

Der Einfluß zweiwertiger Fremdkationen auf die Aufnahme von Zink durch *Chlorella*

Influence of Twovalent Foreign Cations on the Uptake of Zinc by *Chlorella*

G. Klünger und E. Broda

Institut für Physikalische Chemie, Universität Wien, Währingerstr. 42, A-1090 Wien

Z. Naturforsch. **34 c**, 751 – 756 (1979); eingegangen am 15. Juni 1979

Chlorella, Green Algae, Zn Metabolism, Ion Transport, Ion Competition

The influence of 10^{-4} divalent cations on the uptake of labelled Zn in the concentration range 10^{-5} to 5×10^{-5} M into the interior of *Chlorella fusca* at 30°C was measured during 75 min. The Zn adsorbed on the surface or contained in the free space was removed by washing with EDTA. Corrections were applied for the loss in concentration due to surface adsorption, etc. The results were consistent with competitive inhibition of Zn uptake by the foreign ions. No allosteric inhibition was found. From the Lineweaver-Burk diagram, for uninhibited Zn, K_M was found as 7×10^{-6} M and v_{max} as 8.3×10^{-9} mol · min $^{-1}$ · g $^{-1}$ algae. The inhibitor constants were: Mg 1.3×10^{-5} , Ca 4.3×10^{-5} , Co 4.3×10^{-5} , Ni 4.3×10^{-5} , Cd 1.3×10^{-5} and Pb 9.4×10^{-7} M. The values given for K_M and the inhibitor constant refer to the velocities of uptake after 45 min.

Im hiesigen Laboratorium wurde die Aufnahme radioaktiv markierter zweiwertiger Schwermetall-Kationen durch Einzeller untersucht [1, 2], u. zw. insbesondere am System Zink/*Chlorella fusca* [3 – 6]. Zn ist ein essentielles Spurenelement und wird in *Chlorella* durch ein Transportsystem energieabhängig in das Zellinnere geschafft. Ähnliche Ergebnisse wurden bezüglich der Aufnahme von Zn durch Coli-Bakterien [7], durch die Blaualge *Anacystis nidulans* (H. W. Tromballa und B. Steidl, unveröffentlicht) und durch Bäckerhefe [8] sowie bezüglich der Aufnahme des ebenfalls essentiellen Spurenelements Kobalt durch *Chlorella* [4] und durch Bäckerhefe [9] erhalten. Hingegen wird das nicht-essentielle Cer durch *Chlorella* nicht energieabhängig eintransportiert [4]. Ebenfalls gibt es für das nicht-essentielle, ja sogar giftische Blei weder bei *Chlorella* [4] noch bei Bäckerhefe [9] energieabhängigen Eintransport. Bemerkenswert ist weiterhin der energieabhängige Eintransport der nicht-essentiellen Elemente Thallium durch *Chlorella* [10] und Cadmium durch *Chlorella* [11] und Bäckerhefe [9]. In diesen Fällen sind die Aufnahmesysteme für K bzw. für Zn wirksam, d. h. die Spezifitäten der Systeme reichen für die Unterscheidung von Tl von K bzw. von Cd von Zn nicht aus. Dies ist entwicklungsgeschichtlich insofern verständlich, als die beiden giftigen „Doppelgänger“ in der natürlichen Umgebung der Orga-

nismen praktisch nicht vorkommen, eine Unterscheidung daher nicht erforderlich war.

Neben der in den genannten Fällen vorhandenen Aufnahme ins Zellinnere wird bei sämtlichen untersuchten mehrwertigen Kationen starke energieunabhängige Aufnahme durch Adsorption [1 – 3] oder Eintritt in den freien Raum der Zellhülle [12] beobachtet, die rasch und weitgehend reversibel erfolgt. Sie ist nicht energie- und nur wenig temperaturabhängig. Die Adsorption von Zn wurde auch an isolierten Zellwänden aus *Chlorella* gemessen [13]. Schließlich findet, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit, energieunabhängige Diffusion ins Zellinnere, z.B. von *Chlorella*, statt. Durch diese Diffusion dürfte die Toxizität z. B. des Bleis zu erklären sein, das ja kein Doppelgänger eines essentiellen Elements ist.

