int. Union Game Biologists*, 19: Im Druck.
- FROST, D. V., 1972: The two faces of selenium - can selenophobia be cured? *CRC Crit. Rev. Toxicol.* 1, 467-514.
- FROST, D. V., 1983: What do losses in selenium and arsenic bioavailability signify for health? *Sci. Total Environ.* 28, 455-466.
- FROST, D. V., 1987: Why the level of selenium in the food chain appears to be decreasing. Selenium in biology and medicine. Part A. Combs, G. F., Spallholz, J. E., Levander, O. A., and Oldfield, J. E., eds. *AVI Book Publ.*, New York 534-547.
- GEERING, H. R.; CARY, E. E.; JONES, I. H. P.; ALLAWAY, W. H., 1968: Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32, 35-40.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1971a: Influence of pH and texture of the soil on plant uptake of added selenium. *Agric. Fd Chem.* 19, 1165-1167.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1971b: Selenium content of some fertilizers and their influence on uptake of selenium in plants. *Agric. Fd Chem.* 19, 564-566.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1973: Uptake and distribution of added selenite and selenate by barley and red clover as influenced by sulphur. *J. Sci. Fd Agric.* 24, 649-655.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1977: Control of selenium in plants. *Risoc Rep.* 370.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1979: Uptake and translocation of selenium-75, in *Zea mays*. Symp. Isotopes and Radiation in Research on soil-plant relationships. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 427-436.
- GISSEL-NIELSEN, G., 1987: Selenium in the soil-plant system. In: Selenium in Biology and Medicine. Combs, G. F., Spallholz, J. E., Levander, O. A., and Oldfield, J. E., eds. *AVI Book*, New York. 775-782.
- GUPTA, U. C.; WATKINSON, J. H.: Agricultural Significance of Selenium. *Outlook on Agriculture* 14, 183-189.

- HALPIN, C.; CAPLE, I.; SCHRODER, P.; MCKENZIE, R., 1982: Intensive grazing practices and selenium and vitamin B12 nutrition of sheep. In: Trace Element Metabolism in Man and Animals. Gawthorne, J. M., Howell, J. M., and White, C. L., eds. Springer Verlag, New York. 222-225.
- HOFF, G. L.; DAVIS, J. W., 1983: Noninfectious diseases of wildlife. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- JONES, M. B.; RENDIG, V. V.; NORMAN, B. B.; CENTER, D. M.; DALLY, M. R.; WILLIAMS, W. A., 1987: Selenium enhances lamb gains on sulfur-fertilized pastures. Calif. Agri. May-June: 14-16.
- KLOPPRIES, B.; BECKMANN, G., 1989: Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Troposphärenluft - ein Kardinalproblem der Menschheit. Forst u. Holz, 44, 191-199.
- LINDEVAL, B., 1984: The acid rain menace. Deer 6, 65-66.
- MILCHUNAS, D. G.; LAUFENROTH, W. K.; DODD, J. L., 1983: The interaction of atmospheric and soil sulfur on the sulfur and selenium concentration of range plants. Plant and Soil 72, 117-125.
- MILLAR, K. R., 1983: Selenium. In: The Mineral Requirements of Grazing Ruminants. Grace, N. D., ed. New Zealand Soc. Animal Production, New Zealand. 38-47.
- MUSHAK, P., 1985: Potential Impact of Acid Precipitation on Arsenic and Selenium. Environm. Health Perspect. 63, 105-113.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1983: Selenium in nutrition. National Academy Press, Washington, D. C.
- NORDEUTSCHE NAT. AKAD. BER., 1989: Eutrophierung - das gravierendste Problem im Naturschutz?
- PETERSON, P. J.; SPEDDING, D. J., 1963: The excretion by sheep of 75-selenium incorporated into red clover (*Trifolium pratense*): the chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. N. Z. J. Agric. Res. 6, 13-23.
- POPE, A. L.; MOIR, R. J.; SOMERS, M.; UNDERWOOD, E. J.; WHITE, C. L., 1979: The effect of sulphur on 75-selenium absorption and retention in sheep. J. Nutr. 109, 1448-1455.
- ROBBINS, C. T.; PARISH, S. M.; ROBBINS, B. L., 1985: Selenium and glutathione peroxidase activity in mountain goats. Can. J. Zool. 63, 1544-1547.
- STEFFERUD, A., 1956: The yearbook of agriculture: animal diseases. US Dept. Agric., US Government Printing Office, Washington, D. C.
- STOKINGER, H. E., 1962: Effects of air pollution on animals. In: Air Pollution. Stern, A. C., ed. Academic Press. 282-334.
- TOWERS, N. R.; CLARK, R. G., 1983: Factors in diagnosing mineral deficiencies. In: The Mineral Requirements of Grazing Ruminants. Grace, N. D., ed. New Zealand Soc. Animal Production, New Zealand. 13-21.
- TURNER, J.; LAMBERT, M. J., 1980: Sulfur nutrition of forests. In: Atmospheric Sulfur Deposition. Shriner, D. S., Richmond, C. R., and Lindberg, S. E., eds. Ann Arbor Science. 321-333.
- UNDERWOOD, E. J., 1977: Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Fourth edition. Acad. Press, New York.
- VAN BREEMEN, N.; DRISCOLL, C. T.; MULDER, J., 1984: Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soils and waters. Nature 307, 599-604.
- WHANGER, P. D.; MUTH, O. H.; OLDFIELD, J. E.; WESWIG, P. H., 1969: Influence of sulfur on incidence of white muscle disease in lambs. J. Nutr. 97, 553-562.
- WHANGER, P. D.; WESWIG, P. H.; OLDFIELD, J. E.; CHEEKE, P. R.; MUTH, O. H., 1972: Factors influencing selenium and white muscle disease: Forage types, salts, amino acids, and dimethyl sulfoxide. Nutr. Rep. Int. 6, 21-37.
- WHITE, C. L.; SOMERS, M., 1977: Sulphur-selenium studies in sheep I. The effect of varying dietary sulphate and selenomethionine on sulphur, nitrogen and selenium metabolism in sheep. Aust. J. Biol. Sci. 30, 47-56.

Anschrift des Autors: W. T. FLUECK, Wildlife and Fisheries Biology, University of California, Davis, California 95616