

Mineralen (en vitaminen) in de voeding en hun rol in het lichaam

Woudschoten Chemie Conferentie,
8 november 2024

dr. Guillaume Counotte, toxicoloog

Inhoud van de Masterclass

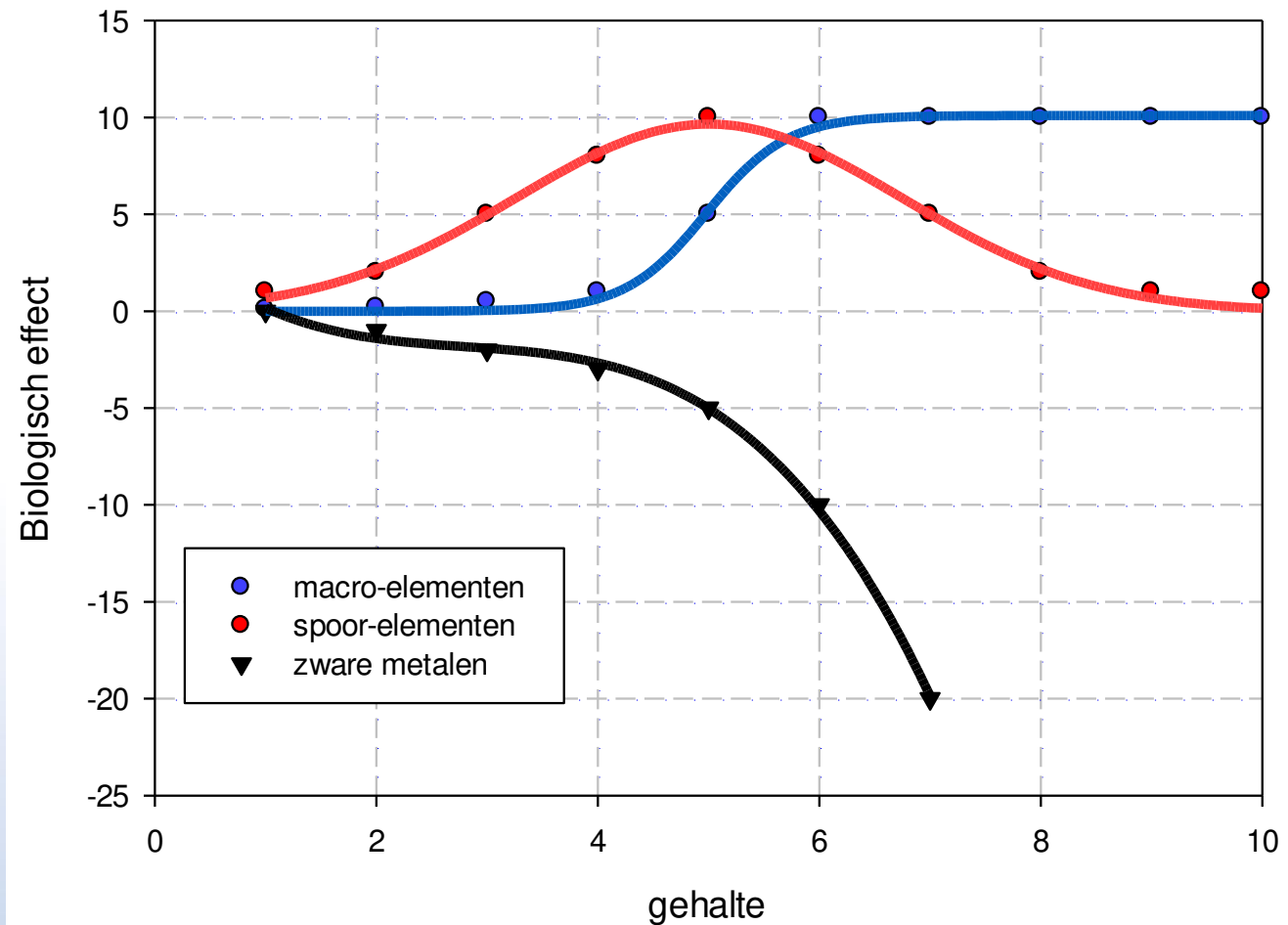
- Waar hebben we het dan over.
- Wat we nodig hebben en wat we binnen krijgen.
- Weerbaarheid en de rol van spoorelementen hierbij.
- De rol en functie van enkele spoorelementen en eventuele vitaminen die hierbij een rol spelen.
- Zuurstof: de rol van spoorelementen bij de handling van zuurstof.

Waar hebben we het dan over?

1 1 A																	2 18 VIII A																
1 ▶	1 1.0079 H HYDROGEN																	2 4.0026 He HELIUM															
2 ▶	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM																	9 18.998 F FLUORINE	10 20.18 Ne NEON													
3 ▶	11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM	3 III B ▶	4 IV B ▶	5 V B ▶	6 VI B ▶	7 VII B ▶	8 VIII B ▶	9 VIII B ▶	10 VIII B ▶	11 IB ▶	12 IIB ▶	13 III A ▶	14 IVA ▶	15 VA ▶	16 VIA ▶	17 VII A ▶	8 39.948 Ar ARGON															
4 ▶	19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANIUM	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROMIUM	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe IRON	27 58.933 Co COBALT	28 58.933 Ni NICKEL	29 63.546 Cu COPPER	30 65.38 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SELENIUM	35 79.904 Br BROMINE	36 83.798 Kr KRYPTON															
5 ▶	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.96 Mo MOLYBDENUM	43 98 Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILVER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn TIN	51 121.76 Sb ANTIMONY	52 127.60 Te TELLURIUM	53 126.90 I IODINE	54 131.29 Xe XENON															
6 ▶	55 132.91 Cs CAESIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57 - 71 La-Lu Lanthanide	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALUM	74 183.84 W TUNGSTEN	75 186.21 Re RHENIUM	76 186.21 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINUM	79 196.97 Au GOLD	80 200.59 Hg MERCURY	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.20 Pb LEAD	83 208.98 Bi BISMUTH	84 209 Po POLONIUM	85 210 At ASTATINE	86 222 Rn RADON															
7 ▶	87 223 Fr FRANCIUM	88 226 Ra RADIUM	89 - 103 Ac-Lr Actinide	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (271) Sg SEABORGIUM	107 (272) Bh BOHRIUM	108 (277) Hs HASSEIUM	109 (276) Mt MITHUNIUM	110 (281) Ds DARMSTADTIUM	111 (283) Rg ROENTGENIUM	112 (285) Cn COCHINUM	113 (284) Nh NIHONIUM	114 (289) Fl FLEROVIUM	115 (288) Mc MOSCOWIUM	116 (292) Lv LIVERMORIUM	117 (294) Ts TENNESSE	118 (294) Og OGANESSON															
																			57 138.91 La LANTHANUM	58 140.12 Ce CELIUM	59 140.91 Pr PRASEODYMIUM	60 144.24 Nd NEODYMIUM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPEUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.05 Yb YTERBIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM
																			89 227 Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (289) No NOBELIUM	103 (289) Lr LAWRENCIUM

Optimaal in plaats van maximaal

- Veel spoorelementen: teveel of te weinig geven vaak dezelfde klachten.
- Meestal vage klachten.



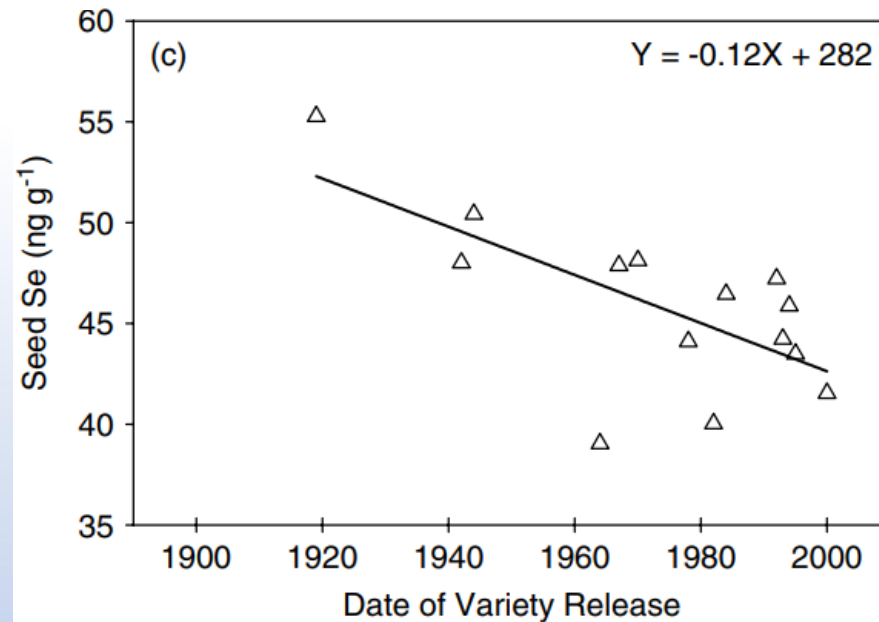
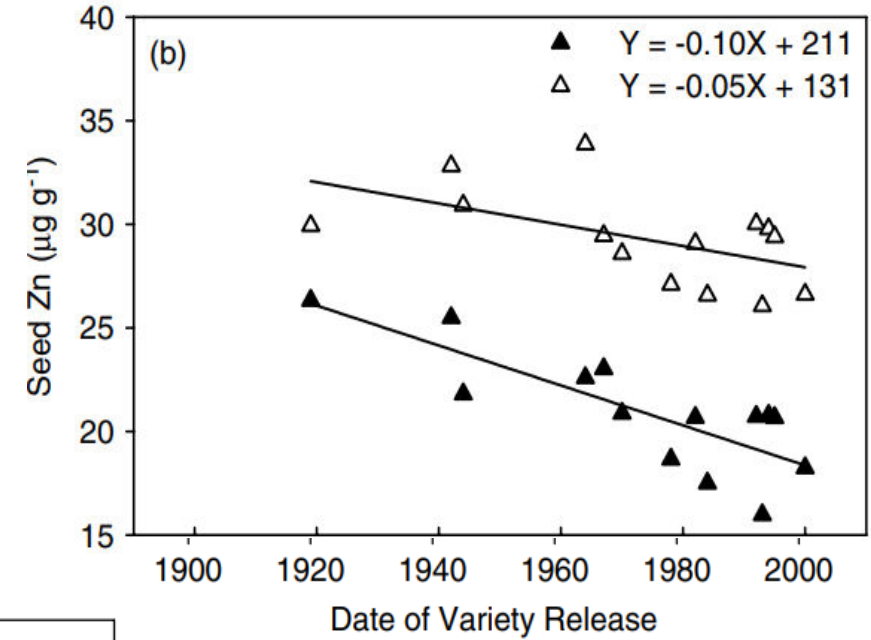
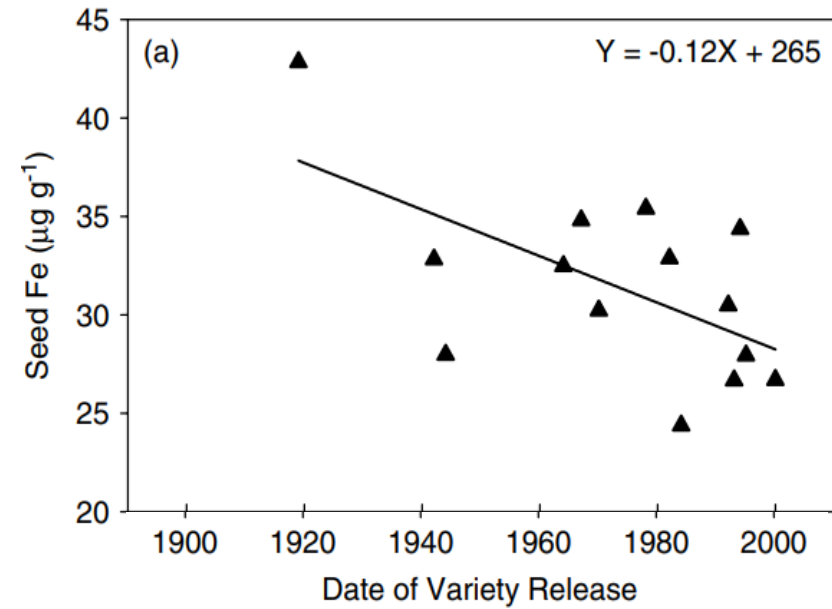
Hoeveel heeft een mens nodig?

