

Den Magnesiumbedarf des Menschen abschätzen

Peter Bützer

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Aufgabe	2
3	Simulation	3
3.1	Simulationsmodell (Typ 1).....	3
3.2	Zeitkurve	3
3.3	Folgerung	3
3.4	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	3
4	Lösungen	4
5	Zusatzaufgabe.....	6
5.1	Lösung	7
5.2	Simulationsdiagramm.....	7
5.3	Zeitdiagramm	7
5.4	Gleichungen	7
5.5	Folgerung	8

1 Einleitung

Magnesium ist ein lebensnotwendiges Element, das als Mineralsalz zugeführt werden muss (Mengenelement). Es ist ein Co-Faktor vieler Enzyme im Stoffwechsel. Magnesium wird nie als reines Metall, sondern immer in einer Verbindung, meist als Salz, aufgenommen. Kopfsalat (Bild rechts) enthält im Grün des Chlorophylls (Chlorophyll-*a*: $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$, M: 893.49 g/mol) ca. 2.7% Magnesium.



Abbildung 1: Magnesium, ein Bestandteil des grünen Chlorophylls

Tabelle 1: Magnesium im menschlichen Körper^{1, 2}

Gehalte	Konzentration in mmol/kg (Körpergewicht)
Gesamt-Magnesium	16 – 20 (304-480 mg/kg)
Austauschbares Magnesium	2.6 – 5.3 (62.4-127.2 mg/kg)

Die Halbwertszeit der Elimination von Magnesium aus dem Körper, bestimmt mit radioaktivem $^{28}Mg^{2+}$, beträgt ca. 10 Tage.

¹ Lang K., Wasser, Mineralstoffe, Spurenelemente, Dr. Dietrich Steinkopf Verlag, Darmstadt, 1974, 25

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

2 Aufgabe

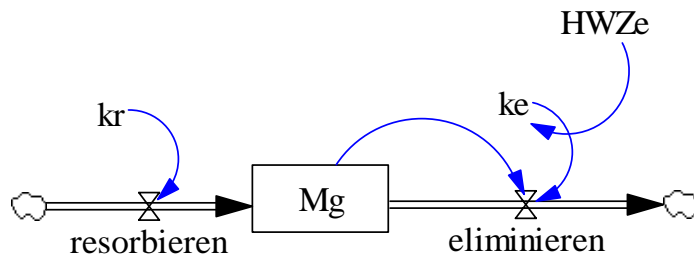
1. Wie würde ein Simulationsdiagramm des Magnesiumstoffwechsels mit täglich konstanter Aufnahme und konzentrationsabhängiger Elimination aussehen? (Gleichungen, Zeitdiagramm, Interpretation).
2. Wie gross muss die tägliche Zufuhr sein, damit die notwendige Konzentration erreicht werden kann (Normalbedarf)?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

Magnesiumpräparate von Sportnahrung (Riegel, isotonische Getränke etc.) enthalten Magnesiumcitrat.

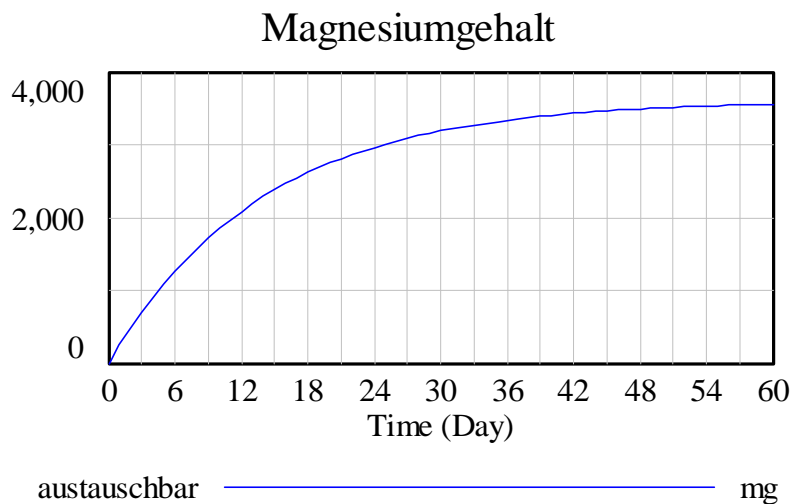
4. Wie sieht die chemische Formel von Magnesiumcitrat aus? Wie räumlich?
5. Wie könnte man Magnesiumcitrat chemisch herstellen?
6. Wie viel Magnesiumcitrat muss man einnehmen um den normalen Tagesbedarf zu decken?
7. Welche anderen Eigenschaften hat Magnesiumcitrat ausser der Tatsache, dass es Magnesium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

