

# Zink, ein wichtiges Spurenelement

Peter Bützer

## Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Aufgaben .....	2
3	Lösungen .....	3
3.1	Simulationsdiagramm (Typ 1) .....	3
3.2	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	3
3.3	Zeitdiagramm .....	4
3.4	Folgerung .....	4
4	Erweiterte Aufgabenstellung.....	5
4.1	Simulationsdiagramm.....	5
4.2	Zeitdiagramm .....	5
4.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	6
4.4	Interpretation .....	6

## 1 Einleitung

Zink ist ein lebensnotwendiges Spurenelement, das als Mineralsalz zugeführt werden muss. Zink ist Bestandteil von mehreren hundert Enzymen, von Transkriptionsfaktoren, darunter Steroidhormon-Rezeptoren, DNA-Reparaturproteinen und Tumor-Suppressor-Proteinen, ist wichtig für DNA-Protein-Wechselwirkungen, Protein-Protein-Wechselwirkungen, die Aufrechterhaltung der Stabilität des Genoms, die membranstabilisierende Wirkung, die optimale Funktion des Immunsystems und die Wundheilung.

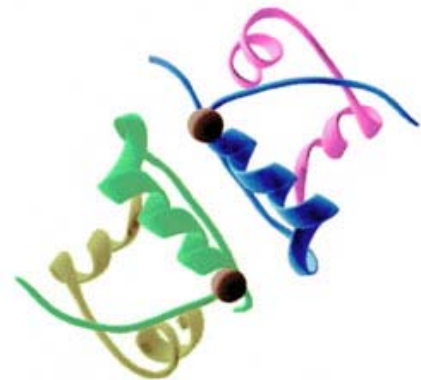


Abbildung 1: Zwei Insulinmoleküle, die mit zwei Zink-Ionen gebunden sind.

Tabelle 1: Zink im menschlichen Körper<sup>1,2</sup>

Gehalte	Menge
Gesamt-Zink	1,5–2,5 g

Zink wird aus pflanzlichen Lebensmitteln mit 5–10% deutlich weniger absorbiert als aus tierischen mit 30–40%. Phytate (z.B. in Getreide und Soja) hemmen die Aufnahme von Zink<sup>3</sup>. Die Halbwertszeit der Elimination von Zink, bestimmt mit radioaktivem <sup>65</sup>Zn, beträgt ca. 154 Tage.

Zu hohe Zinkgehalte, mehr als 0.5% des Nahrungsgewichts, wirken toxisch.

<sup>1</sup> Lang K., Wasser, Mineralstoffe, Spurenelemente, Dr. Dietrich Steinkopf Verlag, Darmstadt, 1974, 25

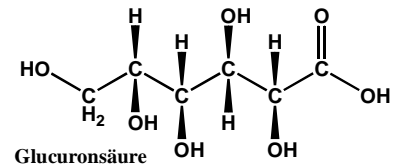
<sup>2</sup> Mengenelemente, Magnesium, <http://www.roempp.com/prod/index1.html>, 2006-01-17

<sup>3</sup> Domke A., Großklaus R., Niemann B., Przyrembel H., Richter K., Schmidt E., Weißenborn A., Wörner B., Ziegenhagen R., Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln, Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte, Teil III, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin, 2004

## 2 Aufgaben

1. Wie würde ein Simulationsdiagramm des Zinkstoffwechsels mit täglich konstanter Aufnahme und konzentrationsabhängiger Elimination aussehen? (mit Gleichungen, Zeitdiagramm und Interpretation)
2. Wie gross muss die tägliche Zufuhr sein, damit die notwendige Konzentration erreicht werden kann (Normalbedarf)?

Nahrungsmittel-Ergänzungstoffe enthalten z.B. Zinkgluconat, Zinkoxid oder Zinksulfat (Zink ist 2-wertig).



3. Wie sieht die chemische Formel von Zinkgluconat aus? Wie räumlich?
4. Wie könnte man Zinkgluconat chemisch herstellen?
5. Wie viel Zinkgluconat muss man einnehmen um den normalen Tagesbedarf zu decken?
6. Welche anderen Eigenschaften hat Zinkgluconat ausser der Tatsache, dass es Zink und Gluconat enthält?
7. Wie wird Zinkgluconat abgebaut und ausgeschieden?