Element	μg /kg lichaamsgewicht per dag	mg/dag man (80 kg)	mg/dag vrouw (72 kg)
Chroom	Nog niet bekend	Nog niet bekend	Nog niet bekend
Mangaan	40	3,2	2,9
IJzer	75	6	16
Kobalt	via cobalamine (vit. B ₁₂):	4 μg	4 μg
Nikkel	< 0,13	< 0,01	< 0,01
Koper	20	1,6	1,4
Zink	200	16	14
Seleen	0,9	0,072	0,065
Jodium	1,9	0,15	0,14

Hoeveel krijgt een mens gemiddeld uit voeding?

Element	Nodig man	Nodig vrouw	Gemiddeld in voeding
IJzer	6	16	12 (vrouw)
Koper	1,6	1,4	1,3
Zink	16	14	11
Seleen	0,072	0,065	0,05
Jodium	0,15	0,14	0,24

Wat de mens krijgt, daalt! Fe, Zn en Se in graan

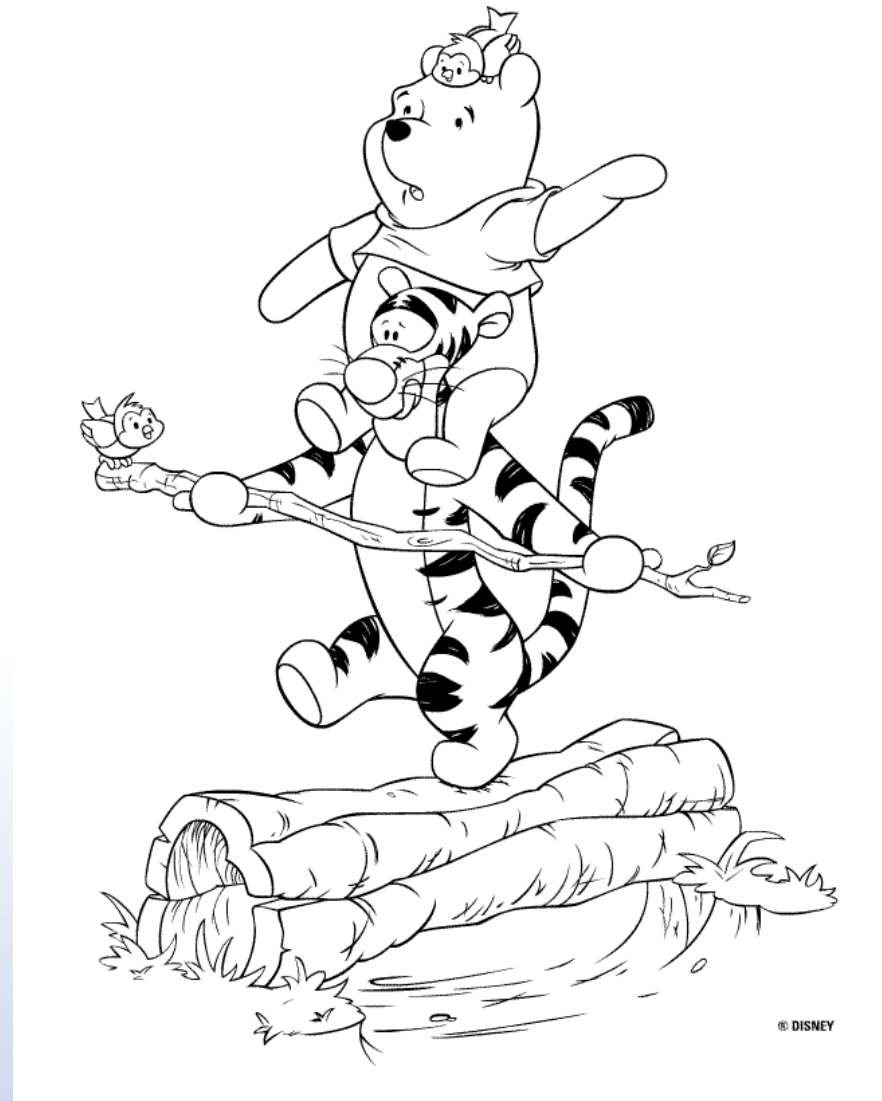


Waarom hebben we die spoorelementen dan nodig?

- Niet om snel te overleven (zuurstof: 5 minuten).
- Niet om dagelijks overleefd te blijven (calcium, magnesium, natrium, kalium).
- Wel om op de langere termijn (weken/maanden) gezond te blijven leven.
- We hebben geen voorraad van magnesium in ons lichaam.
- We hebben wel een voorraad van spoorelementen: niet dagelijks nodig, wel wekelijks/maandelijks.

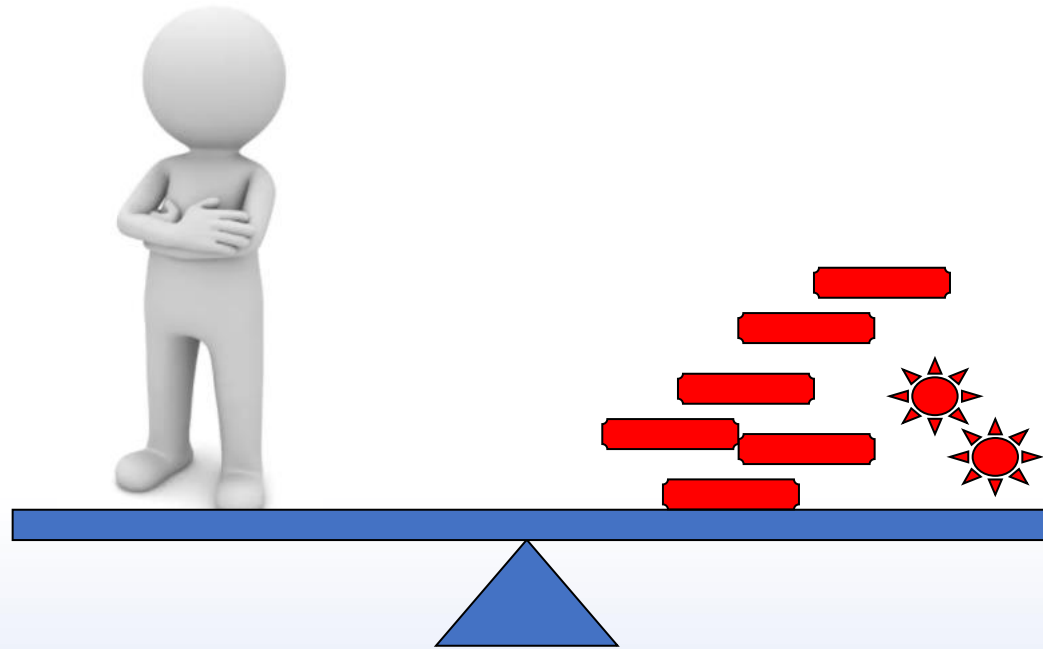
Leven is een kwestie van evenwicht bewaren...

