

HOOFDSTUK 1

Een metaal als geen ander

Wanneer goud spreekt, is al het andere stil.

Russisch gezegde

Zware kost

Al denken veel mensen bij chemie aan vluchtiger dingen, toch is goud – *golt* in het Oudnederlands – een chemisch element, net als zuurstof of koolstof bijvoorbeeld. Op zijn chemische identiteit gaan we nu even in. De Russische scheikundige Dmitri Mendelejev was de eerste die de elementen in een logische volgorde rangschikte. Hij bezorgde de mensheid het ‘periodiek systeem der elementen’, beter bekend als de tabel van Mendelejev. En als bron van menig onuitwisbaar examentrauma. Zijn tabel rangschikt elk element op basis van een uniek atoomnummer dat het aantal protonen in de kern van het atoom weergeeft. Hoe hoger het atoomnummer, hoe zwaar-

Figuur 1.1. Tabel van Mendelejev

	1																	18
	1a																	0
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	3 IIIb	4 IVb	5 Vb	6 VIb	7 VIIb	8 VIIIb	9 VIIIb	10 VIIIb	11 Ib	12 IIb	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	↓	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	⇓	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Lanthaniden	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actiniden	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Bron: Wikipedia.

der het atoom van het betreffende chemisch element. Het lichtste element is waterstof (H) met atoomnummer 1, het zwaarste is oganesson (Og) met atoomnummer 118. Goud heeft atoomnummer 79. Zijn scheikundig symbool Au komt van het Latijnse woord *aurum* (goud), dat op zijn beurt afgeleid is van *aurora*, wat dageraad betekent. Het symbool voor zilver is Ag, van het Latijnse woord *argentum* (waaraan ook Argentinië zijn naam dankt). Het heeft atoomnummer 47. Lood (Pb) heeft atoomnummer 82, wat hoger is dan goud en dus wijst op een zwaarder atoom. Toch voelt eenzelfde volume goud bijna dubbel zo zwaar aan als lood. Dat komt doordat de atomen van goud dichter gestapeld zijn dan die van lood, waardoor er minder vacuüm ruimtes zijn tussen de atomen. Goud heeft net als platina (Pt, atoomnummer 78) een enorme dichtheid, wat het zeer compact maakt. De naam platina is afgeleid van het Spaanse *platino* of 'klein zilver'. Het weegt 21.472 kilo per kubieke meter, goud 19.320 en zilver 10.490. Een goudstaaf van één kilo is ongeveer zo groot als een klein model smartphone en kan makkelijk mee in de achterzak van je jeans. Handig als je op de vlucht moet.

De dichtheid van een element is echter niet evenredig met zijn hardheid. Van alle metalen laat goud zich het makkelijkst bewerken, net iets makkelijker dan zilver. Je kan eindeloos op goud hameren zonder dat het barst, scheurt of breekt. Uit één gram goud kan je een draad van 66 kilometer trekken² of één vierkante meter bladgoud maken. In de Oudheid slaagden goudsmiden erin bladgoud met een dikte van 0,01 millimeter te maken. Vandaag maken we bladgoud van slechts 0,1 micron (0,0001 millimeter) dik, duizend keer dunner dan een vel printerpapier. Het wordt dan zelfs transparant, waardoor het onder zonlicht een dieprode schijn aanneemt. De wetenschap staat natuurlijk voor niets. Forsers aan de Universiteit van Leeds zijn erin geslaagd bladgoud te maken met een dikte van twee atomen of 0,47 nanometer, een miljoen keer dunner dan een vingernagel.³ Aan de gewilligheid van goud om zich te laten bewerken danken we talloze magnifieke gouden kunstwerken, ornamenten en sieraden. Goud vormt makkelijk legeringen met andere metalen, wat goudsmiden toelaat gouden juwelen te versterken en een divers kleurenpalet mee te geven. Goud is, net als zilver, een zeer efficiënte reflector van licht en warmte en een uitstekende geleider van elektriciteit en warmte. In het oude Egypte wist men de esthetische en praktische eigenschappen van goud te combineren door er gouden tanden van te maken.

² Stewart, Doug, *11 Interesting Facts about Element 79, Facts about Gold*, www.chemicool.com.

³ Anoniem, Nanowerk News, 6 augustus 2019, *The world's thinnest gold sheet is just two atoms thick*, <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=53329.php>.

Vier deeltjes per miljard

We kunnen de elementen ook rangschikken op basis van schaarste, gemeten via het aantal deeltjes dat elk element vertegenwoordigt in de aardkorst.