Im Verlaufe der Arbeiten wurde oftmals beobachtet [14 – 16], daß sogar Kationen, die sich von dem aufzunehmenden (markierten) Ion chemisch wesentlich unterscheiden, dessen Transport stark beeinflussen können („Konkurrenz“). Dabei könnte das Konkurrenz-Ion als Hemmstoff oder aber als zweites Transportsubstrat wirken. Die Erscheinung der Konkurrenz sollte nun in mehr systematischer Weise untersucht werden. Dabei wurde abermals das markierte Zn als Transportsubstrat eingesetzt. Um nur das in das Zellinnere transportierte, nicht aber das adsorbierte Zn zu erfassen, wurden die *Chlorella*-Zellen nach der Aufnahme des markierten Stoffes, die gegebenenfalls in Anwesenheit des Konkurren-

Sonderdruckanforderungen an Prof. E. Broda.
0341-0382/79/0900-0751 \$ 01.00/0



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

ten erfolgte, wie in früheren Untersuchungen mit ÄDTA gewaschen und erst dann zur Messung gebracht.

Experimentelles

Die Versuche wurden mit Stamm 211/8 b von *Chlorella fusca*, Göttingen, durchgeführt. Die Algen wurden bei 30 °C und Dauerbelichtung asynchron und autotroph in einer Säule gezüchtet [17, 18]. Nährlösung nach Lorenzen [19] wurde mit Luft mit 5% CO₂ begast. Die am tiefsten Punkt der Säule eingeblasene Luft diente gleichzeitig der Rührung der Suspension. Die Algendiffizie wurde mittels eines Fotowiderstandes (Philips LDR 2322 600 95001) und Vorschalten eines Rotfilters dauernd gemessen. Bei Überschreiten eines bestimmten Grenzwertes wurde ein elektronisch gesteuertes Ventil geöffnet, so daß neue Nährlösung in den Zuchtraum einfloß. Gleichzeitig floß verdrängte Suspension durch einen Überlauf ab. Die Empfindlichkeit der Schaltung gewährleistete konstante Algendiffizie [18].

Die für einen Versuch benötigte Menge an Algensuspension wurde direkt aus der Säule geerntet und zentrifugiert. Die Algen wurden mit destilliertem Wasser aufgenommen und zur Entfernung restlicher Nährlösung erneut zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen. Der Vorgang wurde 3mal wiederholt.

Die Algen wurden sodann in destilliertem Wasser resuspendiert und zur Vermeidung von Entmischung ständig gerührt. Aliquots wurden auf die Aufnahmegeräße verteilt, nähmlich 8 cm hohe, 13 cm breite und 1 cm dicke Flachgefäße, an deren unterem Ende 3 Kapillaren für Begasung mit Luft eingeschmolzen waren. Diese waren zur Entfernung von CO₂ mit NaOH gewaschen worden, da während des Versuchs kein Wachstum stattfinden sollte. Die Flachgefäße wurden in gläsernen Wannen auf 30 °C thermostattiert und von außen mit Leuchstoffröhren (Philips TL 40 W/35) belichtet. Am Ort der Suspension wurde eine Lichtstärke von 10 kLux gemessen (Luxmeter YSI, Modell 65 A).

Der Versuchsbeginn war durch die Zugabe der Reagenzien definiert. Durch ⁶⁵Zn (Halbwertszeit 245 Tage) markiertes Zn (Zn*), von New England Nuclear Corp. bezogen, sowie gegebenenfalls 10⁻⁴ M Konkurrenz-Ion (Endkonzentration) wurden zugefügt. Um unerwünschte Komplexbildung zu vermeiden, wurde ohne Puffer gearbeitet; pH war 7 – 8. Nach

Zugabe aller Reagenzien war die Algenkonzentration etwa 3 mg/ml. Sie war zwar durch den Hämatokritwert nur auf ~ ± 10% zu bestimmen, war aber durch die elektronische Steuerung der Algendiffizie bei der Züchtung viel besser konstant.

15, 30, 45, 60 bzw. 75 min nach Versuchsbeginn wurden Proben zu 2 ml genommen. Blaubandfilter mit 2 cm Durchmesser wurden in verschraubbaren Filternäpfchen mit Zn-Trägerlösung vorbehandelt, um Zn-adsorbierende Stellen abzusättigen. Die Proben wurden durchgesaugt, der Algenkuchen 2mal mit 10 ml 10⁻² M ÄDTA gewaschen und durch Durchsaugen von Luft während 10 min von überschüssiger Flüssigkeit befreit.