4



Weerstand = evenwicht

ziek

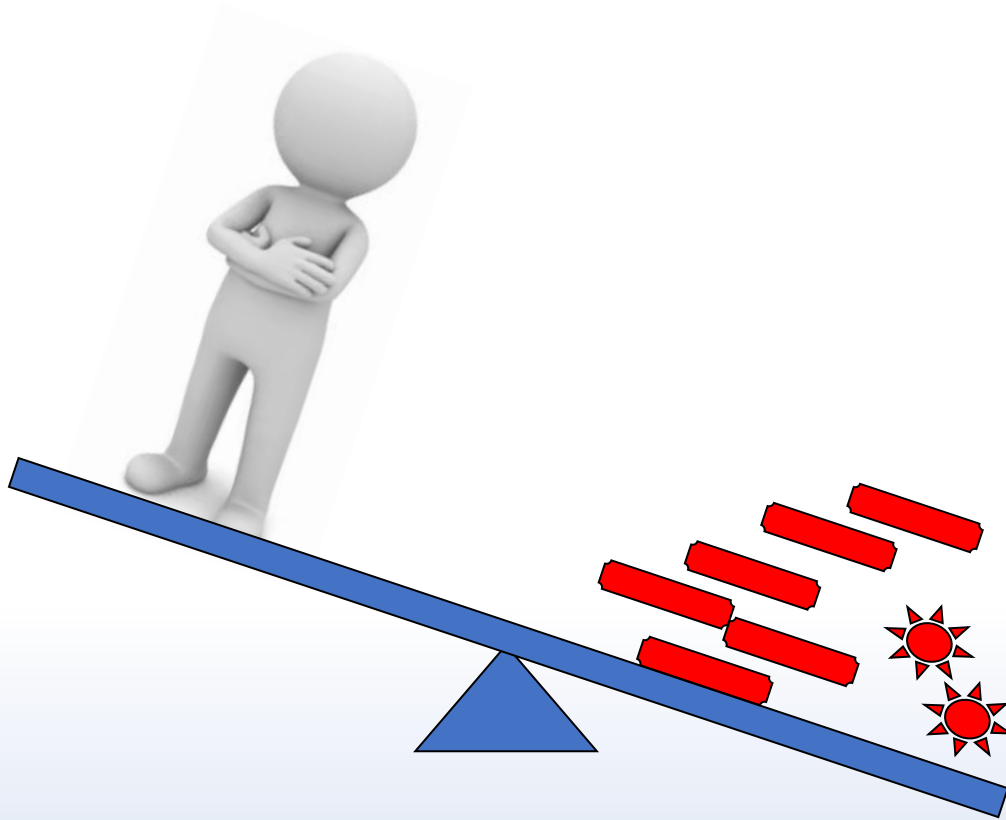


gezond

Weerstand = evenwicht

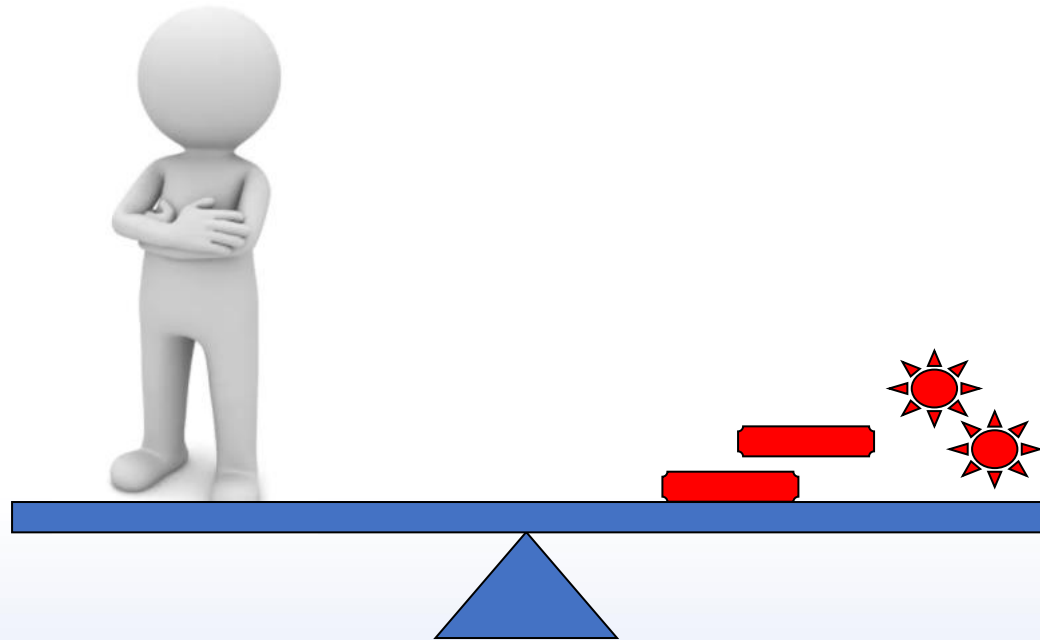
ziek

gezond



Weerstand = evenwicht

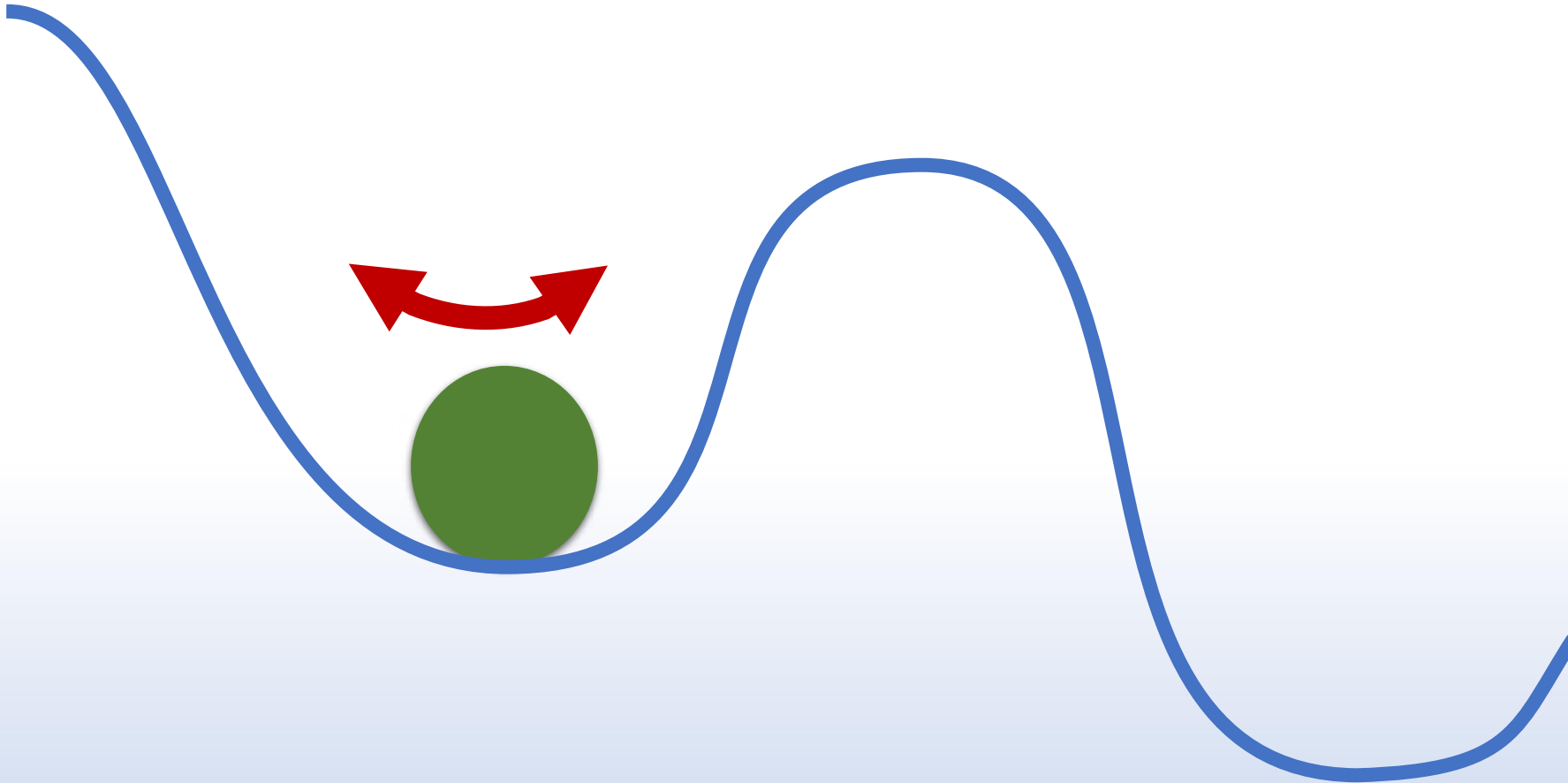
ziek



gezond

Weerbaarheid is het vermogen om weerstand te leveren

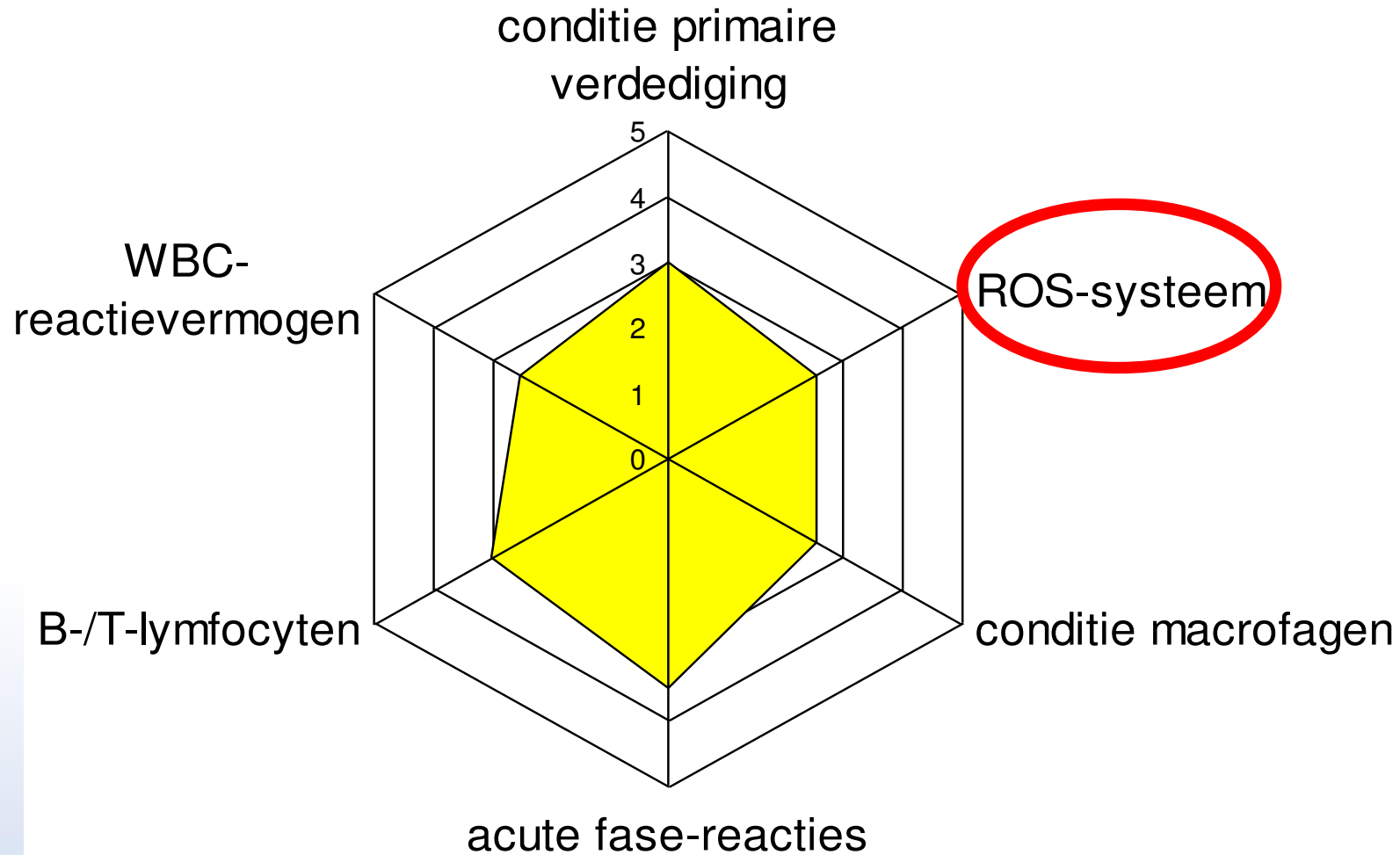
G
4



Weerbaarheid is samenspel van aantal factoren

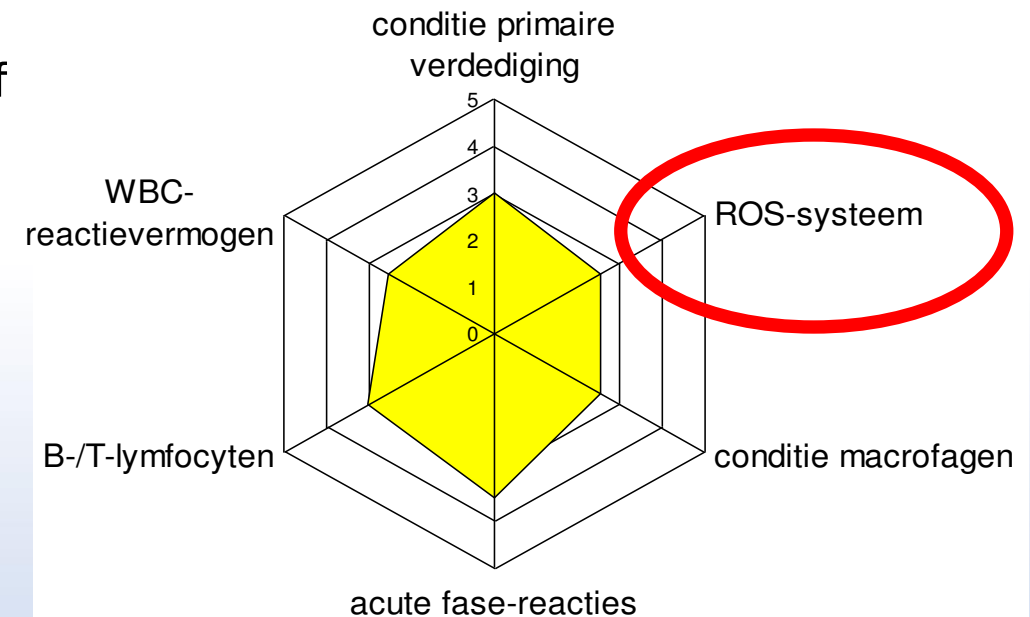
- Zorg dat ziektekiem het lichaam niet binnendringt (primaire verdediging).
- Zorg dat ziektekiem zich niet kan vermeerderen in lichaam.
- Bij binnendringen ziektekiem zo snel mogelijk afdoden.
- Indien afdoden niet werkt, zorg dat ziektekiem zo snel mogelijk onschadelijk wordt gemaakt.

Hoe verdedigt een lichaam zich tegen ziektekiemen?

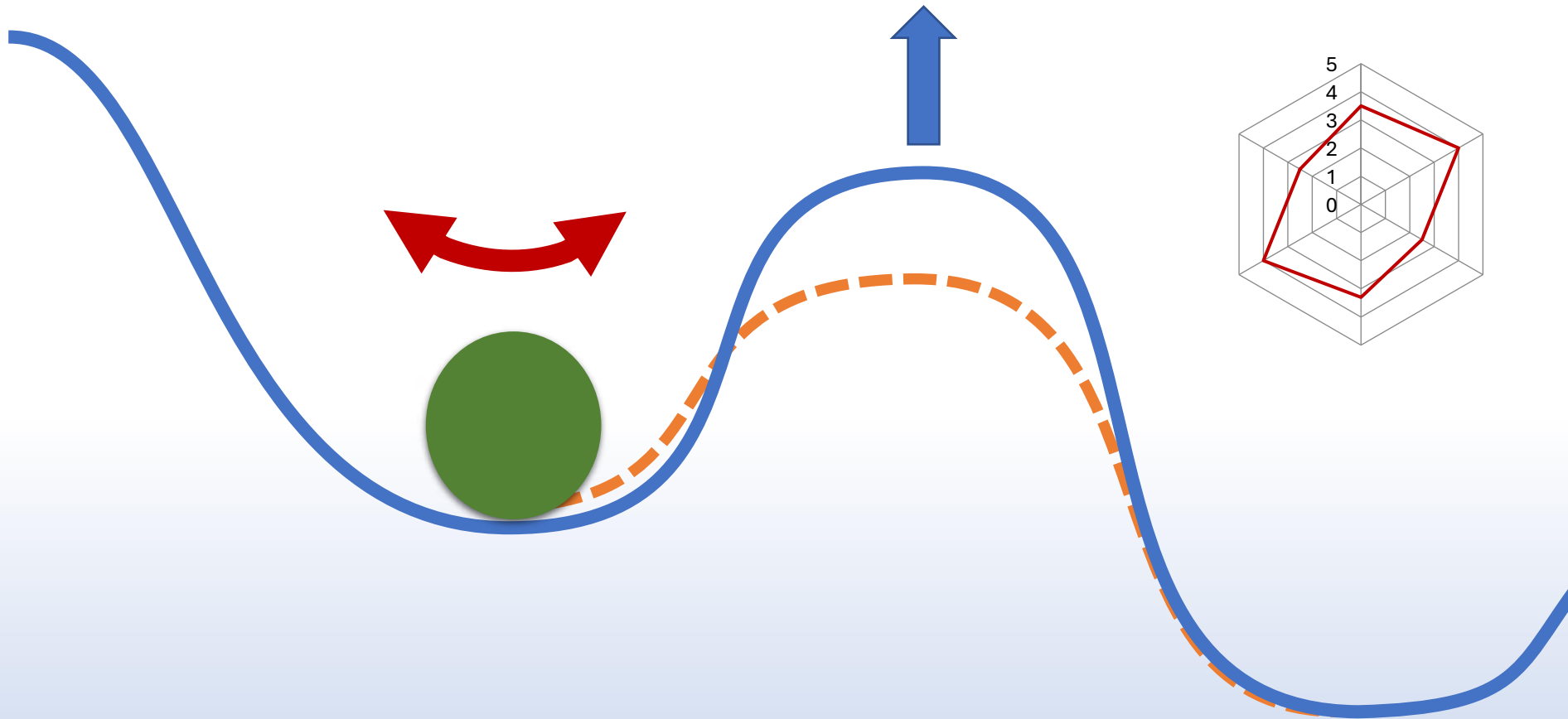


Afdoden van ziektekiem: het ROS-systeem

- ROS = Reactive Oxygen Species
- Onder andere:
 - GSH-Px (Glutathion peroxidase, bevat seleen)
 - Super Oxide Dismutase (kunnen koper, zink en/of mangaan bevatten)
 - Vitamine E (vitamine C)



Weerbaarheid verhogen



Waarom dit alles?

- Spoorelementen en vitamines zijn van belang voor een goede weerbaarheid.
- Spoorelementen zijn mineralen die je in kleine hoeveelheden (spoortjes) nodig hebt.
- Niet te weinig maar zeker ook niet teveel.
- Spoorelementen worden altijd ingebouwd in eiwitten.
- Losse spoorelementen zijn schadelijk voor het lichaam.
- Vitamines zijn verbindingen die het lichaam in principe niet zelf kan maken maar wel nodig heeft (vitale amines).

‘Levenscyclus’ van spoorelementen

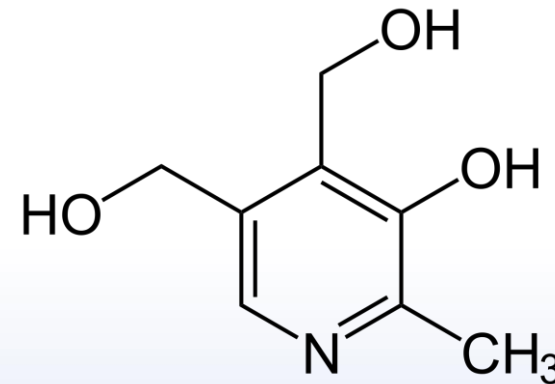
- Meeste spoorelementen zijn schadelijk!
- Dus spoorelementen moeten worden gebonden aan eiwitten voor transport naar de lever.
