

Ein Beitrag zur pflanzenphysiologischen Wirkung von Spurenelementen am Beispiel des Selen

The effect of microelements on plant physiology, shown with selenium

Von Werner Kramer und Wolfgang Ziechmann^{o)}

1. Einleitung

Unter dem Begriff „Spurenelemente“ oder dem Synonym „Mikronährstoffe“ faßt man in der einschlägigen Literatur alle Elemente zusammen, an denen die Organismen zu ihrem Gedeihen einen wesentlich geringeren Bedarf haben, als an den sogenannten „Kern“- oder „Makronährstoffen“.

Sie lassen sich auch gegenüber den letztgenannten in physiologischer Hinsicht als *Hochleistungselemente* auffassen. Damit wird nicht so sehr in statischer Betrachtungsweise ihre absolute Menge, sondern dynamisch ihre Leistung in den Vordergrund gestellt, wie es auch bei den Hormonen und Vitaminen geschieht.

Obwohl Selen als Begleiter des Schwefels in allen Organismen vorkommt, gehört es zu den in pflanzenphysiologischer Hinsicht weniger untersuchten Elementen. Es ist daher nicht verwunderlich, daß manche Widersprüche in der Beurteilung dieses Elementes für das Pflanzenwachstum in der Literatur zu vermerken sind.

Einleitend seien einige grundlegende Bemerkungen vorangestellt.

^{o)} Dr. agr. Werner Kramer, Diplomlandwirt, Dozent für Chemie, Bodenkunde und Pflanzenernährung an der Deutschen Ingenieurschule für ausländische Landwirtschaft in Witzenhausen.

Anschrift: 343 Witzenhausen, Steinstraße 19.

Prof. Dr. Wolfgang Ziechmann, Dipl.-Chem., Abtl.-Leiter: Humusforschung am Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen.

Anschrift: 34 Göttingen, Von-Siebold-Straße 4.

2. Zur Chemie des Selens

In der VI. Hauptgruppe des Periodensystems stehend gehört es mit Schwefel, Tellur und anderen Elementen zu den Chalkogenen und ist in Spuren in schwefelhaltigen Mineralien (Pyriten und Blenden), in der Kohle, in vulkanischen Exhalationen und in den aus paläozoischen Schiefern entstandenen Böden anzutreffen. Nach der Verwitterung des Muttergesteins kann es freigesetzt und in pflanzenaufnehmbare Formen überführt werden.

Aus seiner Valenzelektronenstruktur resultieren folgende Wertigkeiten:

—II	± 0	+IV	+VI
Selenid	elem. Selen	Selenid	Selenat
Se^{2-}	Se_x	SeO_3^{2-}	SeO_4^{2-}

Die Oxydation selenhaltiger Sulfide führt zu Seleniten bzw. Selenaten im Boden, daher sind diese Wertigkeiten besonders interessant.

Wie nahe das Selen dem Schwefel steht, ist daraus zu ersehen, daß Selen bei Schwefelmangel diesen ersetzen bzw. selbst ersetzt werden kann. Dieser Schwefel-Selen-Antagonismus ist deshalb von großer Bedeutung, da Schwefel in einigen essentiellen Aminosäuren (Methionin, Cystein, Cystin) vertreten ist und eine bedeutende Stellung im intermediären Stoffwechselgeschehen, z. B. bei der Transmethylierung, einnimmt.

3. Zur physiologischen Bedeutung des Selens

Methylselenocystein (in *Astragalus pectinatus*), Selenomethionin (im Enzymprotein der β -Galaktosidase und *Escherichia coli*), Selenopantethin (in *Lactobac. helveticus*) oder Selenocystein bzw. Selenocystin (in den Mikrosomen) sind unter anderen einige besonders bemerkenswerte Selenvorkommen in der Biosphäre. Hohe Selenatgaben wirken bei Ratten hemmend auf die Methionin-Biosynthese, andererseits scheint dieses Element mit α -Tocopherol erforderlich für die Bildung von Ubichinon zu sein. Ausgeprägt ist bei diesem Element, daß pathologische Erscheinungen sowohl auf seinen Mangel wie auf seinen Überschuß zurückzuführen sind. So kann die auf Vitamin-E-Mangel zurückzuführende Lebernekrose verschiedener Haustiere durch Spuren von Selenit beseitigt werden. Hohe Selenitgehalte in Böden (Kanada, USA, Irland, Australien) führen wiederum bei Haustieren zu Mißbildungen, beim Schwein zur Dystrophie. Ebenfalls konnte Walker *) in Australien Störungen im Wollwachstum der Schafe bei Se-Mangel feststellen.