3 Simulation

3.1 Simulationsmodell³ (Typ 1)⁴



3.2 Zeitkurve



3.3 Folgerung

Das Gleichgewicht von Magnesiumaufnahme und Magnesiumausscheidung ist erst nach ca. 2 Monaten erreicht!

3.4 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) $\text{eliminieren} = \text{ke} \cdot \text{Mg}$
Units: mg/Day
- (02) $\text{FINAL TIME} = 60$
Units: Day
The final time for the simulation.
- (03) $\text{HWZe} = 10$

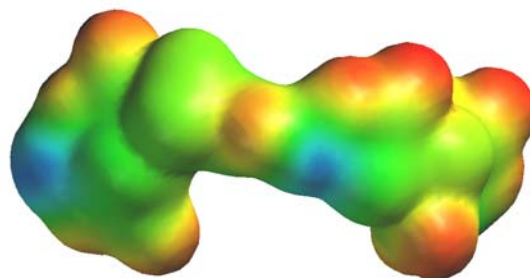
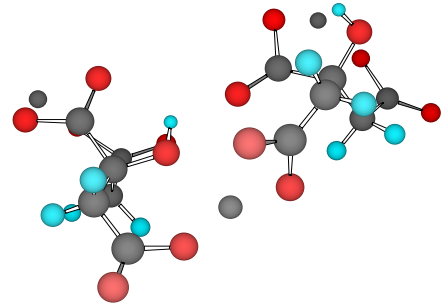
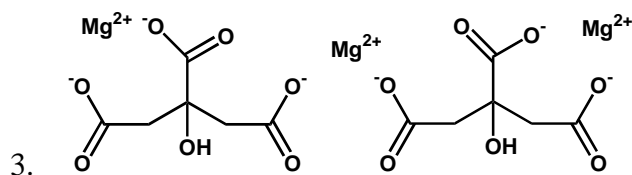
³ Simulations-Software: Vensim[®] PLE, Ventana Systems, Inc., <http://www.vensim.com/>

⁴ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, 37ff

- Units: Day [0,20]
 (04) INITIAL TIME = 0
 Units: Day
 The initial time for the simulation.
 (05) ke= LN(2)/HWZe
 Units: 1/Day [0,0.3]
 (06) kr= 250 (muss variiert werden!)
 Units: mg/Day [0,500]
 (07) Mg= INTEG (+resorbieren-eliminieren, 0)
 Units: mg
 (08) resorbieren= kr
 Units: mg/Day
 (09) SAVEPER = TIME STEP
 Units: Day [0,?]
 The frequency with which output is stored.
 (10) TIME STEP = 1
 Units: Day [0,?]
 The time step for the simulation.

4 Lösungen

- 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 Mg^{2+})
 $c_{\text{sätt}} = 2.6 - 5.3 \text{ mmol/kg}$ (nur das austauschbare Mg^{2+} berücksichtigen!)
 $HWZ = 10 \text{ Tage} \rightarrow ke = \ln(2)/10 = 0.693/10 = 0.0693$, Mg: Molmasse 24.31 g/mol
 $kr = 0.0693 \cdot 2.6 = 0.18 \text{ mmol/kg/d} \rightarrow 4.4 \text{ mg/kg/d}; \rightarrow 263 \text{ mg/d (60 kg)}$
 $kr = 0.0693 \cdot 5.3 = 0.37 \text{ mmol/kg/d} \rightarrow 8.9 \text{ mg/kg/d}; \rightarrow 536 \text{ mg/d (60 kg)}$ (Lit: 300 – 400 mg/d)
- Das Gleichgewicht ist nach ca. 60 Tagen eingestellt, wenn der gesamte Bedarf aufgebaut werden muss. Zwischenwerte können leicht simuliert werden. Die Halbwertszeit der Aufnahme entspricht der Halbwertszeit der Ausscheidung.