Der Waschvorgang sollte an der Zellmembran oder am Filter adsorbiertes oder auch im „freien Raum“ befindliches Zn* möglichst quantitativ entfernen. Andererseits sollte der Waschvorgang so schnell vor sich gehen, daß Zn-Abgabe aus dem Algeninneren zu vernachlässigen war. 45 min nach Versuchsbeginn wurden außerdem eine Probe von 2 ml Suspension sowie durch Zentrifugieren von Suspension eine weitere Probe aus klarem Überstand gewonnen.

Der Leerwert wurde mit einem (weiteren) Filter bestimmt, das sich bei der nach 45 min gewonnenen Probe unterhalb des Filters befunden hatte, auf dem die Algen lagen („Algenfilter“). So wurde der restlichen Aufnahme von Zn* durch das Algenfilter Rechnung getragen.

Die gewaschenen Algen (samt Algenfilter), die Gesamtsuspensionen und die Überstände wurden mit Gamma-Szintillationszähler (Packard) gemessen. Die Proben wurden geordnet in den Probenwechsler eingesetzt, so daß die Meßwerte, in Lochstreifen gestanzt, direkt mit Klein-EDV (Hewlett-Packard 9820 A) ausgewertet werden konnten. Die Aufnahmen wurden gegen die Zeit aufgetragen und ihre Geschwindigkeiten aus diesen „Aufnahmekurven“ ermittelt. Sie sind im Bereich 15 – 75 min annähernd Gerade. Jedenfalls wurden zur Auswertung die Tangenten an die Aufnahmekurven nach 45 min verwendet, d. h. die Geschwindigkeiten waren durch die Neigungen dieser Tangenten gegeben. Dies war einer Auswertung aufgrund der Anfangsgeschwindigkeiten vorzuziehen, da diese sich nur ungenau messen ließen.

Die Konzentrationen der Konkurrenz-Ionen in den Überständen wurden durch Atomabsorptions-Spektrometrie (Perkin-Elmer 300) ermittelt.

