



**WI**

*Wetenschappelijk  
Instituut*

*Cruciale delfstoffen raken op  
Er moeten delvingsquota komen*

Theo Henckens

Publicatie van het Wetenschappelijk Instituut voor het CDA.

Het Wetenschappelijk Instituut heeft een doel het (doen) verrichten van wetenschappelijke arbeid ten behoeve van het CDA op basis van de grondslag van het CDA en in aansluiting op het Program van Uitgangspunten. Het Wetenschappelijk Instituut geeft gedocumenteerde adviezen over hoofdlijnen van het beleid, hetzij op eigen initiatief, hetzij op verzoek vanuit het CDA en/of van de leden van het CDA in vertegenwoordigende lichamen.

Theo Henckens is geboren in 1948. In 1972 studeerde hij af als chemisch technoloog aan de universiteit van Eindhoven. Vervolgens werkte hij achtereenvolgens als leraar natuur- en scheikunde (Algerije), afwatertechnoloog en projectleider milieustudies bij DHV Raadgevend Ingenieursbureau, bij de Inspectie Milieuhygiëne van het toenmalige Ministerie van Milieu, en wederom bij DHV als projectdirecteur internationale milieustudies. De laatste jaren van zijn carrière was dat in China en Vietnam. In 2011 ging hij met pensioen. In 2013 startte hij zijn promotieonderzoek.

Dit essay is gebaseerd op zijn proefschrift waarop hij op 17 oktober 2016 promoveerde bij de Universiteit Utrecht. De titel is "Managing raw materials scarcity. Safeguarding the availability of geologically scarce mineral resources for future generations". Het complete proefschrift kan worden gedownload via de link <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/339827>



Buitenom 18  
Postbus 30453  
2500 GL Den Haag  
☎ 070 3424874  
✉ [wi@cda.nl](mailto:wi@cda.nl)  
• [www.cda.nl/wi](http://www.cda.nl/wi)

Molybdeen is een mineraal dat onmisbaar is bij de productie van hoogwaardige staalsoorten. Maar over circa tachtig jaar is het winbare molybdeen op aarde op. Recycling van molybdeen vindt op dit moment niet plaats. Eind van deze eeuw zal er een tekort ontstaan, tenzij het hergebruik van molybdeen drastisch wordt opgevoerd.

De voorraad antimoon, een mineraal dat wordt gebruikt om kunststoffen hittebestendiger te maken, is zelfs binnen dertig jaar uitgeput.

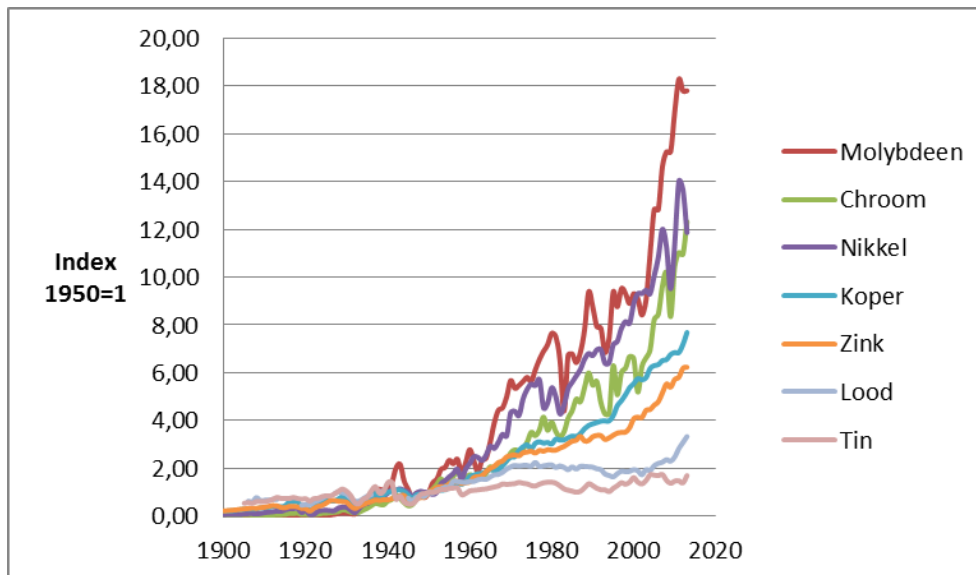
Een vijftiental belangrijke delfstoffen zijn geologisch schaars te noemen. De meest schaarse daarvan zijn - behalve antimoon en molybdeen - goud, zink en renium.

## *Club van Rome was te pessimistisch*

In 1972 presenteerde de Club van Rome het alarmerende rapport 'Grenzen van de Groei' over de uitputting van delfstoffen. Uiteindelijk bleek het mee te vallen. De hoeveelheid delfstoffen bleek groter dan deze club van wetenschappers dacht. Bovendien zijn de winningsmethoden in de loop der jaren geavanceerder geworden.