- In de lever vindt opslag plaats totdat spoorelementen worden ingebouwd in functionele eiwitten (meestal enzymen).
- Uitzondering is jodium: dat wordt via de schildklier omgezet in actief hormoon.
- Zonder spoorelementen geen leven.

De rol van koper

- Meeste spoorelementen zijn schadelijk in vrije vorm.
- In darmen: redox potentiaal < -200 mV.
- Koper: normaal Cu^{2+} maar in de darmen: Cu^{1+}
- $\text{Cu}^{1+} + \text{vet} = \text{vet-oxide}$ (membraanschade).
- Daarom bij koperintoxicatie: koper maakt o.a. rode bloedcellen kapot.

De rol van koper

- Zit in ceruloplasmine (nodig voor opname van ijzer uit darm).
- Ook in CuZn-superoxide-dismutase (SOD) (weerstand);
- Nodig voor collageen-vorming (sterke botten);
- Zit in tyrosinase: nodig voor pigment-vorming van haren;
- Vitamine B6: ook nodig voor bot-vorming!



Koper via water

- Water bevat van nature ijzer en mangaan.
- Door zeer zacht water kan koper vrijkomen.
- Koper in water is zeer goed beschikbaar, dus risico op chronische kopervergiftiging.
- Waterontharder...



Intermezzo

Koper

4

- Uitbraak met norovirus door kopervergiftiging.
- Ontkalking van koffiezet-apparaat met azijnzuur in reisbus:
- 87 000 µg/L koper in koffiewater!!!
 - Normaal drinkwater < 500 µg/L
- Diarree en braken bij passagiers.
- Daardoor norovirus-verspreiding door hele bus.

Hoefnagel J, van de Weerd DH, Schaefer O, Koene R. A norovirus outbreak triggered by copper intoxication on a coach trip from the Netherlands to Germany, April 2010. Euro Surveill. 2012;17(9)



De rol van zink

- Zit in CuZn-SOD (weerstand).
- Nodig voor carboxylase-enzymen: groei: huid, haar, kinderen.
- Zit ook in thyroid-T3 receptor: laag zink, geen goede schildklierwerking.
- Tekort leidt dan ook tot
 - verminderde groei,
 - slechte huid,
 - verminderde weerstand.