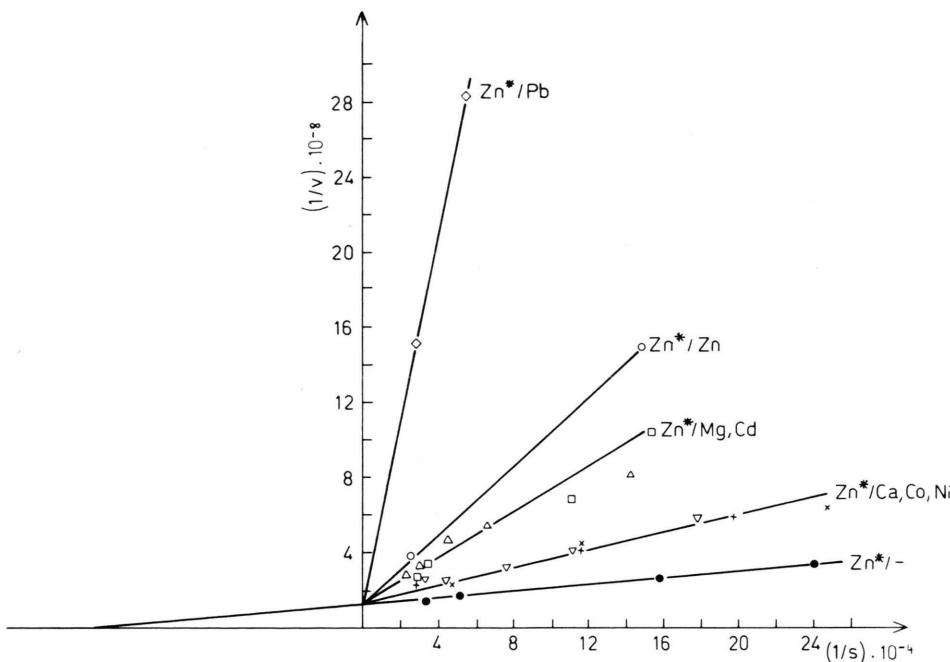


Abb. 1. Lineweaver-Burk-Diagramm der Hemmung der Aufnahme von Zn^* durch 10^{-4} M Konkurrenz-Ionen. v Geschwindigkeit der Aufnahme ($\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ Algen), s Konzentration des Konkurrenten (M): Δ Mg, ∇ Ca, \circ Zn, $+$ Ni, \times Co, \square Cd, \diamond Pb. ● Aufnahme von Zn^* ohne Konkurrenten.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Konkurrenzversuche wurden nach Michaelis-Menten ausgewertet, wobei das Transportsystem in bekannter Weise an die Stelle des Enzymsystems tritt. In Abb. 1 sind die Geschwindigkeiten der Zn^* -Aufnahmen nach Lineweaver-Burk aufgetragen. Die Konkurrenz-Ionen wurden stets in der Konzentration 10^{-4} M, das Zn^* im Bereich 10^{-5} bis 5×10^{-5} M eingesetzt.

Die für das Diagramm verwendeten wirksamen Konzentrationen des Zn^* und der Konkurrenten waren jedoch geringer als die eingesetzten Konzentrationen, da die überstehenden Lösungen infolge Adsorption an den Zellen sowie Aufnahme durch die Zellen an Ionen verarmt waren. Das Ausmaß der Verluste ist in der Tab. I zu entnehmen. Natürlich war der relative Verlust an Zn umso größer, je kleiner die eingesetzte Konzentration war. Der Verlust an Konkurrenz-Ionen war umso bedeutender, je kleiner die Zn^* -Konzentration war, da das Zn^* dann natürlich das Konkurrenz-Ion auf oder in den Algen auch schwächer verdrängte. Jedoch war, wie sich zeigte, die Veränderung der Konzentrationen der Konkurrenz-Ionen bei Änderung der Zn-Konzentra-

tion im angewandten Bereich so gering, daß die Verwendung mittlerer Werte der Verarmung genügte. Als solche Mittelwerte wurden aufgrund von Tab. I für Mg, Ca, Cd, Co, Ni und Cd 20%, für Pb jedoch 45% gewählt.

Im Rahmen der Meßgenauigkeit führen die mit einem und demselben Konkurrenten erhaltenen Meßpunkte, entsprechend den verschiedenen Konzentrationen des Zn^* , im Lineweaver-Burk-Diagramm stets zwangsläufig zu einer Geraden, wenn auch natürlich die Lage dieser Geraden innerhalb relativ enger Grenzen wählbar blieb. Wäre jede Gerade gelegt worden, ohne auf die Ergebnisse mit den anderen Konkurrenten – also auf die anderen Geraden – Rücksicht zu nehmen, so wäre wegen der Versuchsfehler kein einheitlicher Schnittpunkt aller Geraden mit der Ordinatenachse erzielt worden. Dann wäre auch die Bestimmung von für kompetitive Hemmung gültigen Inhibitorkonstanten nicht möglich gewesen. Doch schnitten die Geraden offensichtlich, wie man sie auch legte, die Ordinatenachse mindestens annähernd in einem und demselben Punkt, d. h. der Fall der kompetitiven Hemmung war wenigstens näherungsweise realisiert. Daher war es zweckmäßig, die relativ geringen Differenzen zwis-

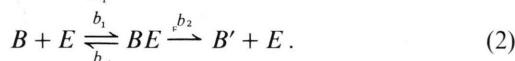
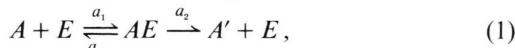
Tab. I. Verarmung der eingesetzten Ionen im Überstand.

Eingesetzte Konzentration des Zn* [M]	Verbliebener Teil (%)						Zn* + Cd	Zn* + Pb
	Zn* + Mg ^a	Zn* + Ca ^a	Zn* + Co	Zn* + Ni	Zn* + Cd	Zn* + Pb		
5 × 10 ⁻⁵	—	85	—	84	—	86	86	86
10 ⁻⁵	—	81	—	82	—	79	78	79

^a Nicht gemessen.

schen den bei isolierter Betrachtung „besten“ Schnittpunkten zu ignorieren und einen besten gemeinsamen mittleren Schnittpunkt auszuwählen. Dies ist in Abb. 1 geschehen. Annahme einer allosterischen, also nicht-kompetitiven Hemmung oder auch einer Hemmung nach einem gemischten Typ war nicht erforderlich. Die in dieser Weise erhaltenen Geraden einerseits mit Mg und Cd und andererseits mit Ca, Co und Ni als Konkurrenten fielen so weit zusammen, daß sie in der Abb. 1 vereinigt werden mußten.

