

Kaspar Horst (1965):

Besserer Pflanzenwuchs durch Eisendüngung.- DATZ August 1965, S. 248-253

Besserer Pflanzenwuchs durch Eisendüngung

Von Kaspar Horst

Der Pflanzenwuchs in vielen Aquarien läßt zu wünschen übrig. Alte Aquarianer behaupten, früher sei er besser gewesen als heute. Dabei sind es nicht die empfindlichen Pflanzen, wie etwa die Cryptocorynen, die den Dienst versagen, sondern es sind die sogenannten „Anfängerpflanzen“, wie Elodea, Myriophyllum, Vallisneria, Ludwigia,

Hygrophila, aber auch Echinodorus und Sagittaria.

Am auffallendsten tritt dieses Phänomen zu Tage, wenn man einen Bodenfilter über der gesamten Bodenfläche einbaut und den gesamten Aquarienboden ständig leicht durchflutet. Dann wird der Pflanzenwuchs zum Problem. Selbst in

den Becken großer Aquarienvereine und in vielen Aquarienhäusern sieht man nur noch ganz selten ein schönes Vallisneriabecken oder gar einen dichten Myriophyllumbestand. Nun kann aber hier schon gesagt werden, daß es nicht daran liegt — wie Bader in der DATZ (1) vermutete — daß diese Pflanzen an ihren Wurzeln keine Wasserströmung vertragen können. Auch mit einem Bodenfilter ist guter Pflanzenwuchs durchaus möglich, wenn man es richtig macht.

Aber was ist eigentlich chemisch los in unseren Becken, wenn die Vallisnerien blaß und gelb werden, kurz über dem Boden abbrechen und schließlich abfaulen; wenn Elodeapflanzen bald nach dem Einsetzen ihre Quirle abwerfen, immer blasser werden, bis zur Farblosigkeit und schließlich rasch absterben; wenn Echinodorus kümmern, die alten Blätter abfaulen und die neuen als glasige, kümmerliche Triebe bald wieder abbrechen und es nur eine Frage der Zeit ist, bis die Pflanze weggeworfen wird? Im selben Becken aber wachsen Cryptocorynen verhältnismäßig gut, sind gesund und grün, und auch Bacopa wächst einigermaßen zufriedenstellend.

Wir haben es hier mit dem äußerlichen Erscheinungsbild einer Eisenmangel-Chlorose zu tun: einer gehemmten Chlorophyllbildung, die in schweren Fällen das ganze Blatt, die ganze Pflanze betrifft, aber auch je nach Schwere des Mangels auf die Interkostalfelder beschränkt bleiben kann, während die Blattnerven grün bleiben (2).

Daß diese Mangelerscheinungen nicht bei allen Pflanzen in gleicher Stärke zutage treten, Cryptocorynen noch gut gedeihen können, während Vallisnerien oder Myriophyllum bereits längst abgestorben sind, liegt an dem unterschiedlichen Eisenbedarf der Pflanzen. Als Faustregel kann man sagen, daß langsam wachsende Pflanzen weniger Nähr-Eisen benötigen, als schnell wachsende Pflanzen.

Die Rolle des Eisens in Aquarien

Das Auftreten des Eisenmangels ist nun keineswegs mit einem Nichtvorhandensein von Eisen in den Aquarien zu erklären, sondern beruht auf den komplizierten Wechselwirkungen des Eisens mit dem Sauerstoff, dem Wasser, den anderen Pflanzennährstoffen und den Umweltbedingungen, wie pH-Wert des Wassers, dem Redoxpotential, vor allem dem Ca-Gehalt und dem Phosphathaushalt. Aber auch ein Überschuß an anderen Schwermetallen kann zu induziertem Eisenmangel führen. Die Ausfällung von Fe-Phosphaten kann nach Sideris und Young (3) nicht nur im Nährmedium, sondern auch noch in den Leitbahnen der Pflanze selbst erfolgen. Es ist noch nicht genau bewiesen, warum die Anhäufung des Eisens in den Wurzeln in Kulturlösungen zunimmt, wenn die Wasserstoffionenkonzentration ansteigt. Eisenmangel ist noch 1952 von Stewart und Leonhard

(4) als die am schwierigsten zu heilende Mangelerscheinung bezeichnet worden.