De rol van molybdeen

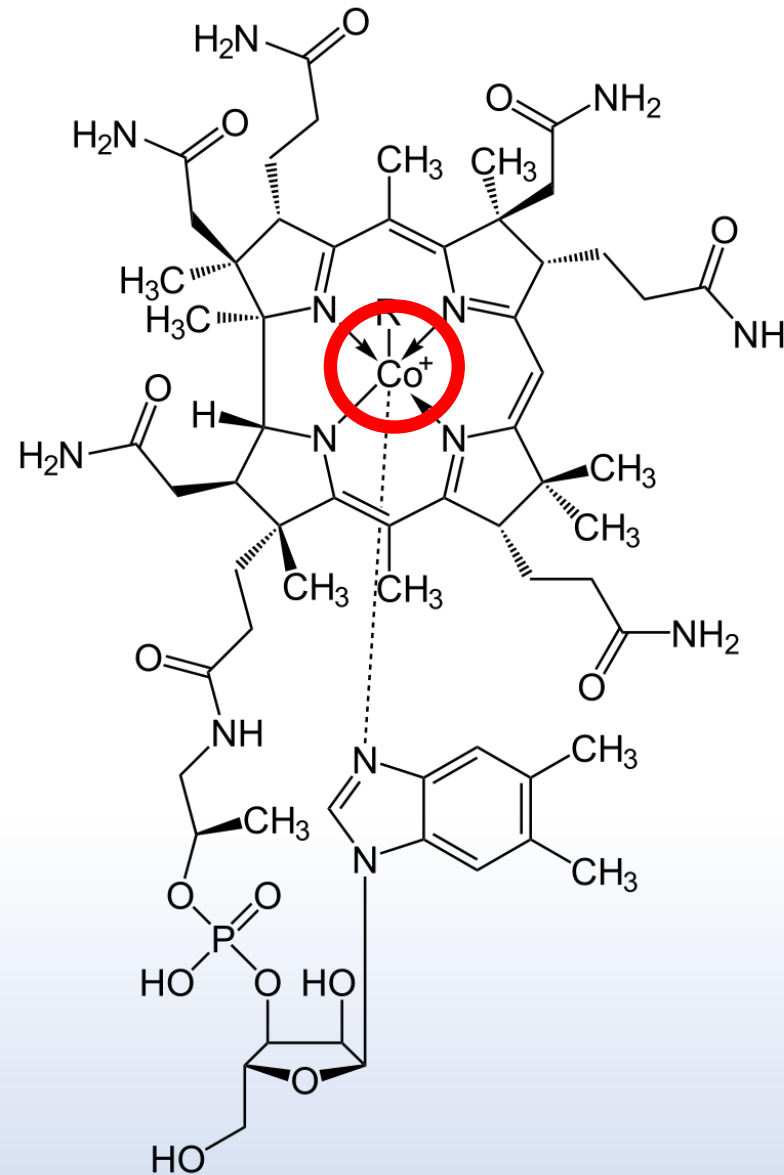
- Zit in enzymen die betrokken zijn bij
 - S (zwavel) metabolisme
 - Heterocyclische verbindingen
 - Metabolisme van aromatische aldehyden
- Is essentieel voedingselement.
- Tekorten worden (bijna) nooit aangetoond.

De rol van molybdeen

- Bij mensen: de ziekte van Wilson (*degeneratio hepatolenticularis*) (1: 30.000)
- Een zeldzame erfelijke aandoening: uitscheiding van koper is verminderd. Hierdoor stapeling van koper in de lever (vergiftiging).
- Medicijn: ammonium-tetra-thiomolydaat ($(\text{NH}_4)_2\text{MoS}_4$) verwijdert koper uit de lever;
- Eerst als middel in diergeneeskunde (tegengaan kopervergiftiging bij schapen), daarna toegepast bij mensen.

De rol van kobalt

- Zit in vitamine B₁₂;
- Nodig voor omzetting van vetten naar energie.
- Tekort:
 - Verminderde groei,
 - Anemie,
 - Verminderde weerstand.
- Overmaat:
 - Verminderde groei,
 - Verminderde weerstand.



De rol van chroom

- Speelt een rol bij insuline/glucose-metabolisme (diabetes 2).
- Mogelijk via interactie van insuline en insuline-receptor van cellen.
- Extra chroom zou via insuline-receptor en IGF-1 (insulin-like-growth factor) diabetes-2 kunnen verminderen.

De rol van mangaan

- Zit vooral in enkele enzymen die nodig zijn voor transport van specifieke suikers (botvorming);
 - Denk aan vitamine B₆, rol van koper bij botvorming.
- Zit ook in mangaan-super-oxide-dismutase
 - Bescherming van mitochondriën tegen oxidatieve schade.

Uitstapje naar zuurstof

- Leven op aarde begon zonder zuurstof.
- Eerste levensvormen waren (voor zover bekend) methaan-producerende bacteriën.
- Eerst grote milieuramp gebeurde toen zuurstof-producerende organismen ontstonden (chlorofyl-bevattende organismen, planten).
- Zuurstof is heel reactief molecuul.
- Toxicologisch gezien zou zuurstof nooit toegelaten mogen worden.

Zuurstof als schadelijke stof

- Concentratie waarbij leven mogelijk is: 19 – 21% O₂
- Zeer nauwe band: teveel (> 22%) en te weinig (< 15%) is direct schadelijk.
- In lichaam:



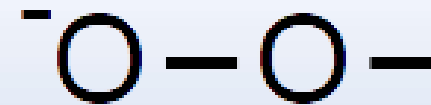
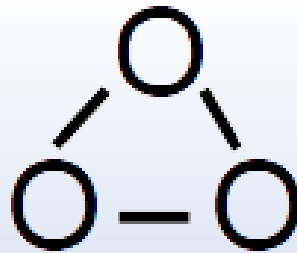
1s²



2s²



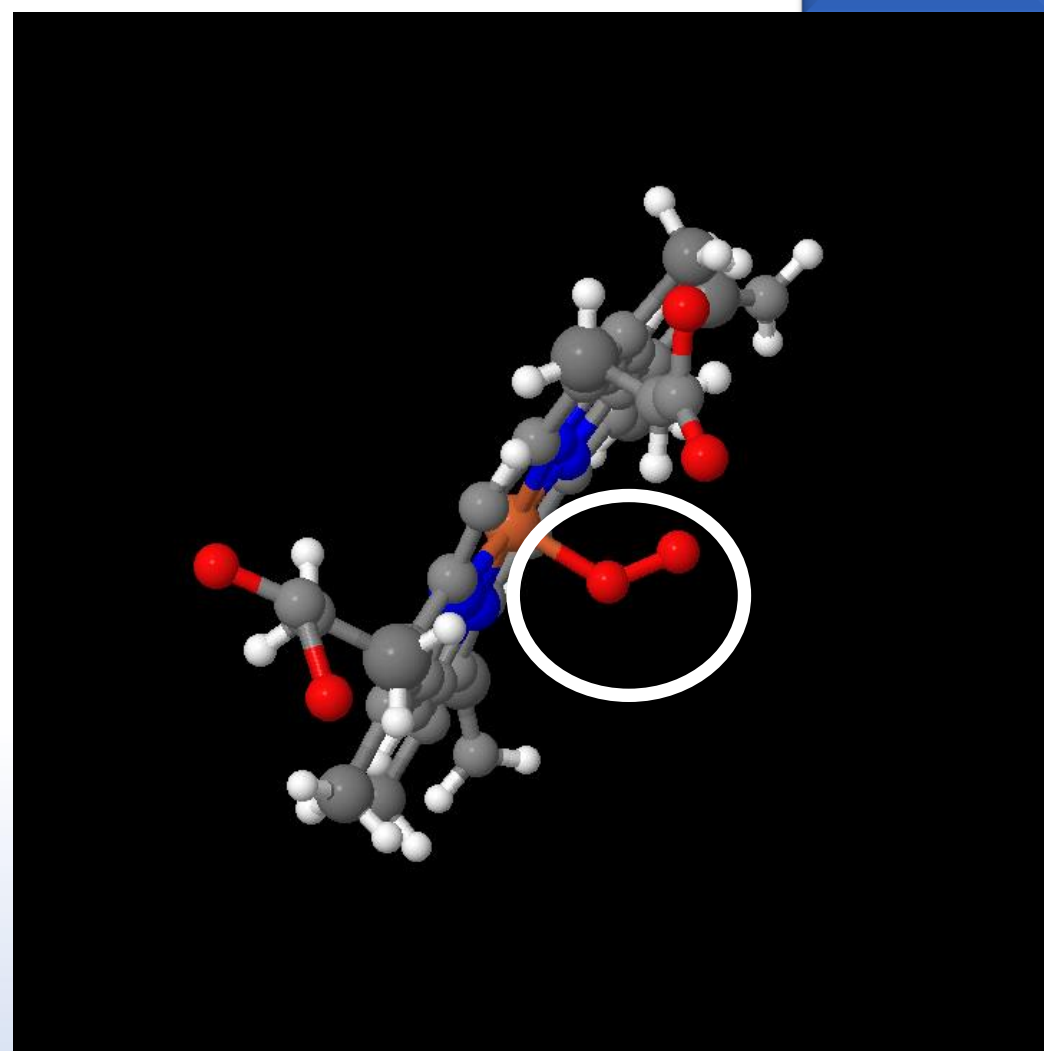
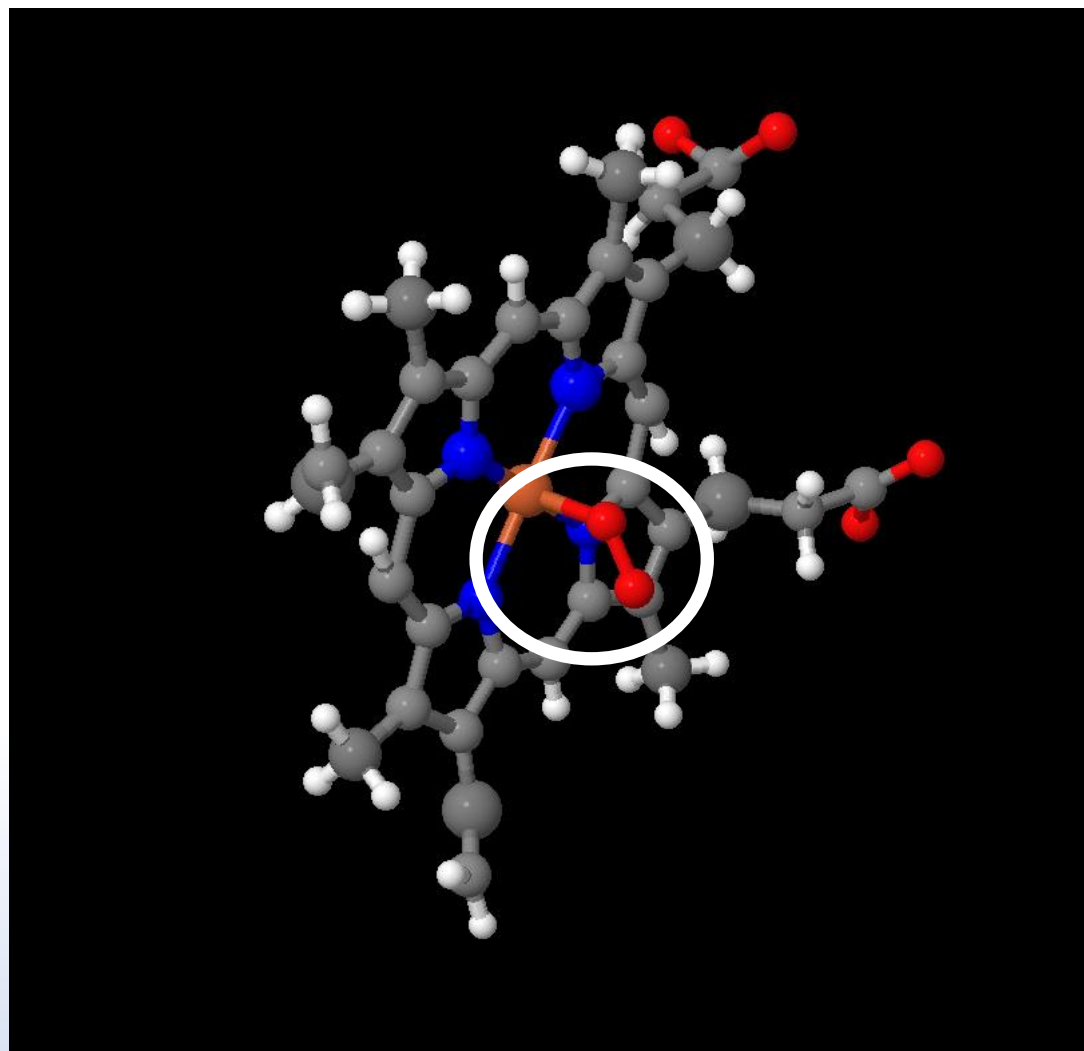
2p⁴