Der Auswertung wurde ein ungestörter Aufnahmemechanismus, formal analog der Michaelis-Menten-Kinetik, zugrundegelegt.



A, B: Konzentration der Substrate;

A', B': Substrate nach dem Transport ins Zellinnere;

E: Konzentration des Transportsystems;

a, b: Geschwindigkeitskonstanten.

Mit $v_{\max} = E \cdot a_2$ und $K_A = (a_{-1} + a_2)/a_1$ und $K_B = (b_{-1} + b_2)/b_1$ ergibt sich eine Aufnahmgeschwindigkeit v für das Substrat A

$$1/v = 1/v_{\max} + K_A (1 + B/K_B)/(v_{\max} A). \quad (3)$$

Durch die Bezeichnung K_A statt K_M („Michaelis-Konstante“) wird ausgedrückt, daß die experimentellen Geschwindigkeiten des Eintransports nicht die Anfangsgeschwindigkeiten, sondern die Geschwindigkeiten nach 45 min waren. Aus demselben Grund wurde bei der Hemmung die Bezeichnung K_B statt K_i (Inhibitorkonstante) gewählt. Aus der Geraden für die Aufnahme von Zn* in Abwesenheit von Konkurrenten ($B = 0$) können die beiden für die Michaelis-Menten-Gleichung charakteristischen Größen ermittelt werden, und zwar zu $K_A = 7 \times 10^{-6}$ M und $v_{\max} = 8.3 \times 10^{-9}$ mol · min⁻¹ · g⁻¹.

Unter der Annahme kompetitiver Hemmung gilt $1/v = 1/v_{\max} + K_A (1 + B/K_B)/(v_{\max} A)$, wobei A und B die Konzentrationen des gehemmten bzw. des Hemmstoffes sind und K_B als „Inhibitorkonstante“ bezeichnet sei. Bei Einsetzung der aus Abb. 1 abgelesenen Steigungen der Geraden erhält man die K_B -Werte: Ca, Co und Ni 4.3×10^{-5} , Cd und Mg 1.3×10^{-5} sowie Pb 9.4×10^{-7} M. Insoweit tatsächlich rein kompetitive Hemmung vorlag, fand natürlich eine Änderung von v_{\max} durch Zusatz eines Konkurrenten nicht statt.

Bei einer Versuchsreihe wurde unmarkiertes Zn als Konkurrent für das markierte Zn (Zn*) angewendet. Formell kann das unmarkierte Zn als Inhibitor der Aufnahme von markiertem Zn betrachtet werden, u. zw. müssen wegen der völligen chemischen Gleichheit von gehemmtem und Hemmstoff die „Michaelis-Konstante“ und die „Inhibitorkonstante“ zahlenmäßig gleich sein. Aus Abb. 1 ergibt sich, daß dies tatsächlich der Fall ist. In Gleichung (3) ist $K_A (1 + B/K_B)/v_{\max}$ der Anstieg der Geraden. Aus Abb. 1 ergibt sich für Zn*/Zn in min · g:

$$(14.2 \times 10^8 - 1.2 \times 10^8)/14 \times 10^4 = 9.3 \times 10^3.$$

Obwohl sich markiertes und unmarkiertes Zink zu einer Gesamtkonzentration ergänzen, muß für die Auswertung so wie bei einem Fremdionenzusatz vorgegangen werden. Aus 4 Überstandsmessungen während des Versuchs ergab sich eine mittlere Abnahme der Gesamtzinkkonzentration auf 69,7% des Ausgangswertes. Um denselben Anteil wurde daher auch das konkurrierende, also nicht-markierte, 10^{-4} M Zink vermindert. Die wirksame, mittlere Konzentration des konkurrierenden Zinks während des Versuchs war daher $B = 0.7 \times 10^{-4}$ M. Mit $K_A = 7 \times 10^{-6}$ und $v_{\max} = 8.3 \times 10^{-9}$ ergibt sich, in (3) für den Anstieg der Geraden eingesetzt, in mol · min⁻¹ · g⁻¹:

$$9.3 \times 10^3 = 7 \times 10^{-6} (1 + 0.7 \times 10^{-4}/K_B)/8.3 \times 10^{-9}.$$

Daraus errechnet sich K_B zu 7×10^{-6} M. Daher $K_B = K_A$.