### 3 Lösungen

#### Annahmen:

- Kontinuierliche Aufnahme von Zink
- Mengen-, resp. konzentrationsabhängige Elimination von Zink

#### 3.1 Simulationsdiagramm (Typ 1)<sup>4</sup>

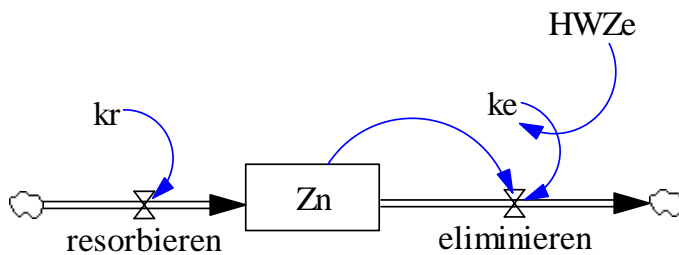


Abbildung 2: Simulationsdiagramm für die Aufnahme und Elimination von Zink

#### 3.2 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01)  $\text{eliminieren} = \text{ke} * \text{Zn}$   
Units: mg/Day
- (02)  $\text{FINAL TIME} = 300$   
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (03)  $\text{HWZe} = 154$   
Units: Day [100,200]
- (04)  $\text{INITIAL TIME} = 0$   
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (05)  $\text{ke} = \text{LN}(2)/\text{HWZe}$   
Units: 1/Day [0,0.3]
- (06)  $\text{kr} = 10$   
Units: mg/Day [0,50]
- (07)  $\text{resorbieren} = \text{kr}$   
Units: mg/Day
- (08)  $\text{SAVEPER} = \text{TIME STEP}$   
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (09)  $\text{TIME STEP} = 1$   
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.
- (10)  $\text{Zn} = \text{INTEG} ( +\text{resorbieren} - \text{eliminieren}, 0)$   
Units: mg

<sup>4</sup> Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 37ff

### 3.3 Zeitdiagramm

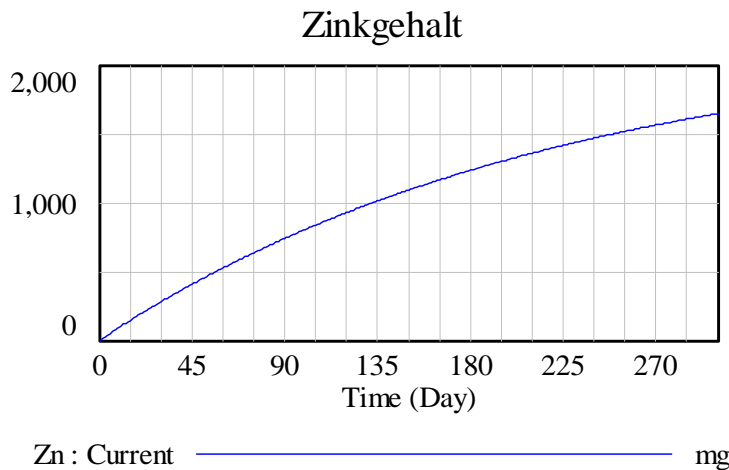
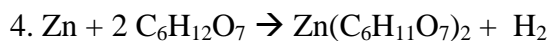
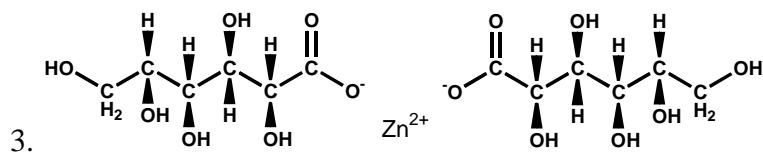
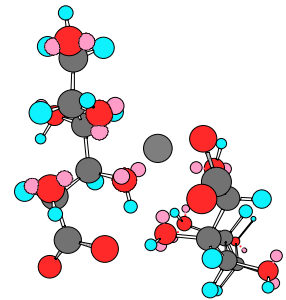


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Zinkgehalts im Körper bei kontinuierlicher Einnahme

### 3.4 Folgerung

Nach ca. 1 Jahr hat sich das Gleichgewicht des Zinkhaushalts noch nicht eingestellt. Das ist unabhängig von der Menge des täglich zugeführten Zinks – ergibt jedoch einen anderen Gesamtgehalt. Bei einem Zinkmangel ist es daher sinnvoll mit höheren Dosen über kurze Zeit rascher die notwendige Konzentration zu erreichen.

- Konzentrationsänderung pro Zeit im Körper:  $dc/dt = kr - ke \cdot c$ ;  
 Wenn das Gleichgewicht erreicht ist, findet keine Änderung mehr statt:  $dc/dt=0 \rightarrow$   
 $kr = ke \cdot c_{\text{sätt}}$ ;  $c_{\text{sätt}}$  = Sättigungskonzentration (Gehalt an austauschbarem  $Zn^{2+}$ )  
 $c_{\text{sätt}} (Zn^{2+}) = 1.5 - 2.5 \text{ g}$   
 $HWZ = 154 \text{ Tage} \rightarrow ke = \ln(2)/154 = 0.693/154 = 0.0045 \text{ (1/d)}$ ,  
 $kr = 0.0045 \cdot 1500 = 6.7 \text{ mg/d}$   
 $kr = 0.0045 \cdot 2500 = 11.2 \text{ mg/d}$  (Literatur: 7–10 mg/d)