Dus voorzichtig transporteren in lichaam

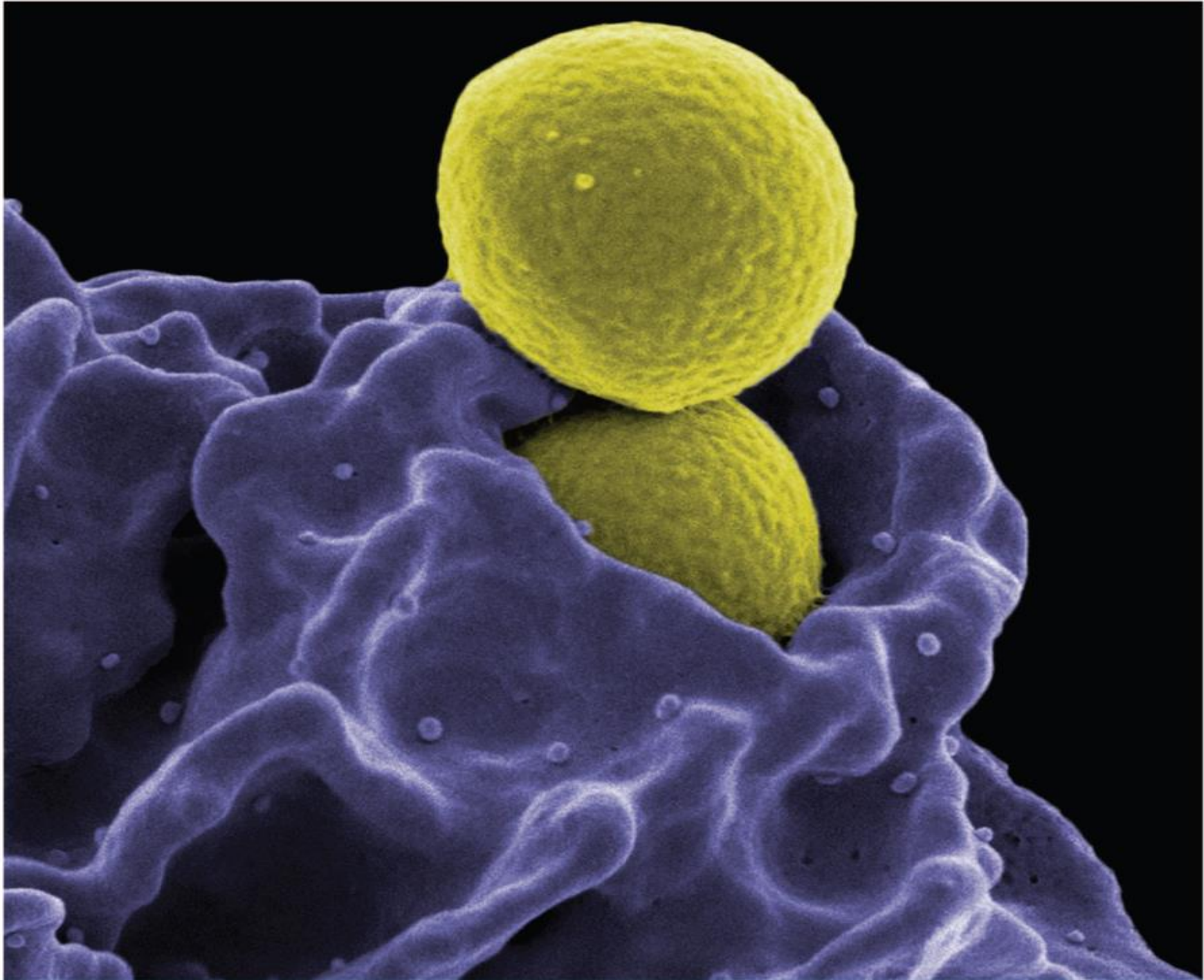
IJzer &
Zuurstof

4



Maar het gaat ook mis

- Suiker wordt met O_2 omgezet in energie (restproduct is H_2O en CO_2).
- Ongeveer 0,5% van de zuurstof 'ontspoort' en wordt zuurstofradicaal.
- Dit wordt **oxidatieve stress** genoemd.
- Oxidatieve stress kan ook worden aangewend om bacteriën te doden (gebeurt door oa. neutrofielen en macrofagen).
- 'Handling' van zuurstof kan alleen met spoorelementen.



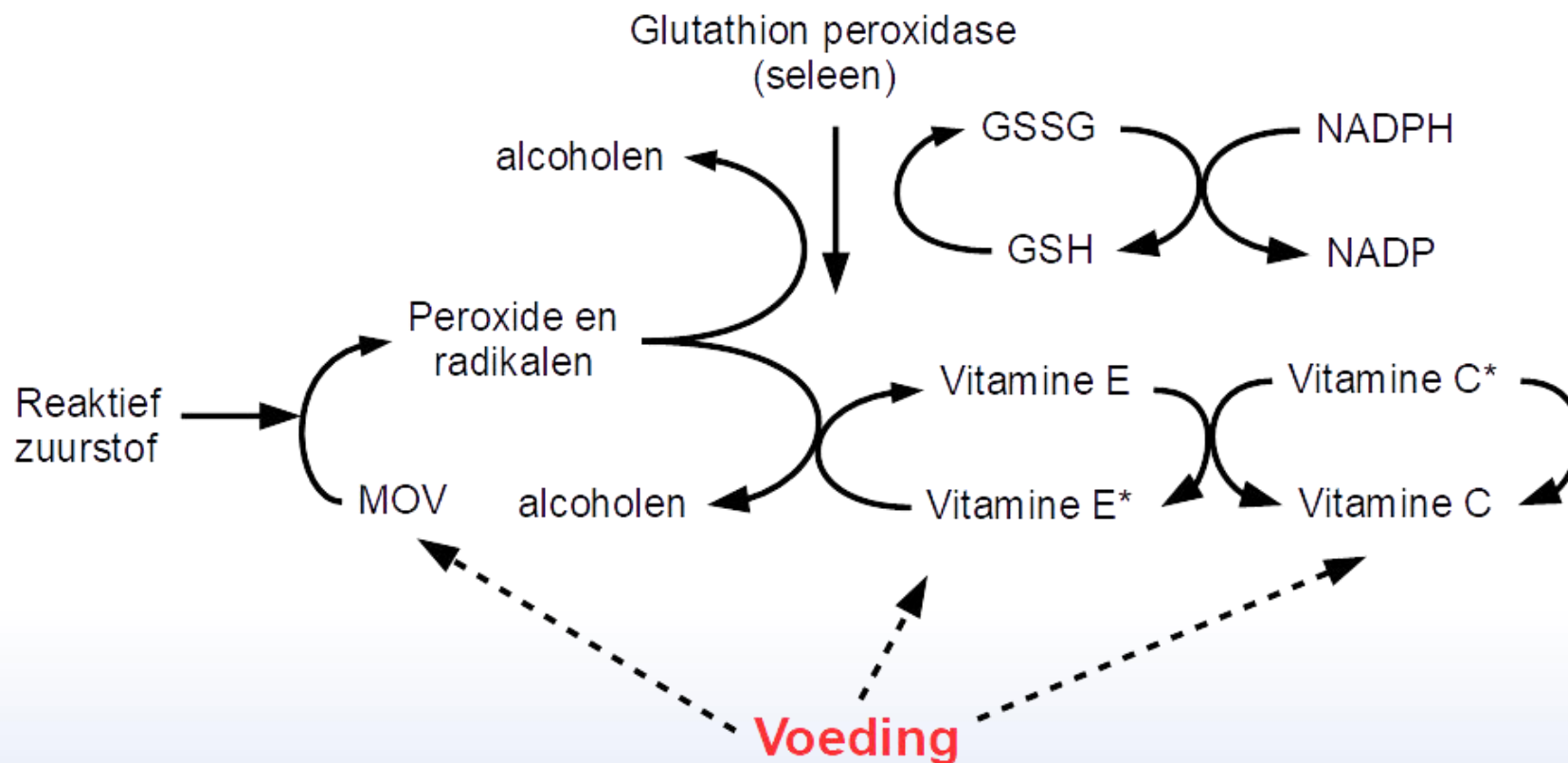
De rol van seleen

- Seleen vooral als bescherming tegen oxidatieve stress.
- Dit kan alleen in combinatie met vitamine E.
- Zit vooral in cellen die veel zuurstof verwerken (rode bloedcellen, witte bloedcellen).
- Speelt ook een rol bij het metabolisme van jodium in de schildklier.

De rol van seleen in combinatie met vitamine E

Seleen
vitamine
E

4



Meervoudig onverzadigd vet
(MOV)

seleen

Vitamine E
(alfa-tocoferol)

Vitamine C
(ascorbine zuur)

Hoe kom ik aan MOV's en vitamine E?