*) persönliche Mitteilungen

Die konträren Auffassungen verschiedener Autoren (2, 3, 4, 5, 6) über die unterschiedliche Toxizität von Selenit und Selenat auf das Pflanzenwachstum machte es erforderlich, bei den Untersuchungen über die Wirkung der beiden Ionen des Selens in Pflanzenversuchen *dem chemischen Verhalten* dieses Elementes größere Aufmerksamkeit zu widmen. Hierbei mußte besonderes Gewicht auf das Auftreten der eingangs herausgestellten verschiedenen Wertigkeitsstufen des Selens und ihre möglichen Einflüsse auf das physiologische Geschehen im pflanzlichen Stoffwechsel berücksichtigt werden.

So weist *Stoklasa* (5) auf die höhere Toxizität des Selenit-Ions während des Keimprozesses von Pflanzen hin. In Hydrokultur konnte er an 6 verschiedenen Kulturpflanzenarten eine höhere Toxizität des Selenits gegenüber dem Selenat feststellen. In älteren Veröffentlichungen wird diese Auffassung ebenfalls von *Turina* (6) und *Levine* (4) vertreten. Diese Befunde sind allerdings kritisch hinsichtlich des bekannten Schwefel-Selen-Antagonismus zu ergänzen. *Hurd-Karrer* (2) hat diesen Sachverhalt in ihre Untersuchungen mit einbezogen, indem sie das Schwefelangebot besonders berücksichtigte und zeigen konnte, daß geringe Selenkonzentrationen durch Schwefel vollständig paralytisiert werden. In den von *Stoklasa* (5) und *Turina* (6) verwendeten Nährlösungen enthielten mehrere Nährsalze Sulfatverbindungen.

Andererseits zeigten jedoch Filtrationsversuche mit natürlichem Boden (clayloam) von *Hurd-Karrer* (3), daß durch die Sorptionsfähigkeit der Tonminerale besonders das Selenat-Ion stark im Boden gebunden und somit seine Wirkung auf das Pflanzenwachstum herabgemindert bzw. verfälscht wird.

4. Untersuchungen zum Selenquotienten

Vor diesem Hintergrund ergab sich die Problemstellung der vorliegenden Untersuchungen. Denn es wird bei allen Widersprüchen deutlich, daß hinsichtlich der pflanzenphysiologischen Wirkung Unterschiede zwischen der +IV- und der +VI-wertigen Form dieses Elementes vorhanden sind. Und weiter ist offensichtlich, daß mancherlei Einflüsse von außen (Red./Ox.-Pot., Lichteinwirkung, Ionenkonzentration, die eine Veränderung der Wertigkeit bewirken) eine Störung des Pflanzenwachstums auszulösen vermögen. Bei strenger Ausschaltung des Schwefel-Selen-Antagonismus und der Sorptionsfähigkeit natürlicher Böden, waren nachfolgende Fragen zu klären.

- (4.01) Ist die Oxydation von elementarem Selen durch eine unterschiedliche Lichteinwirkung wesentlich beeinflussbar?
- (4.02) Kann eine Ausschaltung der Ionensorption durch die Wahl eines nichtsorbierenden Mediums bei weitgehender Anlehnung an den *Stoklasaschen* Oxydationsversuch beobachtet werden?

- (4.03) Wie beeinflußt eine zu Beginn des Oxydationsversuches zugegebene Nährlösung
- (4.03.1) den Oxydationsverlauf des elementaren Selen?
- (4.03.2) die Redoxverhältnisse beim Natriumselenit?
- (4.04) Welche pflanzenphysiologischen Effekte ergeben sich aus dem gleichzeitigen Angebot von Selenat und Selenit auf die Wachstumsentwicklung der Pflanzen?

Es wurden zwei Oxydationsversuche mit und ohne Lichteinwirkung, die in folgenden als Hell-(°) und Dunkelversuch (.) bezeichnet werden, angesetzt. Jedem Versuch, mit parallelen Serien in Hydroponik- und Quarzsandkulturen, waren 1 g elementares Selen bzw. 1 g Natriumselenit (438,7 mg Se) zugesetzt. Der Hälfte der Ansätze wurde bei Versuchsbeginn eine Nährlösung ([+] [-]) zugesetzt, die der von *Stoklasa* (5) verwendeten entsprach, wobei allerdings Sulfate durch Chloride ersetzt wurden. Durch alle Substrate wurde während der 60tägigen Versuchsperiode täglich 8 Stunden ein Luftstrom von 0,8—1,0 atm geleitet.