- $3 \text{ Mg} + 2 \text{ C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \rightarrow \text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 + 3 \text{ H}_2$
- $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{Mg}_3\text{O}_{14}$: $M = 451.11 \text{ g/mol}$; Mg von Magnesiumcitrat: 16.16%
 $263/16.16 \cdot 100 = 1627 \text{ mg}$ bis $563/16.16 \cdot 100 = 3484 \text{ mg}$

6. Magnesiumcitrat ist das Magnesiumsalz der Citronensäure. Citronensäure ist eine schwache Säure, daher ist das Magnesiumcitrat basisch. Unser Körper enthält viel Citronensäure (Citronensäurezyklus), damit ist der Säurerest nicht toxisch.
7. $C_{12}H_{10}Mg_3O_{14} + 9 O_2 \rightarrow 3 Mg(OH)_2 + 12 CO_2 + 2 H_2O$; $Mg(OH)_2$ ist eine Base und wird im Blut neutralisiert. Magnesiumcitrat ist nicht nur selbst eine basische Substanz, sie bildet im Körper beim Abbau auch eine Base. CO_2 über die Lunge, H_2O über Niere, Lunge, Schweiß, Mg^{2+} als Salz über die Niere.

An Magnesium reiche Lebensmittel enthalten je 100 Gramm:

- Sonnenblumenkerne: 420 mg
- Kakao 415 mg
- Sesam-Samen: 340 mg
- Weizenkeime 280 - 310 mg
- Sojamehl 210 - 240 mg
- Reis, unpoliert 200 mg (poliert 65 mg)
- Tee 184 mg
- Nüsse 175 mg
- Mandeln 170 mg
- Erdnüsse 150 mg
- Haselnüsse 150 mg
- Haferflocken: 140 mg
- Weiße Bohnen 130 – 140 mg
- Mischbrot 70 - 121 mg (Weissbrot 30 mg)
- Teigwaren 60 - 70 mg
- Fisch und Käse 20 – 30 mg
- Fleisch 20 – 30 mg

Fast gar kein Magnesium ist enthalten in:

- Butter, Zucker, Ölen, Fetten, Alkoholika, Quark, Obst

Einen Mehrbedarf an Magnesium ist gegeben bei:

- schwangeren Frauen
- häufigem Leistungssport bzw. schweren körperliche Arbeiten
- erhöhten Belastungen und Stress
- Bluthochdruck und Herzkrankheiten
- Diabetes mellitus (Zuckerkrankheit)
- metabolischem Syndrom und allen Magen-Darm-Erkrankungen
- Migräne
- länger dauernden Abmagerungsdiäten oder Untergewicht
- Calciummangel
- Einnahme gewisser Medikamente, z.B. "Pille", Diuretika, Arrhythmika
- Muskelkrämpfen, z.B. an Waden, Zehen etc.
- hohem Alkoholkonsum.

5 Zusatzaufgabe

Magnesium wird einerseits über die normale Nahrung aufgenommen und kann zusätzlich mit Magnesiumtabletten zusätzlich zugeführt werden.

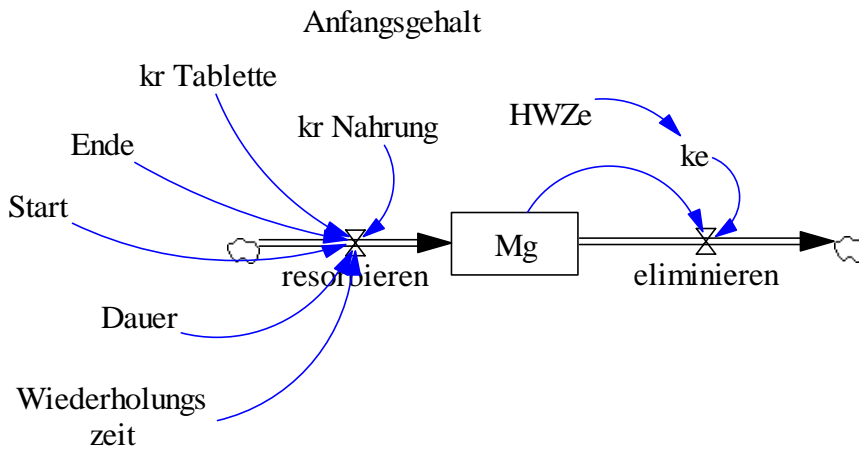
Man zeige mit einer Simulation, welchen Einfluss die zusätzliche Zufuhr zeigen kann.