Seleen
vitamine
E

4

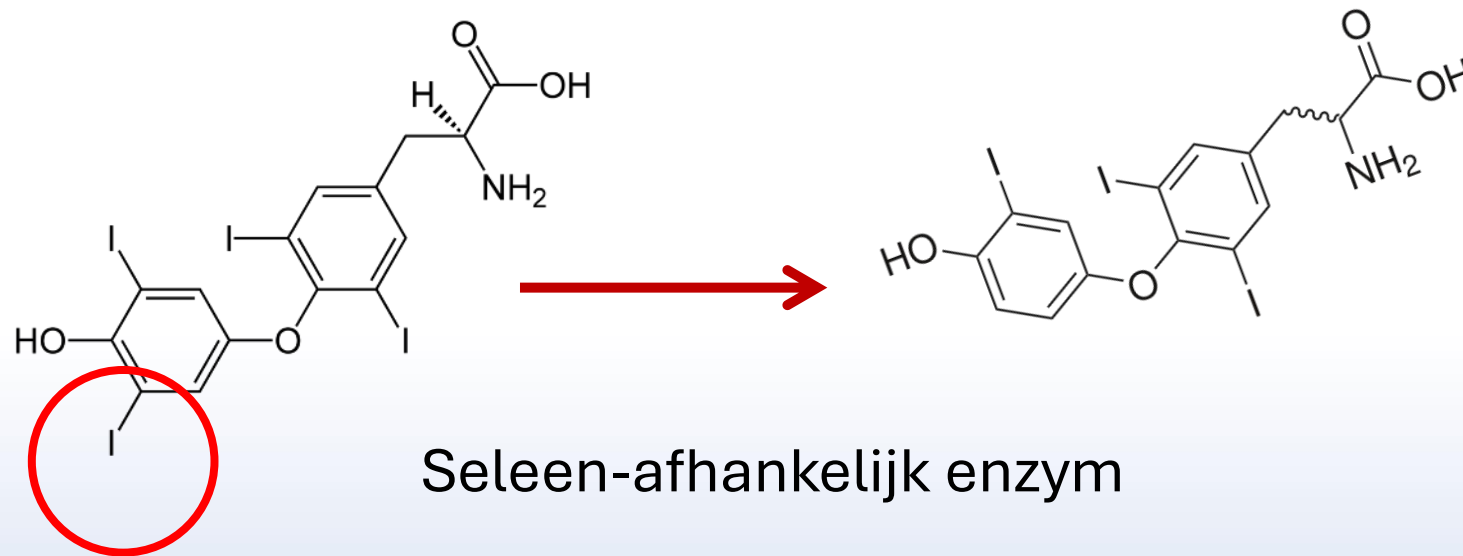
Product (per 100 g)	(meervoudig) onverzadigde vetzuren (g)	Vitamine E (mg)	Seleen (µg)
Ongezouten pinda	41,6	6,4	16
Vette vis	13,2	1,6	35
Runder gehakt	8,6	0,5	8
Varkens gehakt	6,3	0,7	10

Seleen ook nodig voor goede werking van jodium

Seleen
Jodium

4

- Jodium vooral in schildklierhormoon.
- Thyroxine (T_4) bevat 4 jodiumatomen.
- Tri-jodothyronine (T_3) bevat 3 jodiumatomen = actieve hormoon



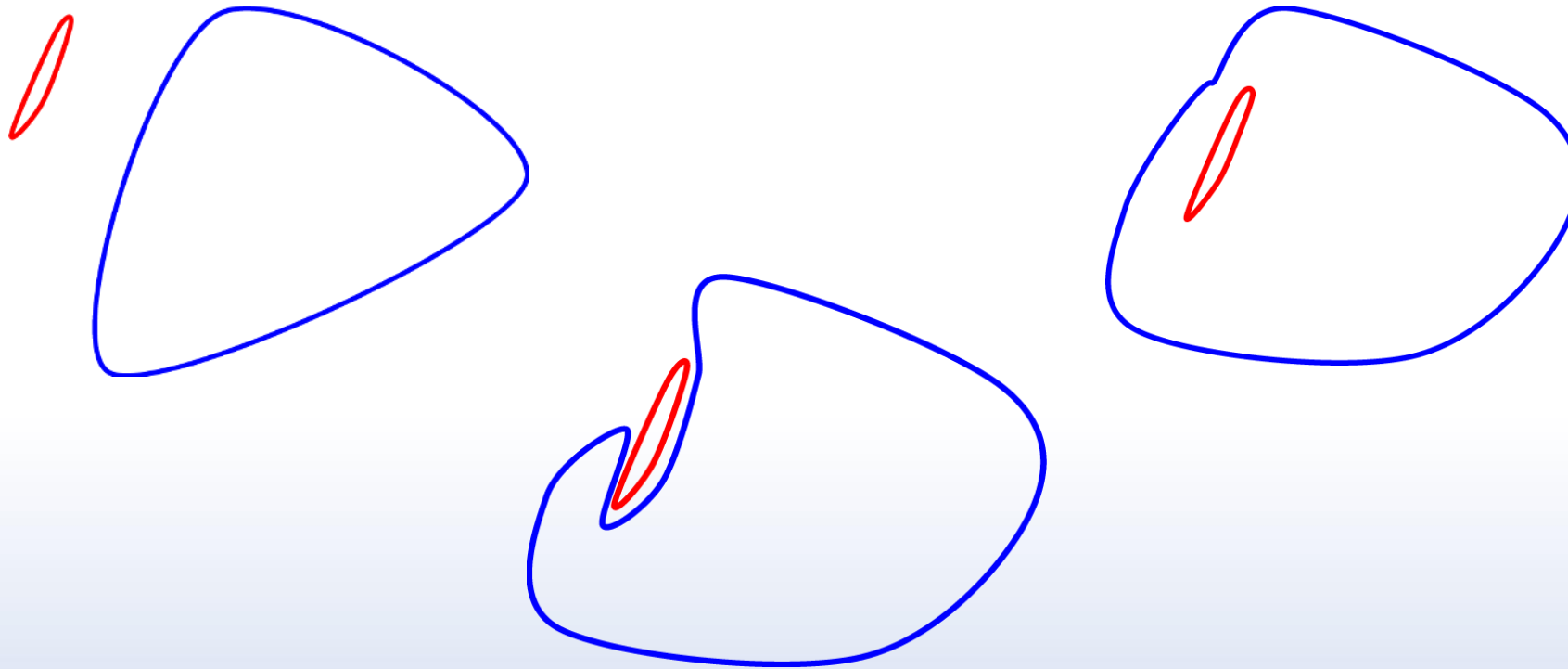


De rol van seleen

Seleen

G4

- Witte bloedcellen zorgen voor afdoden van ziektekiemen

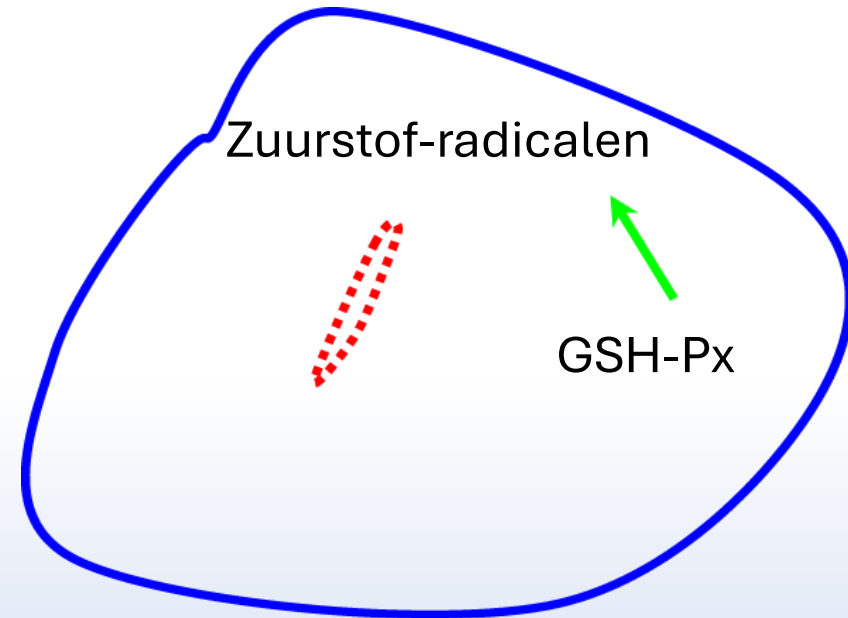
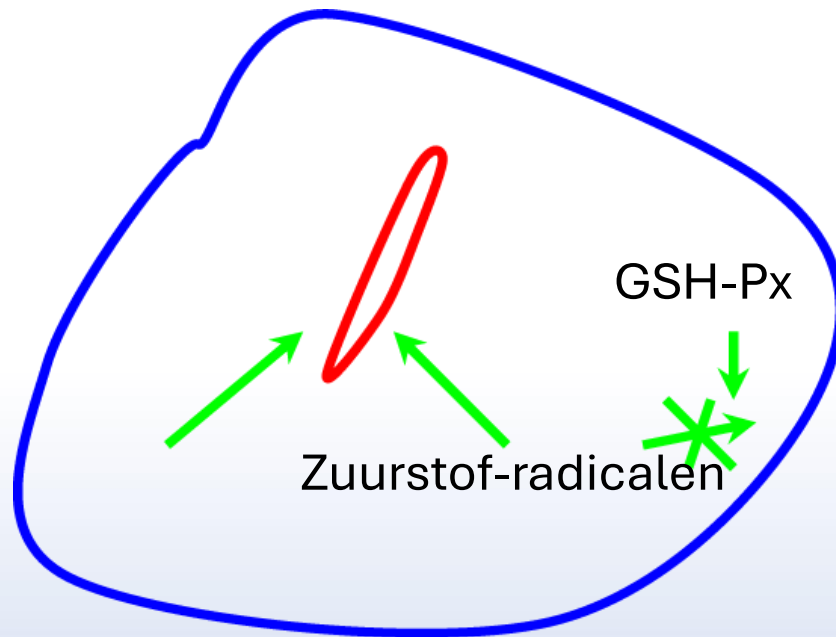


De rol van seleen

Seleen

4

- Afdoden van ziektekiemen met enzym GSH-Px (bevat seleen)