Am Versuchsende wurde in einem Teil der Substrate analytisch der Gehalt an wasserlöslichem Selen als Selenit und Selenat bestimmt, während die entsprechenden Parallelansätze für den unmittelbar anschließenden Wachstumsversuch verwendet wurden.

4.1 Ergebnisse

4.11 Oxydationsversuche

Zunächst wurde im Oxydationsversuch geprüft, in welchem Maße unter den angezeigten Bedingungen die Bildung von Selenit und Selenat bei Vorgabe von elementarem Selen oder Selenit erfolgt (Tab. 1 und 2).

In Tabelle 1 ist die Bildung von SeO_3^{2-} und SeO_4^{2-} aus elementarem Selen wiedergegeben.

Die Selenatbildung wird im Sandkulturversuch unter dem Einfluß von Licht allgemein gefördert, während die Selenitbildung offensichtlich dieser Einwirkung nicht in gleichem Maße unterliegt. Damit ergibt sich für diese Versuchsserie:

- (4.111) Die Einwirkung von Licht bewirkte eine relative Erhöhung des Selenat-, eine offensichtliche Erniedrigung des Selenitanteils.
- (4.112) Die zu Beginn der Oxydationsversuche zugegebene Nährlösung begünstigt im Hellversuch beim angewendeten elementaren Selen eine Erhöhung des Selenit- und eine Herabsetzung des Selenanteils.
- (4.113) Bei Anwendung von Natriumselenit (Tab. 2) zeigten sich in den Hydroponikansätzen kaum nennenswerte Unterschiede in der Aus-

fällung von *elementarem Selen* durch unterschiedlichen Lichtein-
fluß und Nährlösungszusatz. Diese kamen nur in den Sandkultur-
ansätzen klar zum Ausdruck, wobei im Hellversuch ohne Nähr-
lösung mehr elementares Selen ausgeschieden wurde und somit
eine geringere Selenatbildung erfolgte als bei Anwesenheit der
Nährlösung.

- (4.114) Im Dunkelversuch lagen die Verhältnisse hinsichtlich der Bildung
elementaren Selen bei den mit Natriumselenit versorgten Sand-
kulturansätzen umgekehrt.

Tabelle 1. Bildung von SeO_3^{2-} und SeO_4^{2-} aus elementarem Selen (Vor-
gabe: 1 g elem. Selen/Gefäß)

Versuchs- führung	(SeO_3^{2-}) (in % d. Selen-Gehaltes)	(SeO_4^{2-})	Nährsg.	Symbole
hell	0,5	0,9	—	S * } Sand-
	0,9	0,7	+	S * } kultur
	0,7	0,8	—	H * } Hydro-
	1,0	0,62	+	H * } kultur
dunkel	1,5	0,17	—	S · } Sand-
	1,2	0,10	+	S · } kultur
	1,1	0,75	—	H · } Hydro-
	0,9	0,24	+	H · } kultur

4.12 Pflanzentest

Der auf diese Oxydationsversuche folgende Pflanzentest sollte neben
einer erneuten Prüfung der Analysenergebnisse zeigen, ob sich aus den
verschiedenen Selenit- und Selenatgehalten auch unterschiedliche physio-
logische Wirkungen hinsichtlich der Keimung und des Längenwachstums
der Versuchspflanzen ergeben.

In vorliegendem Pflanzentest wurden bewußt beide, von anderen Auto-
ren immer getrennt in reinen Lösungen untersuchten Ionen des Selen —
Selenit und Selenat — zusammen in einem Medium angeboten. Diese
Verfahrensweise ergab sich nicht nur aus den vorstehend geschilderten
Versuchen, sondern sollte auch den in natürlichen Böden herrschenden
Verhältnissen Rechnung tragen.

Schon während der 30tägigen Wachstumsperiode zeigten die Pflanzen des Dunkelversuches eine allgemein bessere Wachstumsentwicklung in Sproßlänge und Wurzelwachstum. Auch der Grad der Chlorose war bei diesen Pflanzen geringer als bei jenen auf den Gefäßen des Hellversuchs.