Ein Zusatz von anorganischem Eisensalz führt zu keinem Erfolg, da dies sofort wieder oxydiert und ausgefällt wird: Bei Anwesenheit von Phosphat als Ferriphosphat, ist das Phosphat erschöpft, als Ferrihydroxyd. Die Löslichkeit des Ferriphosphats ist außerordentlich gering. Selbst nach monatelangem Liegen in natürlichem Wasser findet keine Lösung (Hydrolyse) statt.

Einsele (5) gibt die Geschwindigkeit, mit der die Oxydation von Ferroeisen mit dem im Wasser gelösten Sauerstoff verläuft, als stark pH-abhängig an, und zwar verläuft sie um so langsamer, je niedriger der pH-Wert ist. In Gewässern, deren pH unter 5,5 liegt, geht die Oxydation von Ferroionen mit dem gelösten Sauerstoff sehr langsam vor sich. Bei Zimmertemperatur dauert der Prozeß bereits mehrere Tage. In alkalischen Wässern (pH mehr als 7,5) verläuft die anorganische Oxydation bereits momentan. Ist nun noch Phosphat vorhanden — und in welchen Aquarien ist das nicht —, so tritt auch bei pH-Werten zwischen 6 und 6,5 sofort Ferriphosphatbildung ein. Damit fällt das Eisen für die Eisenversorgung der Aquarienpflanzen aus.

Dieses Ferriphosphat und Ferrihydroxyd ist nur mit geeigneten Reduktionsmitteln zu reduzieren und wieder in lösliche Form zu überführen, etwa den bei anaerober Fäulnis auftretenden reduzierenden Stoffen. In Aquarien spielt diese Rolle in den meisten Fällen der Schwefelwasserstoff im Boden. In der Kontaktzone mit dem Schwefelwasserstoff gehen Ferrihydroxyd und Ferriphosphat wieder in Lösung. Hierher rührt also das Eisen, das auch in Aquarien einen zufriedenstellenden Pflanzenwuchs gewährleisten kann, solange, bis die H_2S - und Methangasbildung hier überhandnehmen, der Boden schwarz und schlecht wird und diese anaeroben Stoffe selbst für den Pflanzenwuchs schädlich werden.

Mit zunehmender Vervollkommnung der Aquarientechnik, der Verwendung von leistungsstarken Durchlüftungspumpen, großen Filtern, von reinem Sand und der Vermeidung von H_2S -bildenden Stoffen im Boden, vor allem aber durch die Verwendung von Bodenfiltern, wurden die Aquarien zunehmend hygienischer. Damit nahm aber auch der Eisengehalt ab, fiel unter die Existenzgrenze „eisenliebender“ (ferrophiler) Wasserpflanzen.

In diesem Zusammenhang ist die Frage erlaubt, ob in Aquarien der Eisenspiegel so abfallen kann, daß auch ausgesprochen eisenarme Pflanzen, wie die Cryptocorynen, an Eisenmangel zu leiden beginnen. Aus eigener Erfahrung kann ich hier schon sagen, daß bei meinen Experimenten in dieser Hinsicht bei bestimmter Versuchsanordnung die Cryptocorynenfäule auftrat und je nach Veränderung der Bedingungen wieder verschwand, so daß

eine mögliche Erklärung für diese so lange rätselhaft geliebene Mangelerscheinung auftaucht.

Gessner prägte in seiner umfangreichen „Hydrobotanik“ (6) den Satz von der „chemischen Tragödie in unseren Seen“. Er bezeichnete damit das Phänomen, das sich alljährlich in vielen Seen wiederholt: Während der Stagnationsperiode hat sich über dem Sediment eine Menge von Ferro- und Phosphationen gebildet, die während der Vollzirkulation in den nährstofffreien Wasserraum gelangen und damit den Pflanzenwuchs wieder forcieren. Gleichzeitig findet aber auch mit der Vollzirkulation eine Durchmischung des Wassers mit Sauerstoff statt, der nun eine Ferriphosphatfällung bewirkt und dem Wasser diesen wichtigen Pflanzennährstoff zum Teil wieder entzieht.

Die „chemische Tragödie in unseren Aquarien“ könnte man hieraus ableiten. Auf der einen Seite gestattet die moderne Aquarientechnik eine hygienische Aquarienhaltung, auf der anderen Seite bewirkt sie aber eine chemische Eisenfällung und damit schlechten Pflanzenwuchs.