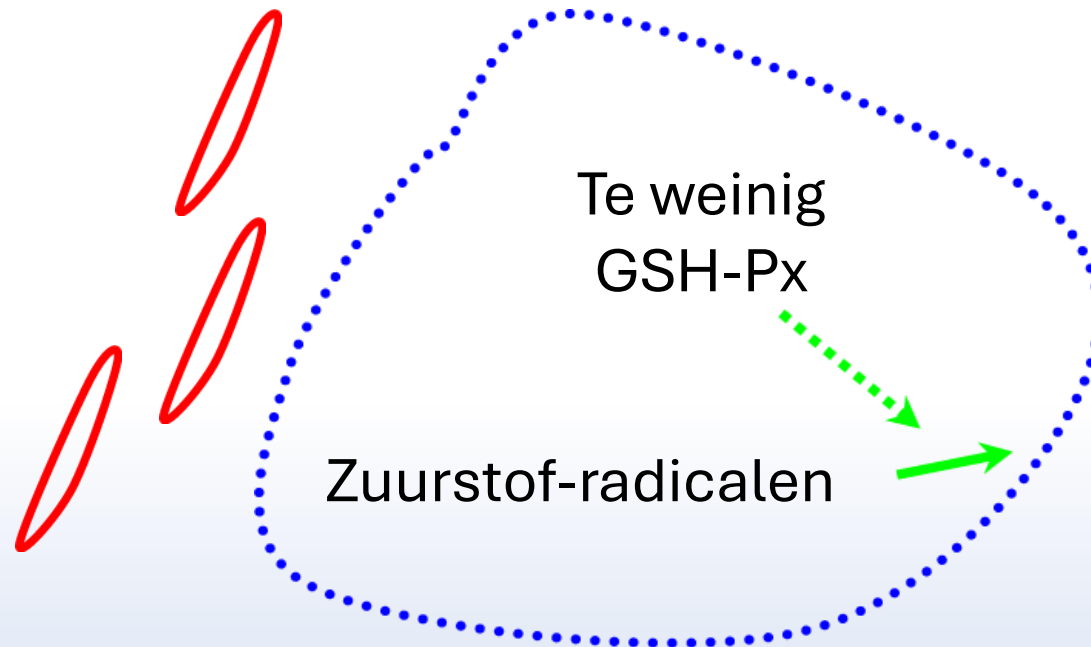


De rol van seleen

Seleen

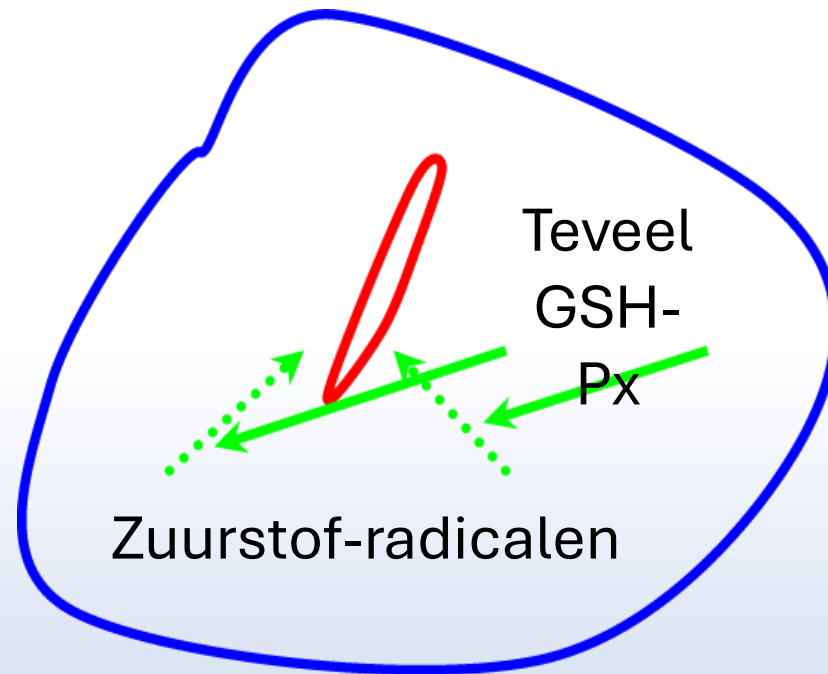
G4

- Witte bloedcellen: zuurstofradicalen kunnen eigen cellen afdoden



De rol van seleen

- Teveel seleen: zuurstofradicalen worden weggevangen voordat ze hun werk kunnen doen



De rol van jodium.

- Tri-jodothyronine (T_3) bevat 3 jodiumatomen = actieve hormoon.
- Dit is de thermostaat van ons lichaam.
- Overmaat T_3 :
 - Afvallen;
 - Trillingen;
 - Toegenomen hartslag;
 - Slapeloosheid;
 - Gevoelig voor hitte.
- Tekort T_3 :
 - Omgekeerde effecten!

De rol van seleen in combinatie met jodium

- Vergrote schildklier:
- Wijst op tekort aan jodium.
- Kan ook door tekort aan seleen (hier wordt humaan nauwelijks aan gedacht).

Element	Nodig	Gemiddeld in voeding
Seleen	0,07	0,05
Jodium	0,15	0,24

- De opname van seleen door mensen is de afgelopen jaren sterk gedaald in Europa.
- De gemiddelde opname ligt onder de aanbevolen hoeveelheid.

Spoorelementen zitten niet in de lucht

- Dus moeten we spoorelementen via het water of voedsel binnenkrijgen.
- Via water krijgen we maar heel weinig binnen.
- Nou ja: lood, koper, zink...
- Maar meeste via voedsel.
- Geldt voor mens en dier.

- Dus **BODEM – PLANT – DIER – MENS**

Hoe kan ik weten of ik voldoende krijg?

- Nederlands Voedingsstoffenbestand (NEVO)
- <https://nevo-online.rivm.nl/>
- Zoek op product (spinazie):
- NEVO-code 51/52: spinazie rauw/gekookt:
- Mineralen en spooorelementen (per 100 g voedingsmiddel)

Product	IJzer (mg)	Koper (mg)	Seleen (µg)	Zink (mg)	Jodium (µg)
Spinazie rauw	2,0	0,11	0	1,1	2,0
Spinazie gekookt	2,4	0,08	0	1,2	2,0

Waar blijven de spoorelementen in groente?

- Bodem → plant.
- Afhankelijk van grondsoort (zand, veen, klei).
- Afhankelijk van zuurgraad grond (bekalking).
- Vegetarische producten: spoorelementen en vitaminen meestal extra toegevoegd.

Product	IJzer (mg)	Koper (mg)	Seleen (µg)	Zink (mg)	Jodium (µg)
Haverdrink (+)	0,0	0,02	0	0,04	0,2
Halfvolle melk	0,0	0,01	1,0	0,41	14,9
Veg. gehakt (soja)	2,7	0,27	12	0,96	0,0
Rund gehakt	2,0	0,06	8	4,33	2,5

Waar blijven de spoorelementen in dieren?

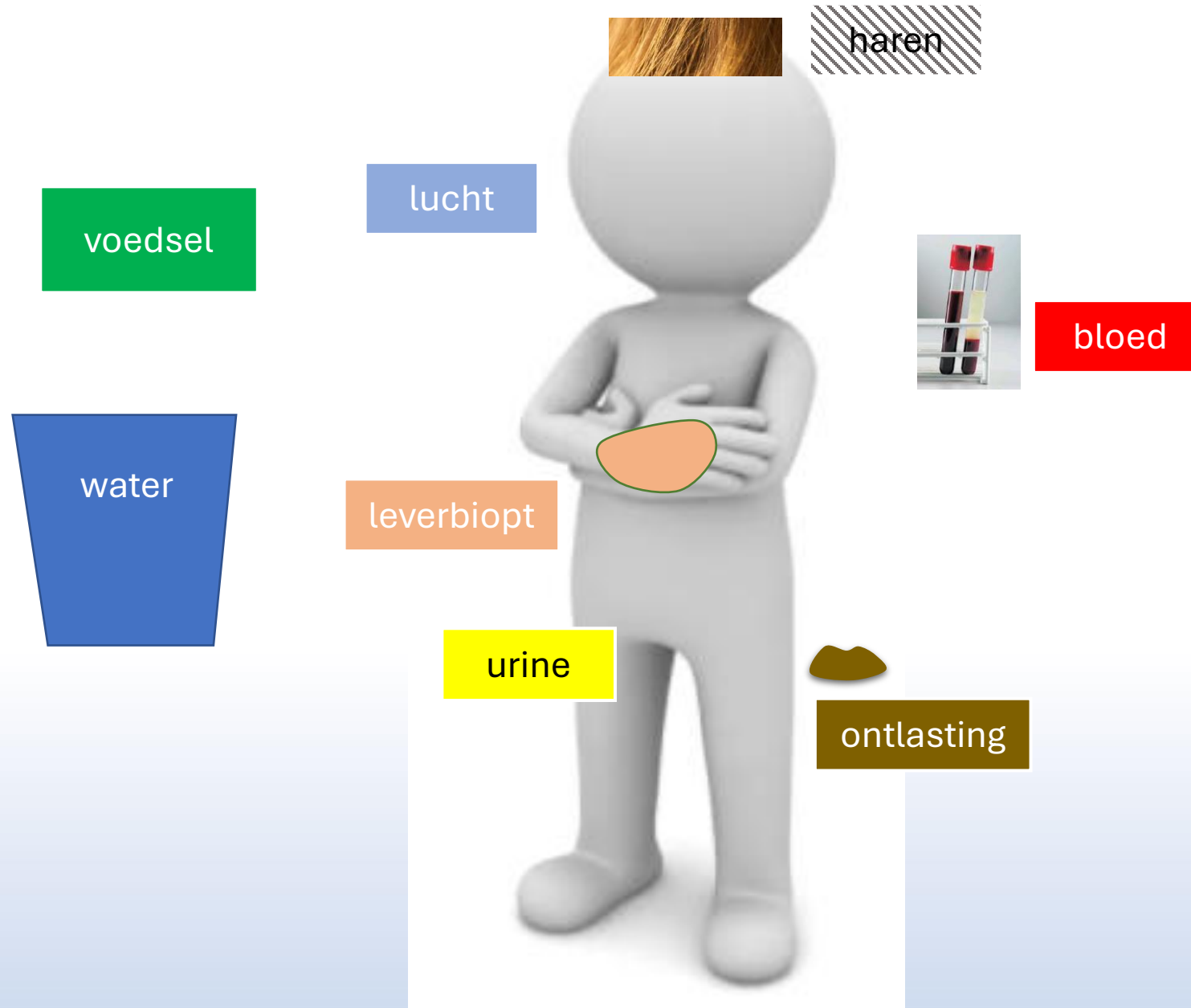
- Na opname -> transport naar lever.
- Lever bevat de meeste spoorelementen.
- Zeer kleine hoeveelheid van spoorelementen circuleren 'vrij' rond in het lichaam.
- Klein beetje zit ook in melk (vooral jodium).

Product	IJzer (mg)	Koper (mg)	Seleen (µg)	Zink (mg)	Jodium (µg)
Rundvlees	3,0	0,15	14	6,8	3,1
Runder lever	6,0	8,2	29	4,1	6,8
Varkensvlees	0,9	0,07	12	2,7	2,1
Kippenvlees	0,6	Nb	12	1,1	5
Schapenvlees	2,1	0,08	2	3,2	6
Halfvolle melk	0,0	0,01	1,0	0,4	14,9

Spoorelementen en vitamines

- Over ieder spoorelement en ieder vitamine kun je wel een congres organiseren!

Spoorelementen	Vitamines
IJzer	Vitamine A
Koper	Vitamine B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₆ , B ₉ , B ₁₂
Zink	Vitamine C
Seleen	Vitamine D
Jodium	Vitamine E
Kobalt	Vitamine K
Chroom	(Vitamine H: biotine: geen echt vitamine)



Chemie smaakt naar evenwicht