Diskussion

Der Zahlenwert der Michaelis-Konstante für Zn (7 μ M) liegt niedriger als irgendeine der „Inhibitorkonstanten“, außer jener für Blei (0,94 μ M), d. h. die Wirksamkeit von Zn bei der Hemmung der Aufnahme von Zn* ist größer als die Wirksamkeit irgendeines der anderen geprüften Ionen, außer jener von Pb. Der Wert der Michaelis-Konstante stimmt mit dem Wert überein, den Matzku [14] in vorläufigen Versuchen im Konzentrationsbereich $10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$ M ermittelt hatte. Mang [15] fand, ebenfalls an *Chlorella* (Bereich $3 \times 10^{-5} - 10^{-4}$ M), einen etwas niedrigeren Wert (3 – 5 μ M). v_{max} ergab sich vorliegend zu 8.3×10^{-9} , bei Matzku [14] zu 16×10^{-9} , und bei Mang [15] zu 13×10^{-9} mol · min⁻¹ · g⁻¹. Die von Ponta [16] mit Hefe erhaltenen Werte sind kaum zu einem Vergleich heranzuziehen, da sie in einem viel höheren Bereich der Zn*-Konzentration erhalten wurden.

Die Zahlenwerte der „Inhibitorkonstanten“ stimmen größtenordnungsmäßig mit den vorläufigen Werten überein, die über die Hemmung der Zn-Aufnahme durch Ca, Co, Cd an *Chlorella fusca* (= *pyrenoidosa*) von Matzku [14] und – nur bezüglich Cd – von Mang [15] erhalten worden waren. Mehr kann angesichts der Abweichungen im Versuchsmaterial, der angewandten Konzentrationen und der Versuchsführung nicht erwartet werden. Hingegen sind die Unterschiede gegenüber den von Ponta [16] an Hefe erhaltenen Werten wieder sehr beträchtlich, doch sei aus dem erwähnten Grund auf einen Vergleich verzichtet.

Die Reihenfolge der in der vorliegenden Arbeit erhaltenen „Inhibitorkonstanten“ überrascht. Ein Parallelismus mit dem Ausmaß der Hydratation der Ionen [20] besteht jedenfalls nicht. Man wird also eher an spezifische Wechselwirkung mit Komponenten des Transportsystems, wohl Protein, denken. Doch fällt auf, daß Mg trotz geringerer chemischer Ähnlichkeit ebenso stark hemmt wie Cd. Mang [15] hatte allerdings niedrigere Inhibitorkonstanten (3 – 6 μ M) für die Hemmung der Zn*-Aufnahme durch Cd gefunden, als wir finden (13 μ M). Andererseits fand Matzku [14] einen noch höheren Wert, nämlich 38 μ M.

Die Ergebnisse geben keinen Hinweis auf das Vorliegen mehrerer verschiedener Transportsysteme

für Zn. Doch beziehen sie sich natürlich nur auf den Transport in eben jenem Konzentrationsbereich, in dem das markierte Zn eingesetzt wurde ($10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$ M). Versuche mit $< 10^{-5}$ M Zn* führten nicht zu reproduzierbaren Ergebnissen, was vor allem auf die extreme Verarmung des Überstandes an Zn* durch Adsorption zurückzuführen war. Versuche mit $> 5 \times 10^{-5}$ M Zn* waren gleichfalls nicht zielführend, weil dann der Eintransport des Zn* zu gering war. Es ist aber durchaus damit zu rechnen, daß in anderen Bereichen weitere Transportsysteme wirksam sind, ähnlich wie dies z. B. für den Eintransport von K durch *E. coli* beobachtet worden ist [21]. Für die Unterscheidung zwischen verschiedenen Systemen wäre auch im vorliegenden Falle eine genetische Analyse über Defektmutanten nützlich.