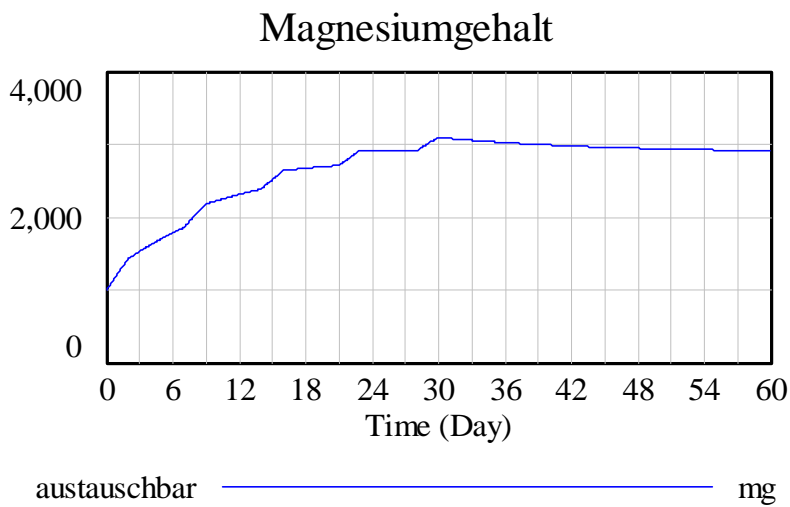
Wie rasch stellt sich das Gleichgewicht bei 4 g ein, wenn die Zufuhr über die Nahrungsmittel 200 mg/Tag beträgt und pro Tag 2 Tabletten mit je 100 mg eingenommen werden?

5.1 Lösung

5.2 Simulationsdiagramm³



5.3 Zeitdiagramm



5.4 Gleichungen

- (01) Anfangsgehalt= 1000
Units: mg [0,6000]
Am Anfang im Körper vorhanden
- (02) Dauer= 2
Units: Day [0,60,1]
- (03) eliminieren= $ke \cdot Mg$
Units: mg/Day
- (04) Ende= 30

- Units: Day [0,60]
 (05) FINAL TIME = 60
 Units: Day
 The final time for the simulation.
- (06) HWZe= 10
 Units: Day [0,20]
- (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 Nahrung= 200 (Mg-Zufuhr durch Nahrung)
 Units: mg/Day [0,1000,10]
- (10) kr Tablette= 100 (Mg-Gehalt jeder Tablette)
 Units: mg/Day [0,500,50]
- (11) Mg= INTEG (+resorbieren-eliminieren, Anfangsgehalt)
 Units: mg [0,?]
- (12) resorbieren=PULSE TRAIN(Start, Dauer ,Wiederholungszeit , Ende)
 *kr Tablette+kr Nahrung (Zufuhr von Tablette + Zufuhr von Nahrung)
 Units: mg/Day
- (13) SAVEPER = TIME STEP
 Units: Day [0,?]
 The frequency with which output is stored.
- (14) Start= 0
 Units: Day [0,?]
- (15) TIME STEP = 0.1
 Units: Day [0,?]
 The time step for the simulation.
- (16) Wiederholungszeit= 7 (1 Tablette alle 7 Tage)
 Units: Day [0,60,0.5]

5.5 Folgerung

Es dauert mit diesen Voraussetzungen ca. 36 Tage bis das gewünschte Gleichgewicht erreicht ist.

Mit der Simulation lässt sich nicht nur der Magnesiumbedarf abschätzen, es lässt sich auch zeigen, wie rasch eine Magnesium Zufuhr zum Gleichgewicht führt.