Tabelle 2. Die Bildung von SeO_4^{2-} nach Vorgabe von 1 g Selenit/Gefäß

Versuchs- führung	(SeO_3^{2-}) (in % des Selenits/Gefäß)	(SeO_4^{2-})	Nährlg.	Bem.
hell	2,7	0,27°	—	Sandkultur
	51,4	3,0	+	
	56,5	1,28	—	Hydrokultur
	55,8	5,94	+	
dunkel	61,2	0,65	—	Sandkultur
	6,4	0,76°	+	
	58,4	0,23	—	Hydrokultur
	53,3	0,26	+	

Es zeigte sich schließlich, daß nur bei den Pflanzen eine Wachstumssteigerung eintrat, wo der Selenatgehalt der Substrate etwa ein 5—10faches geringer als der Selenitgehalt war und damit, daß weniger die anderen Parameter (Lichteinwirkung, Ionen der Nährlösung, Versuchsführung) als das Verhältnis der Konzentrationen beider Ionen hier ins Gewicht fallen, die sich durch folgende Beziehung ausdrücken läßt:

$$\Delta E = f(Q_{\text{Se}})$$

wobei ΔE das unterschiedliche Pflanzenwachstum und Q_{Se} der Selenquotient, das Verhältnis Selenit zu Selenat, sind.

Dieser Befund wird in Abbildung 1 wiedergegeben.

Die Kurve zeigt, daß bei einem Selenquotienten $Q_{\text{Se}} < 1,6$ starke Wachstumsdepressionen eintreten. Beim Überwiegen des Selenatgehaltes in den Substraten $Q_{\text{Se}} < 1$ resultierten erhebliche Schädigungen und Wachstumsdepressionen. Mit Abnehmen des Selenatgehaltes im Medium zeigten die Pflanzen eine zunehmende bessere Wachstumsentwicklung, die sich in einem bestimmten Bereich dieses Quotienten sogar als Wachstumssteigerung äußerte.

Bei $Q_{\text{Se}} = 1,6$ schneidet die Kurve die Abszisse. Bei einem solchen Selenit-Selenat-Verhältnis würde sich durch die Anwesenheit beider Ionen des Selen kein Einfluß auf das Pflanzenwachstum ergeben, denn schon

bei einem Quotienten von 1,62 zeigten die Pflanzen von Gefäß 24 (H_+^*) eine Wachstumssteigerung von 10% gegenüber den Kontrollpflanzen. Bei $Q_{Se} = 9$ hat die Kurve ihr Maximum. Die Pflanzen von Gefäß 7 (S^*), für die sich aus dem analytisch ermittelten Selenit-Selenat-Verhältnis ein Selenquotient von $Q_{Se} = 10$ ergibt, zeigen in diesem Kurvenverlauf schon einen abnehmenden Ertrag. Bei einem Quotienten zwischen 8 und 10 ist also die höchste Wachstumssteigerung durch die stimulierende Wirkung des geringen Selenatangebotes bei den Pflanzen anzunehmen. Die Richtigkeit dieser Annahme findet durch den weiteren Kurvenverlauf ihre Bestätigung. Denn bei einem weiteren Anwachsen des Selenquotienten über $Q_{Se} = 10$ tritt bereits wieder eine Wachstumsdepression ein, wie es sich an der Pflanzenentwicklung von Gefäß 14 (S_+^*) zeigt, für die sich aus dem Selenit-Selenat-Verhältnis von 12 ergibt. Das Wachstum dieser Pflanzen lag um 15% unter dem des Höchstertrages.