5. Glucuronsäure:  $C_6H_{12}O_7$ :  $M = 196,16 \text{ g/mol}$ ; Zn: Molmasse  $65,39 \text{ g/mol}$ ;  $C_{12}H_{22}O_{14}Zn$ :  $455,68 \text{ g/mol}$ ; Zn: 14.35 %;  $6.7/14.35 \cdot 100 = 46.7 \text{ mg}$  bis  $11.2/14.35 \cdot 100 = 78.0 \text{ mg}$

6. Zinkgluconat ist das Zinksalz der Glucuronsäure. Glucuronsäure ist eine schwache Säure (Carbonsäure), daher ist das Zinkgluconat basisch.

Unser Körper enthält Glucuronsäure, damit ist der Säurerest wenig toxisch.

7.  $2 Zn(C_6H_{11}O_7)_2 + 21 O_2 \rightarrow 2 Zn(OH)_2 + 24 CO_2 + 18 H_2O$ ;  $Zn(OH)_2$  ist eine Base und wird im Blut neutralisiert.  $CO_2$  über die Lunge,  $H_2O$  über Niere, Lunge, Schweiß,  $Zn^{2+}$  als Salz über die Niere.

## 4 Erweiterte Aufgabenstellung

Zink wird mit der Nahrung aufgenommen, kann aber auch zusätzlich mit Tabletten zugeführt werden.

Man zeige mit einer Simulation, wie sich die Einnahme von Zinktabletten als einzelne Dosen auf den Zinkgehalt des Körpers auswirken kann.

### 4.1 Simulationsdiagramm

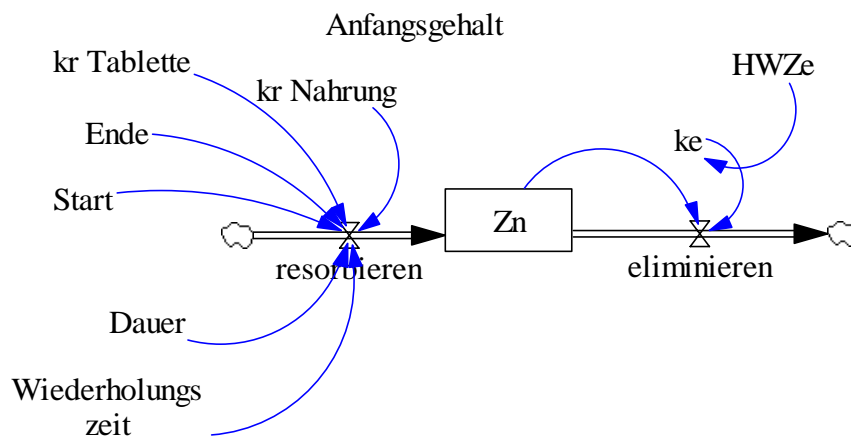


Abbildung 4: Simulationsdiagramm für die Einnahme von Zink mit Tabletten

### 4.2 Zeitdiagramm

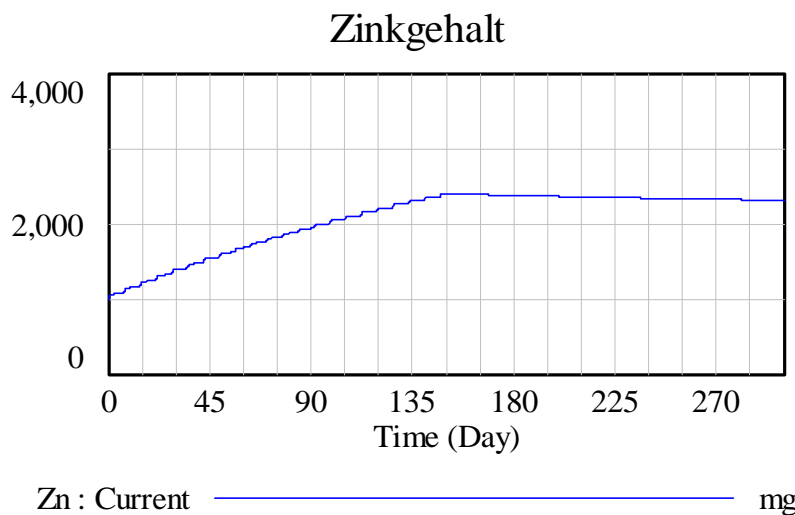


Abbildung 5: Zeitdiagramm für die Zinkgehalte im Körper bei der täglichen Einnahme von Tabletten