Tabel 1.1. Rangschikking van de elementen op basis van schaarste

Plaats	Element	Deeltjes per miljoen
1	Zuurstof	461.000
2	Silicium	282.000
3	Aluminium	82.300
4	Ijzer	56.300
...		
66	Cadmium	0,150
67	Kwik	0,085
68	Zilver	0,075
69	Selenium	0,050
70	Palladium	0,015
71	Bismut	0,009
72	Helium	0,008
73	Neon	0,005
74	Platina	0,005
75	Goud	0,004
76	Osmium	0,002
77	Ruthenium	0,001
78	Rodium	0,001
79	Tellurium	0,001
80	Iridium	0,001
81	Renium	0,001
82	Krypton	0,000
83	Xenon	0,000
84	Protactinium	0,000
85	Radium	0,000
86	Actinium	0,000
87	Polonium	0,000
88	Radon	0,000

Bron: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*.⁴

⁴ Haynes, W.M., Lide, David R. en Thomas J. Bruno, 2016-2017, *CRC Handbook of Chemistry and Physics, Abundance of elements in the earth's crust and in the sea*, 97th edition, pp. 14-17. De schattingen van de concentratie in de aardkorst lopen uiteen. Voor goud spreken sommige bronnen van 0,0011 deeltjes per miljoen, anderen van 0,0031.

De concentratie van goud in de aardkorst bedraagt slechts 0,004 deeltjes per miljoen, dit is vier deeltjes per miljard. Vergelijk het met aluminium bijvoorbeeld, dat 82.300 deeltjes per miljoen in de aardkorst vertegenwoordigt, ofte 82,3 miljoen deeltjes per miljard. Goud is dus relatief schaars, net als zilver. Maar goud en zilver zijn niet de enige schaarse elementen. In wat de platinagroep metalen wordt genoemd omdat de meeste worden aangetroffen in ruw platina-erts, vinden we naast platina andere schaarse metalen als palladium (Pd, atoomnummer 46, genoemd naar een asteroïde met de naam Pallas⁵), osmium (Os, atoomnummer 76, genoemd naar *osmè*, het Griekse woord voor stank), ruthenium (Ru, atoomnummer 44, genoemd ter ere van Ruthenia, de Latijnse naam voor Rusland), rodium (Rh, atoomnummer 45, genoemd naar de roze kleur van een van zijn chloorverbindingen), en iridium (Ir, atoomnummer 77, genoemd naar de godin Iris). Goud en zilver worden sinds meer dan 2.000 jaar gebruikt als betaalmiddel. Waarom viel de platinagroep uit de boot?

*De pope of science*⁶

Een eerste reden waarom de platinagroep het niet heeft gehaald als betaalmiddel is eenvoudigweg dat hij pas vanaf de achttiende eeuw wetenschappelijk is ontdekt. Antonio de Ulloa was in 1748 de eerste die platina wetenschappelijk bestudeerde, terwijl palladium pas in 1802 door William Hyde Wollaston werd ontdekt tijdens het onderzoeken van ruw platina-erts. Wollaston dokterde een methode uit om ruw platina-erts te raffineren tot platinapoeder van hoge zuiverheid, dat kon worden omgevormd tot bruikbare staafjes. Voor puur platina werden vele wetenschappelijke en technologische toepassingen gevonden. Het heeft veel van de eigenschappen van goud maar werd niettemin verkocht voor een vierde van de goudprijs. Wollaston kocht al het beschikbare platina-erts op en was gedurende twintig jaar de enige leverancier van platina in Engeland. Hij hield de methode om het erts te raffineren geheim tot kort voor zijn dood en werd ontstellend rijk. Deze ondernemende man ontdekte ook rodium.⁷ Hij had medicijnen gestudeerd maar was van alle markten thuis: hij verrichte belangrijk werk op het vlak van de astronomie, de chemie, de plantkunde, de mechanica, de fysiologie, het ontwerp van wetenschappelijke instru-

⁵ Pallas werd ontdekt in dezelfde periode als palladium. De ontdekking creëerde een groot enthousiasme omdat men aanvankelijk dacht dat het over een nieuwe planeet ging.

⁶ Usselman, Melvyn C., *William Hyde Wollaston*, Encyclopaedia Britannica, www.britannica.com.

⁷ Osmium en iridium werden in 1803 ontdekt door Cambridge-professor Smithson Tennant, die zakelijk gelieerd was met Wollaston.

menten en de analyse van mineralen. Het mineraal wollastoniet, dat het zilverwitte uitzicht heeft van platina, is naar hem genoemd. Zijn vrienden noemden hem ‘the pope of science’. De filosoof William Whewell, zelf geen intellectuele onderdeur als Master van het Trinity College in Cambridge, zei dat converseren met Wollaston was als “spreken met pure intelligentie”. Zijn werk op het vlak van het elektromagnetisme liet Michael Faraday later toe de eerste werkende elektromotor te bouwen. Faraday, die trouwens platina en palladium afnam bij Wollaston, ging met de glorie aan de haal maar weigerde Wollaston te accrediteren voor zijn pionierswerk, een lot dat maar al te vaak de grootste wetenschappers beschoren is geweest. Hem weze hiermee ere toegebracht.