Die von Hückstedt (7) empfohlene Verwendung von organischen Eisensalzen, und zwar das Eisenzitrat, führt nach meinen Erfahrungen in der Praxis zu keinem zufriedenstellenden Erfolg. Diese auch in Laboratoriumsversuchen oft erprobte Methode (8, 9) scheidet aus, weil die Bodenmikroorganismen die organischen Säuren sehr rasch abbauen und das Eisen wieder ausfällen.

Zurück zur Natur?

Nun wäre es sicherlich falsch, den Schlachtruf „Zurück zur Natur!“ auszustoßen und zu den früheren H₂S-haltigen Aquarienböden zurückzukehren. Erstens ist das gar nicht nötig, und zweitens wäre das ein Anachronismus.

Bei meinen jahrelangen Versuchen, den Gehalt an löslichem Eisen im Aquarium trotz der Verwendung von modernen technischen Hilfsmitteln zu heben, stieß ich nach manchen Mißerfolgen auf eine Notiz in der DATZ (10) über einen Bericht von P. C. DeKock, die eigentlich schon damals revolutionär auf die ganze Aquaristik hätte wirken können. Diese Notiz berichtete von Versuchen amerikanischer Forscher, den wachstumsfördernden Effekt der Huminsäure zu Behebung der Eisenchlorose nutzbar zu machen. Im Jahre 1951 fand Jacobson (11) in Nordamerika in den Chelaten Stoffe, die den gestellten Anforderungen genügten. Er verwendete eine Polyaminocarbonsäure, deren Anwendung in der Industrie schon lange zu verschiedenen Zwecken gebräuchlich war, nämlich das Dinatriumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure, abgekürzt Na₂EDTA. Diese organische Säure bildet mit dreiwertigem Eisen Chelate, die auch bei höherem pH stabil sind und sich sehr leicht in Wasser lösen.

Leonard, Steward, DeKock und viele andere Forscher griffen die Entdeckung Jacobsons auf

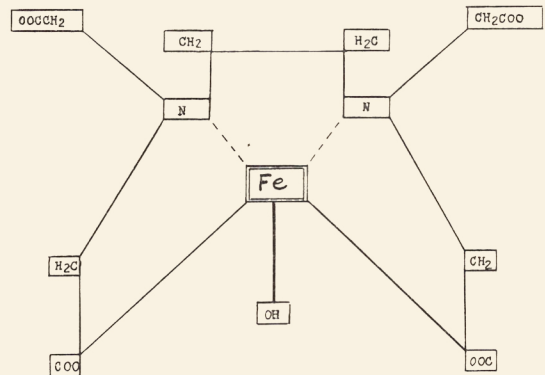
und hielten damit ein Jahr später den Schlüssel zur Heilung der gefürchteten Eisenchlorosen in den Citrus-Anbaugebieten der USA, vor allem in Florida, in der Hand. Dort richteten Eisenmangelschäden besonders auf sauren Böden alljährlich schwere Schäden an.

Eisenchelate in der Aquaristik

Es galt nun, die hier gewonnenen Erkenntnisse auch für die Aquaristik nutzbar zu machen. Versuche, zunächst die natürlichen Huminsäuren in Form von Torf und Torfextrakten zu verwenden, scheiterten, da die im Handel erhältlichen Torfpräparate wohl die notwendigen Huminsubstanzen nicht enthalten. Es galt also, auch in der Aquaristik die synthetisch hergestellten Huminsäuren anzuwenden.

Die Chelatverbindungen

Zuvor möchte ich noch in kurzgefaßter Form das Wesen der Chelatverbindungen erklären. Als Chelatverbindung bezeichnet man die Bindung zwischen einem Kation, z. B. Eisen (Fe), und einer organischen Substanz. Die organische Struktur bezeichnet man als Chelator, die mit dem Metall das Chelat bilden, wobei diese Bindungen das Metall allmählich wie eine Zange oder Schere umfassen (12) (siehe Skizze).