### 4.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Anfangsgehalt= 1000  
Units: mg [1000,3000]  
Im Körper schon vorhanden
- (02) Dauer= 1  
Units: Day [0,1,0.1]
- (03) eliminieren=  $ke \cdot Zn$   
Units: mg/Day
- (04) Ende= 150  
Units: Day [0,300]
- (05) FINAL TIME = 300  
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (06) HWZe= 154  
Units: Day [100,200]
- (07) INITIAL TIME = 0  
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (08)  $ke = LN(2)/HWZe$   
Units: 1/Day [0,0.3]
- (09)  $kr \text{ Nahrung} = 10$   
Units: mg/Day [0,50]  
Aufnahme pro Tag
- (10)  $kr \text{ Tablette} = 50$   
Units: mg/Day [0,100]  
Menge pro Tablette
- (11)  $resorbieren = PULSE \ TRAIN( \text{Start} , \text{Dauer} , \text{Wiederholungszeit} , \text{Ende} )$   
 $*kr \text{ Tablette} + kr \text{ Nahrung}$   
Units: mg/Day [0,?]
- (12) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (13) Start= 0  
Units: Day [0,300]
- (14) TIME STEP = 0.1  
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.
- (15) Wiederholungszeit= 7  
Units: Day [0,30,1]
- (16)  $Zn = INTEG (+resorbieren - eliminieren, \text{Anfangsgehalt})$   
Units: mg [0,?]  
Gesamt-Zink im Körper

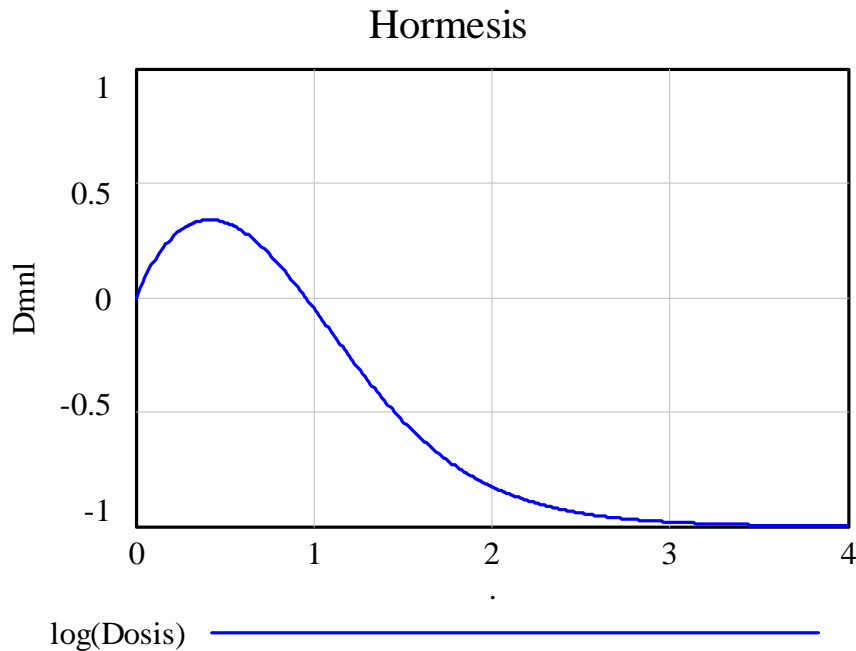
### 4.4 Interpretation

Die tägliche Einnahme von Zinktabletten zeigt sich nur in einer wenig gestuften Aufnahmekurve.

Leicht erkennbar ist die langsame Ausscheidung.

## 5 Eine wichtige Ergänzung

Zink ist ein wichtiger Mineralstoff für unseren Körper. Zu wenig ist schlecht und führt zu Mangelerscheinungen. Lange bevor die toxischen Werte von mehr als 0.5% des Nahrungsgewichts erreicht werden, ist Zink jedoch schädlich. Folgedessen sollte die Dosis-Wirkungs-Kurve von Zink nicht mit der üblichen Darstellung, sondern mit der Hormesis-Kurve<sup>5</sup> interpretiert werden:



**Abbildung 6: Dosis-Wirkungs-Kurve von Zink mit der Hormesis-Darstellung. Zu grosse Dosen von Zink sind schädlich.**

Dies ist eine Dosis-Wirkungs-Kurve, welche bei der Ordinate mit Werten über 0 positive, bei Werten kleiner 0 negative Wirkungen zeigt. Kein Zink ist unwirksam, dann steigt die Wirksamkeit an um schliesslich bei grossen Dosen schädliche, also negative Wirkungen zu zeigen.

<sup>5</sup> Calabrese Edward J., Hormesis: a revolution in toxicology, risk assessment and medicine, EMBO reports, Vol. 5, 2004, p. S37-S40