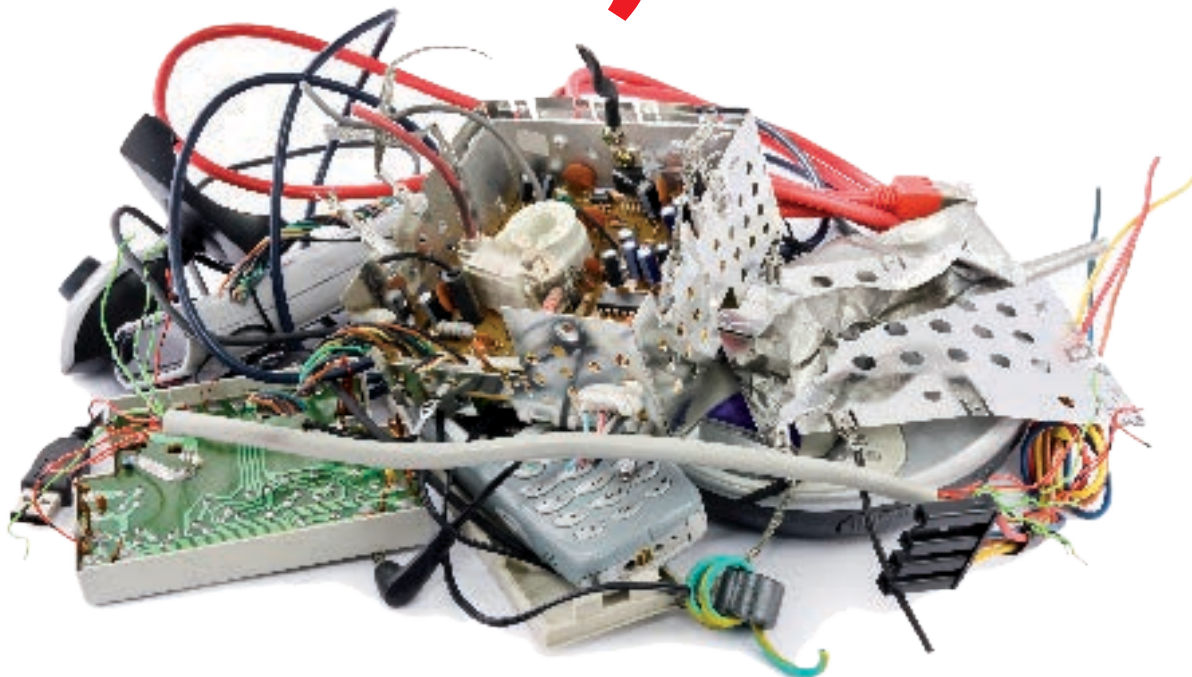


STADSMIJNBOUW



De lijst met 'kritieke' en daarmee waardevolle metalen groeit gestaag. Geavanceerde chemische methodes en bacteriën helpen om de **terugwinning** van die metalen uit ons elektronisch afval efficiënter te maken.

PUCK MOLL

De smartphone is een goudmijn. Een gemiddeld exemplaar heeft zo'n 30 mg goud, 300 mg zilver, 60 tot 250 mg zeldzame aarden, 11 mg palladium en 50 mg neodymium aan boord. En in een ton printplaten zit 200 g goud, ongeveer veertig keer zoveel als in een ton erts. Als je bedenkt hoeveel mobieltjes er wereldwijd jaarlijks op de schroothoop belanden, dan gaat het dus om serieuze hoeveelheden kostbare metalen. In veel gevallen zijn dit kritieke metalen, die deel uitmaken van een EU-lijst van veertien voor Europa kritieke grondstoffen (zie kader) uit 2010. Europa beschikt zelf nauwelijks over voorraden en kritieke metalen vinden op steeds grotere schaal toepassing in printplaten, magneten, windmolens en lcd-schermen. Ook de toekomst van de elektronische auto hangt ervanaf: in de motor van de Toyota Prius bijvoorbeeld is 1 kg neodymium verwerkt.