Schrikwekkende eigenschappen

Platina was weliswaar bekend bij precolumbiaanse volkeren, die het in zijn natuurlijke staat aantreffen in de zandbanken van rivieren. De conquistadores kwamen er op die manier al in de zestiende eeuw mee in aanraking, maar wisten niet wat er mee aan te vangen en gooiden het vaak gewoon weg. Platina heeft immers, net als de andere leden van de platinagroep, een veel hoger smeltpunt dan goud en zilver. Het smeltpunt van platina is 1.768 graden en dat van palladium 1.555 graden. Osmium smelt pas bij 3.033 graden, ruthenium bij 2.334 graden, rodium bij 1.964 graden en iridium bij 2.446 graden. Goud smelt reeds op 1.064 graden en zilver op 962 graden. De vereiste technologie om op een gecontroleerde manier de extreme hitte op te wekken voor het smelten van de platinagroep was nog niet beschikbaar. Dus zelfs mocht de platinagroep even vroeg ontdekt zijn als goud en zilver, dan was het hoge smeltpunt een onoverkomelijk probleem geweest. Osmium, weliswaar het meest corrosiebestendige metaal ter wereld, wat wil zeggen dat het niet reageert wanneer het in contact komt met water of zuurstof, en het element met de hoogste natuurlijke dichtheid komt sowieso niet in aanmerking. In aanwezigheid van zuurstof gaat osmium over op het uiterst giftige osmiumtetraoxide, dat zelfs bij lage temperaturen een enorme stank verspreidt. Ook iridium valt af omdat het moeilijk te bewerken is: het is hard en breekbaar. Ook de andere meest schaarse elementen kwamen en komen niet in aanmerking als betaalmiddel omdat ze schrikwekkende of onpraktische eigenschappen hebben. Sommigen zijn radioactief, vloeibaar of gasvormig of hebben de kwalijke gewoonte te ontploffen wanneer ze in aanraking komen met lucht of water. Sommige zijn zo extreem schaars dat we er nooit voldoende grote hoeveelheden munten van zouden kunnen slaan. En bismut (Bi, atoomnummer 83) is gewoon lelijk. Goud en zilver (alsook platina en palladium) hebben geen van deze

nefaste eigenschappen. Een laatste reden waarom goud en zilver het gehaald hebben is dat ze, in tegenstelling tot de andere meest schaarse elementen, worden gedolven op alle continenten. Dit geeft goud en zilver een globaal karakter.⁸

Niets in die prijscategorie

Goud en zilver hebben het gehaald als betaalmiddel, maar waarom zijn goud, platina en palladium dan zoveel duurder dan zilver? Een deel van de verklaring is de relatieve schaarste. Goud is negentien keer schaarser dan zilver, platina vijftien keer en palladium vijf keer. Een ander deel van de verklaring ligt opnieuw in de chemische eigenschappen. Zilver is immers, in tegenstelling tot goud en de platinagroep, geen 'edelmetaal'. Dit werd me ooit pijnlijk duidelijk gemaakt door een juwelierster die, toen ik haar om een zilveren juweel vroeg voor mevrouw, me beleefd – of was het cynisch – antwoordde dat “ze niets in die prijscategorie hadden”. Om de naam edelmetaal te mogen dragen mag een metaal niet of zeer weinig onderhevig zijn aan corrosie. Zilver verweert en slaat zwart uit na verloop van tijd. Zilver is een halfedelmetaal, samen met kwik (Hg, atoomnummer 80) en koper (Cu, atoomnummer 29). Puristen kunnen noteren dat palladium kan verkleuren bij temperaturen boven de vierhonderd graden, wat het minder geschikt maakt voor de productie van juwelen. Hoe meer een metaal onderhevig is aan corrosie, des te minder edel het is.⁹ Edelmetalen zijn chemisch inert. Ze verliezen daarom nooit hun glans en het maakt ze oneindig duurzaam. Ze symboliseren daarmee het onsterfelijke, het goddelijke. De combinatie van hun unieke esthetische en chemische eigenschappen geeft hun de X-factor die een onweerstaanbare aantrekkingskracht op ons uitoefent.



Goud heeft zijn erestatus dus niet toevallig gekregen.

⁸ Sosnowski, Walt, 1 oktober 2015, *The Science of Gold & Precious Metals*, www.goldmoney.com.

⁹ De 'spanningsreeks der metalen' rangschikt de metalen op basis van hun weerstand aan corrosie. Wie de reeks deels (in oplopende volgorde) wil memoriseren, kan volgende ezelsbrug gebruiken: **K**leine **C**atharina **N**atalia **M**ag **A**lleen op **Z**on- en **F**eestdagen **N**iet **S**noepen. **P**robeer **H**aar te **C**ussen **A**gter de **H**aag waar **P**iet **K**Auwgum eet (K-Ca-Na-Mg-Al-Zn-Fe-Ni-Sn-Pb-H-Cu-Ag-Hg-Pt-Au of kalium, calcium, natrium, magnesium, aluminium, zink, ijzer, nikkel, tin, lood, waterstof, koper, zilver, kwik, platina, goud).