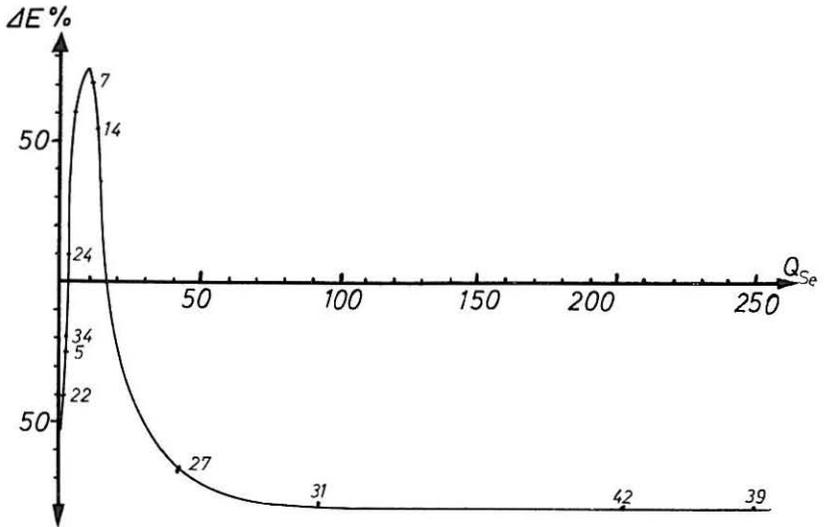


Abb. 1. Abhängigkeit zwischen den ermittelten Selenit-Selenat-Anteilen und dem Pflanzenwachstum.

Bei $Q_{Se} = 16$ schneidet der abfallende Ast der Kurve wieder die Abszisse, um in den Schädigungsbereich überzugehen. Aus dem steilen Anstieg der Kurve ist zu ersehen, daß durch nur geringe Betragsänderung des Selenatgehaltes in einem engen Selenit-Selenat-Verhältnis der schädigende Effekt auf das Pflanzenwachstum herabgesetzt wird. Hieraus läßt sich die höhere pflanzenphysiologische Wirksamkeit des Selenat-Ions gegenüber dem Selenit-Ion klar erkennen, die ihre Bekräftigung im abfallenden Verlauf der Kurve erhält. Durch weiteres Abnehmen des Selenat-

gehalten bei annähernd gleichbleibendem Selenitgehalt erfolgt ein Anwachsen des Selenquotienten, wodurch pflanzenphysiologisch eine Stimulation bewirkt wird, wie sie bereits von anderen Autoren (3, 5) beschrieben wurde. Bei einem Quotienten von 10 scheint die Grenze der wachstumsfördernden Wirkung des Selenats zu liegen, da bei einem weiteren Anwachsen des Selenquotienten das Überangebot an Selenit in zunehmendem Maße als Schädigungseffekt wirksam wird.

Bezeichnend für die Annahme der günstigsten Wachstumsbedingung bei einem Selenit-Selenat-Verhältnis von 10:1 sind die Schnittpunkte, in denen die Kurve die Abszisse schneidet. Diese liegen bei 1,6 und 16. Sie stehen ebenfalls in einem Verhältnis von 1:10 und geben den Förderungsbereich bei einem entsprechenden Verhältnis der Se-Konzentrationen an. Über $Q_{Se} = 16$ hinaus zeigt der Abfall der Kurve den Schädigungsbereich des Selenit-Ions, und der des Selenat-Ions liegt zwischen den Werten 0 bis 1,6. Der Kurvenverlauf weist aus, daß nicht so sehr die absoluten Selengehalte, sondern die in den einzelnen Substraten vorliegenden Mengenverhältnisse von Selenit und Selenat für die unterschiedliche Pflanzenentwicklung wachstumsbestimmend sind. Sollten diese Befunde kritischen Betrachtungen standhalten und einen fundierten Aussagewert erlangen, so mußten sich diese Beziehungen unabhängig von der absoluten Selenkonzentration im Medium bei Einhaltung der durch den Kurvenverlauf in den Schnittpunkten mit der Abszisse festgelegten Selenit-Selenat-Verhältnisse belegen lassen.

4.13 Ein Modellversuch

Um dieses Ergebnis zu sichern und um zu prüfen, inwieweit das Längenwachstum der Sproßteile repräsentativ für die Beurteilung von Pflanzenversuchen ist, wurde ein weiterer Wachstumsversuch durchgeführt. Es wurden drei verschiedene Selengaben vorgegeben, wobei der Selenit-Selenat-Quotient Q_{Se} die Werte 1,6 und 16 (vgl. Abb. 1) hatte, aber jeweils verschiedene Absolutkonzentrationen vorlagen.

Schon am 14. Versuchstag zeigte es sich, daß die Pflanzen mit den Selengaben ein vermindertes Wachstum gegenüber den Kontrollpflanzen zeigten. Obwohl eine graduelle Abstufung der Schädigung mit zunehmendem absoluten Selengehalt im Medium eintrat, war doch in der Wachstumsentwicklung der Parallelen mit den entsprechenden Selenit-Selenat-Konzentrationen für die Selenquotienten $Q_{Se} = 1,6$ und $Q_{Se} = 16$ eine gute Übereinstimmung zu finden. Die Ergebnisse des Modellversuches sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

5. Diskussion

Im vorstehenden wurde die Anwendung der Begriffe ‚toxisch‘ oder ‚Toxizität‘ hinsichtlich des Einflusses eines zu untersuchenden Elementes auf die Pflanzen vermieden.