Aufbau einer Chelatverbindung

Die Chelate sind äußerst widerstandsfähig und stabil; sie sind über weite pH-Bereiche wasserlöslich und, was wohl für die Verwendung in Aquarien ausschlaggebend sein wird, sie können anderen stabilen Verbindungen das Kation (Eisen) entreißen. Während man zunächst noch annahm, daß das Chelat von der Pflanze als ganzes Molekül aufgenommen wird (13, 14) und ähnlich wie ionisiertes Eisen verteilt wird, kamen Brown und Tiffin (15) zu der Überzeugung, daß bei der Fe-Chelatdüngung nicht in jedem Fall das gesamte Fe-Chelatmolekül von der Pflanze aufgenommen wird. Die genannten Autoren fanden, daß nur ein kleiner Teil des gesamten als Chelat gegebenen Fe als Fe-Chelat in die Wurzel gelangt. Die gün-

stige Wirkung einer Chelatisierung besteht also hauptsächlich darin, daß der Chelator das Fe-Ion vor der Ausfällung schützt, während die Aufnahme und die Verlagerung des Fe in der Pflanze wahrscheinlich durch pflanzeigene Chelatoren vorgenommen wird. Daß es hierbei zu Ionenkonkurrenzen zwischen dem Eisen und anderen Metallen kommen kann, sei hier nur am Rande vermerkt, wie überhaupt der sehr umfangreiche Komplex der Chelatisierung im Rahmen dieses Artikels nur gestreift werden kann. Erwähnt sei aber hier noch, daß die auch in der Aquaristik schädliche Wirkung der im Überschuß vorhandenen Schwermetalle, wie Kupfer, Nickel, Zinn, Mangan u. a., durch die Chelatgabe gemildert und sogar unschädlich gemacht werden kann.

Bei der Fragestellung, wie und welche Chelatoren in der Aquaristik Anwendung finden sollen, müssen folgende Forderungen (abgeändert nach A. Wallace und C. P. North) aufgestellt werden:

1. Das zu bindende Eisen darf nicht leicht gegen andere Metalle austauschbar sein.
2. Der Komplex darf keinen mikrobiellen Abbau erleiden.
3. Er muß gegen Hydrolyse stabil sein.
4. Der Komplex muß wasserlöslich sein und darf durch die Bodenkolloide oder andere Faktoren nicht festgelegt werden.
5. Das Metall muß der Pflanze zur Verfügung stehen.
6. Der Komplex darf keine schädigende Wirkung auf Pflanzen und Fische ausüben.



Links:

Vallisneria gigantea mit typischen Kennzeichen einer akuten Eisenmangelkrankung: glasige Blätter, die zum Teil bereits abgestorben sind. Dem Wasser wurde vor vier Tagen EDTA zugesetzt. Man erkennt Wiederergrünen an den hellen Rändern der beiden mittleren Blätter (Pfeile). Das neue Blatt ist bereits schwach grün

Rechts:

Drei Wochen nach der ersten EDTA-Zugabe. Man sieht, daß die alten Blätter — soweit der Chloroseschaden reversibel war — wieder ergrünten. Die neuen Blätter erschienen sattgrün

7. Er muß leicht in größeren Mengen herstellbar, also billig erhältlich sein.

Zunächst wurde von mir die ungebundene Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA) erprobt. Es handelt sich um ein weißes Pulver, das von Merck, Darmstadt, unter der Bezeichnung „Titriplex II“ in den Handel gebracht wurde. Es ist zwar nicht so leicht löslich wie das Dinatriumsalz dieser Säure, weist jedoch bei der Anwendung in Aquarien, wie wir später sehen werden, einige Vorteile auf. In Vorversuchen wurden vier kleine Behälter von je 1,5 Liter Inhalt benutzt, versehen mit Kölner Leitungswasser (26° dGH, pH 7,1 bis 7,2), einigen Tropfen Wagnerscher Nährlösung, Spurenelemente und je vier Elodea-Pflanzen. Im ersten Behälter wurde kein EDTA zugesetzt; im zweiten 10 mg; im dritten 20 mg; im vierten Behälter 40 mg EDTA. Als Beleuchtung dienten zwei Leuchtstoffröhren vom Typ 35 L.