Urban mining, 'stadslandbouw', oftewel het terugwinnen van kritieke metalen uit elektronica-afval, is een methode om de toekomstige schaarste tegen te gaan.

Umicore is wereldleider op dit gebied, en herwint goud, zilver, platina en aanverwante metalen uit zogenoemd *e-scrap*. Het bedrijf gebruikt daarvoor pyro- ('smelten') en hydrometallurgische (extractie in een zuur of basisch milieu) methodes, afkomstig uit de klassieke mijnbouw. Milieunadelen van die processen en de steeds complexere samenstelling van de elektronica vragen echter om

'In de motor van de Toyota Prius zit 1 kg neodymium'

onderzoek naar meer geavanceerde manieren. Recyclers krijgen namelijk al snel te maken met een delicate cocktail van meer dan zestig materialen, waaronder kunststof, glas, een grote diversiteit aan metalen en lage concentraties zeldzame aarden en waardevolle metalen.

IONISCHE VLOEISTOF

Koen Binnemans van de KU Leuven ontwikkelde een methode om het zeldza-

me aardmetaal neodymium terug te winnen uit neodymium-ijzer-boormagneten (NdFeB). Die maken vanwege hun sterke magnetische kracht miniaturisatie van elektronica mogelijk, en nemen zo 98 procent van de zeldzame aardmagnetenmarkt voor hun rekening. Een derde van hun gewicht bestaat uit neodymium. Met klassieke mijnbouwprocessen winnen recyclers 1 procent van de zeldzame aardmetalen terug. De pyrometallurgie is volgens Binnemans niet alleen energieintensief (de magneten worden verhit tot boven de 1.000 °C), maar ze werkt ook niet op gedeeltelijk geoxideerde magneten.

Daarom werkt Binnemans met vloeistofvloeistofextractie, waarbij hij het organische oplosmiddel vervangt door ionische vloeistoffen, zouten die bij kamertemperatuur vloeibaar zijn. De hoogleraar anorganische chemie vertelt: "In plaats van magneten op te lossen in zuur, verhitten wij ze op enkele honderden graden in lucht. Daarbij gaan de metalen over van hun metallische naar hun oxidische vorm. Vervolgens kiezen we de ionische vloeistof en de reactieomstandigheden zo dat we de zeldzame aarden scheiden, en het ijzer in de vorm van roest achterhouden."

Binnemans gebruikt onder meer trihexyl(tetradecyl)fosfoniumnitraat. “De ionische vloeistof moet afdoende hydrofoob zijn, zodat die niet mengt met de waterfase, en tegelijkertijd moet het metaalcomplex er voldoende in oplossen”, vertelt hij. De waterfase met daarin de ‘opgeloste magneet’ meng je met de ionische vloeistof, vervolgens schud je het mengsel en daarna wacht je tot de twee fases weer van elkaar scheiden. De zeldzame aarden ‘kiezen’ daarbij voor de fase waarvoor zij de hoogste affiniteit hebben, in dit geval een nitraathoudende ionische vloeistof.

Omdat extractieprocessen met ionische vloeistoffen vaak selectiever zijn voor bepaalde metalen dan die met organische oplosmiddelen, zijn er minder extractiestappen nodig om zuivere zeldzame aarden te verkrijgen. Dit resulteert in kleinere scheidingsinstallaties en lager chemicaliëngebruik. De methode is ook veiliger en milieuvriendelijker, omdat ionische vloeistoffen niet vluchtig of licht ontvlambaar zijn.

BIOLEACHING

In de biometallurgie helpen bacteriën om de lage concentraties metalen uit afvalstromen terug te winnen. Zo wordt een kwart van al het koper uit mijnen gewonnen met *bioleaching*. Microbioloog Nico Boon van Universiteit Gent zet *Shewanella oneidensis* in om er kostbare palladium nanokatalysatordeeltjes mee

terug te produceren. Uitgangspunt is het metaalzout, dat de bacterie in aanwezigheid van een elektronendonor (waterstofgas of mierenzuur) reduceren tot het metaal ($\text{Pd(II)} \rightarrow \text{Pd(0)}$). Hierbij slaat het palladium neer op de celwand van de bacterie.