Tabelle 3. Trockensubstanzproduktion in Abhängigkeit verschiedener Selenit-Selenat-Konzentrationen zur Überprüfung der Selenquotienten $Q_{Se} = 1,6$ und $Q_{Se} = 16$

Gef. Nr.	Se-Konzentr. in p.p.m.		Se abs. in mg	Q_{Se}	Sproß - frisch gew. in g		Sproß - Trock.		Trock.-Subst. in %	Wurzel frisch in g		Wurzel %Trock.-Subst. d. Wurzel	Trock.-Subst. ges. %	
	SeO ₃	SeO ₄												
2 a	10	6,25	16,44	1,6	0,660	0,554	0,178	0,166	30,0	0,532	0,562	0,052	8,90	38,90
2 b					0,448		0,154			0,591				
5 a	10	0,625	10,81	16	0,571	0,634	0,184	0,188	29,7	0,571	0,583	0,052	8,92	37,62
5 b					0,694		0,193			0,595				
3 a	30	18,75	49,21	1,6	0,257	0,262	0,095	0,096	36,6	0,389	0,375	0,037	8,65	45,25
3 b					0,266		0,097			0,362				
6 a	30	1,87	32,32	16	0,541	0,515	0,153	0,146	28,4	0,436	0,429	0,041	9,56	37,96
6 b					0,489		0,138			0,421				
4 a	50	31,2	81,72	1,6	0,278	0,273	0,100	0,100	36,6	0,411	0,416	0,035	8,65	45,25
4 b					0,267		0,101			0,421				
7 a	50	3,12	53,57	16	0,257	0,264	0,092	0,099	37,5	0,331	0,315	0,031	9,86	47,36
7 b					0,270		0,106			0,298				

Wie sich durch die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen läßt, namentlich durch die funktionelle Betrachtungsweise zwischen einer ‚Dosis‘ und dem dadurch ausgelösten ‚Effekt‘ auf die Pflanzenentwicklung, ist der Begriff der Toxizität für die pflanzenphysiologische Wirkung eines verwendeten Elementes gelegentlich zu eng gefaßt und daher irreführend. Die Bezeichnung ‚toxisch‘ im Hinblick auf den physiologischen Einfluß eines Elementes bzw. seiner Verbindungen ist von vornherein mit einem Vorurteil behaftet, da sie nur etwas über den schädigenden Effekt aussagt.

Es konnte hier dagegen gezeigt werden, daß es bei der Untersuchung eines Elementes hinsichtlich seines Einflusses auf das Pflanzenwachstum vorwiegend auf die spezifische pflanzenphysiologische Wirksamkeit und in diesem Zusammenhang immer auf den Konzentrationsbereich ankommt, der als Bezugssystem dienen sollte.

Daraus ergibt sich, daß solche Elemente mit einem hohen pflanzenphysiologischen Wirkungsgrad nur einen eng begrenzten, für das Pflanzenwachstum günstigen Wirkungsbereich haben, wie es bei den Spurenelementen der Fall ist. Je höher hierbei der Wirkungsgrad ist, der bei niedrigen Konzentrationen einen günstigen Effekt auszulösen vermag, um so stärker wirkt sich eine schon geringe Überdosis nachteilig, d. h. nun toxisch auf das Pflanzenwachstum aus.

Hieraus wird verständlich, daß bei der Klärung der abweichenden Auffassungen von *Stoklasa* (5) und *Hurd-Karrer* (3) hinsichtlich einer unterschiedlichen ‚Toxizität‘ des Selenit- und des Selenat-Ions aufgrund der vorliegenden Ergebnisse die Frage dahingehend beantwortet werden muß, daß diese Ionen sich nur durch ihren physiologischen Wirkungsgrad und einem voneinander abweichenden Wirkungsbereich unterscheiden. Hierbei vermag das Selenat-Ion stärkere pflanzenphysiologische Effekte auszulösen und hat somit einen geringeren Wirkungsbereich als das Selenit-Ion (Abb. 1).