Die Pflanzen wurden wöchentlich gewogen. Es ergaben sich folgende Durchschnittsgewichtszunahmen (in wöchentlicher Addition): in Milligramm:

Behälter:	1	2	3	4
1. Woche	452	317	502	350
2. Woche	567	797	975	897
3. Woche	615	952	1220	1207
4. Woche	502	1377	1504	1365

Während sich die Pflanzen im Behälter 1 nach Abschluß der Versuchsserie in äußerst schlechtem Zustand befanden, alle Anzeichen einer Chlorose



aufwiesen (blaß, zum Teil abgebrochen, mit chlorotischen Stengeln), waren die Pflanzen in den drei übrigen Behältern grün und in gesundem Zustand. Die Pflanzen hatten zum Teil bis zu 10 cm lange Seitentriebe und Wurzeln gezogen. Die Behälter waren zum Teil, besonders Nr. 3, stark veralgt.

Darauf wurden die hier gewonnenen Erfahrungen an einem 80-Liter-Aquarium praktisch angewandt. Das Aquarium war bepflanzt mit *Vallisneria gigantea*, *Echinodorus brevipedicellatus*, *Bacopa monnieri*, *Cryptocoryne griffithii*, *C. ciliata*, *C. nevillei* und war besetzt mit *Gymnocorymbus ternetzi*, *Nannobrycon eques*, *Pelmatochromis kribensis*, *Helostoma temminckii*.

Der Zustand der Pflanzen war folgender: Die *Cryptocorynen* waren gesund und kräftig, der Bestand dicht. Die *Vallisnerien* waren gelb, glasig und zum Teil etwa sechs bis acht cm über dem Boden abgebrochen. Längere Blätter waren nicht mehr vorhanden. Die *Echinodorus*-Pflanze kümmerte stark, die äußeren Blätter lagen blaß und mit faulen Spitzen auf dem Boden, die letzteren, kleineren Blätter waren glasig, durchsichtig und wuchsen nicht mehr. Zugesezt wurde dem Aquarienwasser gemäß die im Vorversuch ermittelte günstigste Menge: 1 Gramm EDTA.

Der Erfolg war umwerfend: Bereits nach 48 Stunden hatten die *Vallisneria*-Blätter einen hellgrünen Rand, selbst die Reste der abgebrochenen Blätter wurden an den Rändern grün. In den folgenden Tagen wurde das gesamte Blatt mehr und mehr gleichmäßig grün, der Wuchs wieder stärker, und alle neuen Blätter erschienen bereits schön sattgrün.

Auch die *Echinodorus*-Pflanze erholte sich nach wenigen Tagen. Neue Blätter erschienen wieder sattgrün, und heute, nach über einem Jahr, ist diese Pflanze, die mittlerweile in ein größeres Becken von 160 Liter Inhalt umgesetzt wurde, eine stattliche, kräftige Pflanze. Die *Vallisneria*-Pflanzen vermehrten sich in der Folgezeit kräftig und mußten bald wegen der nun beginnenden Wucherei ausgerissen werden.

Der zweite Versuch wurde nun mit dem von Jacobson (11) empfohlenen Eisenkalium-Äthylendiamintetraacetat unternommen. Dieser Komplex wurde wie folgt hergestellt: 26,1 g EDTA wurden in 268 ml 1/1n Kalilauge gelöst, dann wurden 24,8 g Eisensulfat $\cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ hinzugefügt und das Ganze auf ein Liter verdünnt. Dieses Gemisch wurde über Nacht durchlüftet, zur Bildung eines stabilen Eisenkomplexes. 1 ml dieser Lösung versorgt 1 Liter Nährlösung mit 5 Milligramm Eisen. Die Versuchsanordnung war wie beschrieben. Als Versuchspflanzen dienten wieder *Elodea*. Zugesezt wurden dem 1. Becken kein Eisenkalium, dem zweiten 1/10 Tropfen, dem dritten 2/10 Tropfen und dem vierten Behälter 4/10 Tropfen.

Das Ergebnis sah folgendermaßen aus:

Behälter:	1	2	3	4
1. Woche	360	—150	730	490
2. Woche	760	40	1340	600
3. Woche	1250	1440	3200	1230
4. Woche	2530	1990	4140	1780

mg Gewichtszunahme/Woche

Hier zeigte sich schon, was sich auch später in der praktischen Anwendung bestätigte, daß bei der Verwendung des Fe-K-EDTA eine genaue Dosierung erforderlich ist. Bei einer genauen Dosierung ist zwar eine größere Wirkung zu erzielen als bei der bloßen Verwendung der ungebundenen EDTA, aber bei einer praktischen Anwendung im Aquariumbetrieb ist eine genaue Kontrolle nicht möglich, und es führt dann schnell zu Überdosierungen und zu einer toxischen Wirkung des Eisens, was sich in einer spürbaren Wachstumsstockung bemerkbar macht und zu nekrotischen Flecken auf *Vallisneriapflanzen* führte. Bei wiederholter Anwendung von Fe-K-EDTA in einem 160-Liter-Becken trat an *Cryptocorynen* beständen schlagartig eine Form der *Cryptocorynenfäule* auf, die eine toxische Fe-Wirkung vermuten läßt.