Aus den hier wiedergegebenen Ergebnissen mit markiertem Zn kann nicht abgeleitet werden, inwiefern im Zusammenhang mit der Hemmung ein Eintransport eines Konkurrenten in die Zellen stattfindet, dieser also als zweites Substrat wirkt. Zwar ist bekannt, daß jedenfalls Kobalt [4] und Cadmium [11], nicht aber Blei [4] durch *Chlorella* eintransportiert wird. Unklar bleibt aber, ob solche Eintransporthe der anderer Ionen auf dem Wege über eben das gleiche Transportsystem (Zn-System) erfolgen, über dessen Hemmung hier berichtet wird. Deshalb wäre es auch zwecklos gewesen, die vorliegenden Messungen an Zn* mit Messungen des Eintransports markierter Konkurrenz-Ionen zu korrelieren.

Der Befund, daß die Aufnahme markierten Zinks durch unmarkiertes Zink stärker gehemmt wurde als durch andere Ionen, wenn von dem gewiß anomal wirkenden Blei abgesehen wird, bedeutet natürlich, daß das Zn-Transportsystem für Zn mindestens teilweise spezifisch ist. Ähnliches wird man dann auch für andere transportierbare Ionen vermuten. Hinweise auf Verschiedenheit der Transportsysteme für Zn und Co wurden tatsächlich erhalten [22]. Unter anderem wurde beobachtet, daß manche *Chlorella*-Proben viel Zn*, aber wenig Co* aufnahmen, andere Proben unter gleichen Bedingungen aber wenig Zn* und viel Co*. Offenbar war die Vorgeschichte dieser Proben – unbeabsichtigt – verschieden gewesen.

Danksagung

Wir danken dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung der Republik Österreich für finanzielle Unterstützung der Arbeit.

- [1] E. Broda, Ann. Microbiol. **22**, 93 (1973).
- [2] E. Broda, Naturwiss. Rundsch. **26**, 381 (1973).
- [3] E. Broda, G. R. Findenegg, H. Springer-Lederer u. H. Paschinger, Ber. Bunsen-Ges. Physik. Chem. **71**, 891 (1967).
- [4] G. R. Findenegg, H. Paschinger u. E. Broda, Planta **99**, 163 (1971).
- [5] S. Matzku u. E. Broda, Planta **92**, 29 (1970).
- [6] H. Wihlidal u. E. Broda, Z. allg. Mikrobiol. **17**, 635 (1977); **18**, 447 (1978).
- [7] F. Bucheder u. E. Broda, Eur. J. Biochem. **45**, 555 (1974).
- [8] H. Ponta u. E. Broda, Planta **95**, 18 (1970).
- [9] R. Heldwein, H. W. Tromballa u. E. Broda, Z. allg. Mikrobiol. **17**, 299 (1977).
- [10] J. Solt, H. Paschinger u. E. Broda, Planta **101**, 242 (1971).
- [11] S. Mang u. H. W. Tromballa, Z. Pflanzenphysiol. **90**, 293 (1978).
- [12] H. W. Tromballa u. E. Broda, Arch. Mikrobiol. **86**, 281 (1972).
- [13] P. Schuster u. E. Broda, Mh. Chem. **101**, 285 (1970).
- [14] S. Matzku, Untersuchungen über den Mechanismus der Aufnahme von markiertem Zink durch *Chlorella*, Dissertation, Univ. Wien 1969.
- [15] S. Mang, Das Verhalten von *Chlorella pyrenoidosa* gegenüber Cadmium, Dissertation, Univ. Wien 1974.
- [16] H. Ponta, Die Aufnahme von markiertem Zink durch Hefe, Dissertation, Univ. Wien 1969.
- [17] G. R. Findenegg u. H. Springer-Lederer, Allg. prakt. Chem. **18**, 279 (1967).
- [18] A. Zohner, Die Aufnahme von Kupfer durch die Grünalge *Chlorella fusca*, Dissertation, Univ. Wien 1976.
- [19] H. Lorenzen, Synchrony in Cell Division and Growth, (ed. E. Zeuthen), Interscience Publ., New York 1964.
- [20] J. O'M. Bockris u. A. K. N. Reddy, Modern Electrochemistry, p. 125, Plenum Press, New York 1970.
- [21] L. A. Laimins, D. B. Rhoads, K. Altendorf u. W. Epstein, Proc. Nat. Acad. Sci., Wash. **75**, 3216 (1978).
- [22] G. R. Findenegg, Aktive und passive Aufnahme von Spurenelementen durch *Chlorella*, Dissertation, Univ. Wien 1969.