Es ist also nicht so sehr der absolute Gehalt an Selenit und Selenat im Medium für die Pflanzenentwicklung entscheidend, sondern ihr Verhältnis.

6. Zusammenfassung

Es wurden zwei Oxydationsversuche mit elementarem Selen und Natriumselenit mit und ohne Lichteinwirkung angesetzt, in denen Hydroponik und Quarzsand als Medien dienten. Nach 8-wöchiger Oxydationsperiode wurden in den Parallelansätzen beider Versuche quantitativ die Selenit- und Selenatgehalte bestimmt, während die zweiten Ansätze zum Pflanzentest verwendet wurden.

Um klare Beziehungen zwischen den in den Substraten während der Oxydationsversuche gebildeten Selenit-Selenat-Verhältnisse und ihre Einflüsse auf die Pflanzenentwicklung herausstellen zu können, wurde auf die

Anwendung von natürlichem Boden verzichtet. Hiermit wurde eine Sorption von Selenit und Selenat durch das Medium vermieden und ein einheitliches Bezugssystem geschaffen.

Aus den Ergebnissen des Pflanzentests konnten im Zusammenhang mit den Analysenergebnissen bestimmte Beziehungen hinsichtlich der in den Substraten vorliegenden Selenit-Selenat-Verhältnisse und der Wirkungsbereich der untersuchten Ionen des Selens gefunden werden.

Hierdurch konnten die unterschiedlichen Auffassungen von *Stocklasa* und *Hurd-Karrer* dahingehend geklärt werden, daß sich das Selenit- und Selenat-Ion nur durch ihren verschiedenen physiologischen Wirkungsgrad und den damit verbundenen Wirkungsbereich unterscheiden. Toxisch wirken beide Ionen erst bei einer Überdosierung über den gefundenen Wirkungsbereich hinaus.

Aus der unterschiedlichen Schädigung von Sproß und Wurzel bei gleichzeitigem Angebot beider Ionen in einem Medium zeigte sich, daß die Wurzel vorwiegend durch das Selenit und die Sproßteile durch das Selenat geschädigt werden.

Summary

Two oxydation experiments with and without the influence of light were carried out with elementary selenium and sodium selenite using hydroponic and quartz-sand as medium-material. After an eight-week oxydation period, the quantity of selenite and selenate in the parallel tests of the two trials was measured and the second set of pots was used for plant tests.

In order to be able to ascertain the connection between the selenite-selenate ratio formed in the sub-strata during the oxydation experiments, and its influence on plant development, natural soil was dispensed with in these tests. In this way absorption by the medium of selenite and selenate was avoided and a uniform system of reference obtained.

It became apparent from the results of these plant tests when taken in connection with the results of the analysis data that there is a definite relation between the selenite-selenate ratio in the sub-strata and the effective range of the selenium ions investigated.

It was possible in this way to clarify the differing conceptions of *Stocklasa* and *Hurd-Karrer* in that it was ascertained that the selenite and selenate ions differ only in the degree of their physiological effectiveness and the range of effect connected with it. Both ions become toxic only when overdosed in excess of the effective range.

The different degrees of damage sustained by shoot and root when both ions were present in the same medium at the same time showed that the root suffered damage mainly through the selenite and the shoot through the selenate.

Literaturverzeichnis:

1. KRAMER, W. und W. ZIECHMANN, 1971: Zur pflanzenphysiologischen Bedeutung des Selens. *Pflanzenern. u. Bodenkde.* (im Druck).
2. HURD-KARREN, A. M., 1934: Selenium injury to wheat plants and its inhibition by sulphur. — *Jour. Agr. Res.*, **49**, 343—357.
3. HURD-KARREN, A. M., 1935: Factors affecting the absorption of selenium from soil by plants. — *Jour. Agr. Res.*, **50**, 413—427.
4. LEVINE, V. E., 1914: Reduction of selenium compounds in living organism. — *Biochem. Bull.*, **3**, 463—465.
5. STOKLASA, J., 1922: Über die Einwirkung des Selens auf den Bau- und Betriebsstoffwechsel der Pflanze bei Anwesenheit der Radioaktivität der Luft und des Bodens. — *Biochem. Zeitschr.*, **130**, 604—643.
6. TURINA, B., 1922: Vergleichende Versuche über die Einwirkung der Selen-, Schwefel- und Tellursalze auf die Pflanze. — *Biochem. Zeitschr.*, **129**, 507 bis 533.