Die Verwendung des Dinatriumsalzes der EDTA (Titrplex III), das sich durch seine leichte Löslichkeit auszeichnet, war ebenfalls nicht ganz erfolgversprechend, jedoch sind hier noch Versuche im Gange. Die negativen Ergebnisse bei den ersten Versuchen mit diesem Salz beruhen wahrscheinlich ebenfalls auf einer zu hohen Dosierung. Darauf deutet auch die Veröffentlichung von Majunder und Dunn (16), die u. a. schrieben: „Im ersten Versuch, bei dem 0—200 Mikromol Na-EDTA je Liter gegeben wurden, zeigte sich, daß mehr als 10 Mikromol schädlich bzw. tödlich wirkten, geringere Gaben aber im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen förderten, besonders auch das Wurzelwachstum.“

An dieser Stelle sei noch betont, daß in keinem Falle, auch bei einer Überdosierung mit EDTA, irgendeine schädliche oder nachteilige Wirkung an Fischen oder Schnecken beobachtet worden ist.

Seit der ersten Veröffentlichung von Jacobson im Jahre 1951 sind nun eine unübersehbare Zahl von Eisenchelaten dem Botaniker an die Hand gegeben worden. Es wird auch noch eine Reihe von Jahren vergehen, die geeignetsten Verbindungen für die Aquaristik zu ermitteln. Es scheint aber, daß die Aquaristik mit der ungebundenen EDTA vorläufig noch den geeignetsten Chelator besitzt, um die Eisenchlorose in den Aquarien zu heilen. Ihr Vorteil liegt in der leichten Dosierbarkeit und ihrer Fähigkeit, das in den Aquarien festgelegte Eisen zu mobilisieren.

Literaturverzeichnis:

(1) DATZ 1962, S. 12. — (2) G. Scholz: Die Rolle von Chelaten bei der Eisenversorgung und im Stoffwechsel

der Pflanze. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 76—77 (1957). — (3) Sideris, C. P. u. Young, H. Y.: Growth and chemical composition of *Ananas comosus* in solution cultures with different iron-manganese ratios. *Plant Physiol.* 24 (1949). — (4) Ivan Stewart and C. D. Leonard: Chelates as sources of iron for plants growing in the field. *Science* cxyl (1952). (5) Wilhelm Einsele: Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisen-Phosphat-Systemen unter limnochemischen und limnogeologischen Gesichtspunkten. *Hydrobiologie* 33 (1938). — (6) Fritz Gessner: Hydrobotanik II. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1959). — (7) Guido Hückstedt: *Aquarienchemie*, Kosmos-Verlag (1963). — (8) Alexander and Walsh: New chemical agent makes possible complete control of iron chlorosis. *Agric. Chemicals* 7, Nr. 7 (1952). — (9) siehe (4). — (10)

DATZ 1960, S. 224. — (11) Louis Jacobson: Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric potassium ethylenediamine tetra-acetate. *Plant. Physiol.* 26 (1951). — (12) Konrad Mengel: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. — (13) Wallace, A., North, C. P., Mueller, R. T., Shannon, L. M. and He- maidan, N.: Behavior of chelating agents in plants. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 65 (1955). — (14) Weinstein, L. H., Purvis, E. R., Meiss, A. H. and Uhler, R. L.: Absorption and translocation of ethylenediamine-tetra- acetic acid by sunflower plants. *J. Agric. and food chem.* 2 (1954). — (15) Brown, J. C. und Tiffin, L. O.: Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstock. *Soil Sci.* 89, 8 (1960). — (16) Majunder, S. K. und Stuart Dunn: Effect of metal chelates on growth of corn in solution cultures. *Plant Physiol.* 33 (1959).