‘*Shewanella oneidensis* leent zich voor de winning van goud’

Omdat de metaalzouten erg duur zijn, is Boon geïnteresseerd in de winning van palladium uit e-scrap, zoals printplaten. “Wij hebben als labo een aantal projectvoorstellen ingediend voor urban mining, maar meer kan ik daarover niet vertellen.” Zeldzame aardmetalen recycleren met biometallurgie is nog lastig volgens hem, vanwege hun stabiliteit ten opzichte van redoxtransformaties. Maar *Shewanella oneidensis* leent zich volgens Boon wel prima voor de winning van goud en zilver uit e-crap.

Ook onderzoekers van het Duitse Fraunhofer-Instituut hebben hun hoop gevestigd op een driestapsmethode met bioleaching om metalen terug te winnen uit e-scrap. In de eerste stap zetten bacteriën de onoplosbare metallische elementen om in wateroplosbare metaalzouten. Vervolgens gebruiken de onderzoekers gefunctionaliseerde polymeren om de metalen, bijvoorbeeld zilver en neodymium, selectief te binden. Ten slotte passen

KRITIEKE GRONDSTOFFEN

Antimoon, beryllium, kobalt, fluoriet, gallium, germanium, grafiet, indium, magnesium, niobium, tantaal, wolfram, platinagroepmetalen (palladium, platina, rhodium, iridium, ruthenium en osmium) en zeldzame aardmetalen (zeventien metalen waarvan er vijf daadwerkelijk schaars zijn: neodymium, yttrium, dysprosium, terbium en europium).

ze voor de scheiding elektroforese en elektrodepositie toe met ionische vloeistoffen.

Boon vindt het een inspirerend voorbeeld. De vraag is wel of de bacteriën uit de traditionele mijnbouw zich hiervoor lenen. Op het gebruik van polymeren heeft hij geen zicht. “Zelf zou ik in de tweede stap bacteriën zoals *Shewanella* gebruiken om de metalen neer te slaan.”

IMPULS

Enkel recycling zal het schaarstevraagstuk overigens niet oplossen. Het Duitse Öko-Instituut berekende dat die methode de vraag voor 10 tot 20 procent kan dekken. Binnemans: “Daarbij moet je bedenken dat het neodymium in windmolens pas over 10 tot 20 jaar beschikbaar komt.” Als het aan hem ligt, zegt Europa ja tegen het voorstel voor een Europees Kennis- en Innovatiecentrum (KIC) Raw materials. Dat centrum zal een impuls moeten geven aan nieuw onderzoek en ervoor moeten zorgen dat de ontwikkelde technologieën ook daadwerkelijk op de markt komen. |

INDIUM UIT LCD-SCHERMEN

In Nederland werkt de groep van Peter Rem (TU Delft) binnen het Europese onderzoeksproject Recyval Nano aan de herwinning van indium uit LCD-schermen. Het Nederlandse afvalscheidingsbedrijf Coolrec doet daarbij de voorbereiding. Postdoc Anna Grzech vertelt: “Indiumtinoxide doet dienst als elektrodemateriaal, en is verwerkt in het glas. Wij concentreren ITO-bevattend glas uit de fijne glas/plastic-fractie met *magnetic density separation*. Die glasfractie sturen wij naar de Chalmers University of Technology in Zweden.” Haar Zweedse collega’s zetten vervolgens leaching (met H_2SO_4), vloeistof-extractie (DEHPA (di(2-ethylhexyl) fosforzuur) verdund in kerosine) en back-extraction (HCl) in om het indium terug te winnen.



Shewanella oneidensis.