De Club van Rome ging uit van de bewezen reserves: de hoeveelheden die destijds waren aangetoond. Mijn onderzoek gaat echter uit van wat er geologisch gezien maximaal aan winbare hoeveelheden delfstoffen in de aardkorst zit. Die hoeveelheden zijn ontleend aan een onderzoek van het International Resources Panel. Dat is een internationale groep van wetenschappers die het Milieubureau van de Verenigde Naties UNEP (United Nations Environmental Programme) adviseert over grondstoffen. De UNEP-schattingen van de hoeveelheid winbare delfstoffen zijn tientallen malen hoger dan die waarvan de Club van Rome destijds is uitgegaan, dus veel optimistischer.

### PRODUCTIEONTWIKKELING VAN ZEVEN DELFSTOFFEN



## Welke delfstoffen of mineralen zijn er dan geologisch schaars?

Schaarste wordt uitgedrukt in het aantal jaren dat we nog vooruit kunnen met de winbare hoeveelheid van een delfstof in de aardkorst. Dat hangt af van het jaarlijks gebruik van een dergelijke delfstof. Op basis van de verhouding tussen de winbare voorraad en het (geanticiperde) jaarlijks gebruik voor 65 minerale delfstoffen heb ik berekend hoelang we nog met de voorraad toekunnen. Zie de tabel hieronder. Voor wat betreft het jaarlijks gebruik van minerale delfstoffen ben ik uitgegaan van een voortgang van de groei van de gedolven hoeveelheden met 3 procent per jaar tot 2050, waarna de productie wordt verondersteld stabiel te blijven. De afgelopen eeuw lag de gemiddelde stijging van de jaarlijks gewonnen hoeveelheid delfstoffen tussen de 3 en 4 procent. Dat is zichtbaar in de grafiek hierboven.

De vijf meest schaarse minerale delfstoffen zijn in volgorde van schaarste: antimoon, goud, zink, molybdeen en renium. Die zijn tussen 30 en 100 jaar vanaf nu uitgeput.

### TOP TIEN SCHAARSE DELFSTOFFEN

	Voorraad winbare delfstoffen	Belangrijkste toepassing
Antimoon	30 jaar	Vlamvertrager
Goud	40 jaar	Elektronica
Zink	80 jaar	Bescherm laag tegen roesten
Molybdeen	80 jaar	Hoogwaardig staal
Renium	100 jaar	Hoogwaardige legeringen
Koper	200 jaar	Elektriciteit
Chroom	200 jaar	Roestvrij staal
Bismut	200 jaar	Geneesmiddelen en cosmetica
Borium	200 jaar	Glaswol
Tin	300 jaar	Blikjes, brons

## Wat is een duurzame delvingsgraad?

In mijn proefschrift heb ik een duurzame delvingsgraad als volgt gedefinieerd:

*De winning van een delfstof is duurzaam als een wereldbevolking van negen miljard mensen gedurende duizend jaar van die delfstof kan worden voorzien, aannemende dat het gemiddeld gebruik per wereldburger gelijkelijk over de landen van de wereld is verdeeld.*

Eigenlijk is het begrip duurzaam alleen van toepassing op een activiteit, die voor altijd kan doorgaan. Voor wat betreft minerale delfstoffen zie ik duizend jaar als een redelijke benadering. Dat is natuurlijk arbitrair. Maar 100 jaar vind ik te kort. Dan zouden we accepteren dat onze kleinkinderen al geconfronteerd zouden worden met uitgeputte ertsen.

Een gevoeligheidsanalyse laat zien dat, als we uit zouden gaan van een uitputtingsperiode van 200 jaar, in plaats van 1000 jaar en als we bovendien een tweemaal hogere hoeveelheid delfstoffen zouden veronderstellen, dan we hebben aangenomen, het gebruik van de vijf stoffen antimoon, goud, zink, molybdeen en rhenium in geïndustrialiseerde landen nog steeds aanzienlijk omlaag zou moeten om voldoende van die delfstoffen te behouden voor toekomstige generaties, ook die van landen, die thans arm zijn.

Bovendien zitten er op het gebied van milieu en energie grenzen aan het steeds maar dieper en verder naar mineralen zoeken in steeds lagere concentraties.

Als we de voorraden van schaarse delfstoffen in de tabel hierboven allemaal willen oprekken tot 1000 jaar, dan kun je berekenen dat de delving van antimoon met 96 procent moet worden verminderd, die van zink met 82 procent, die van molybdeen met 81 procent, die van koper met 63 procent, die van chroom met 57 procent en die van borium met 44 procent.

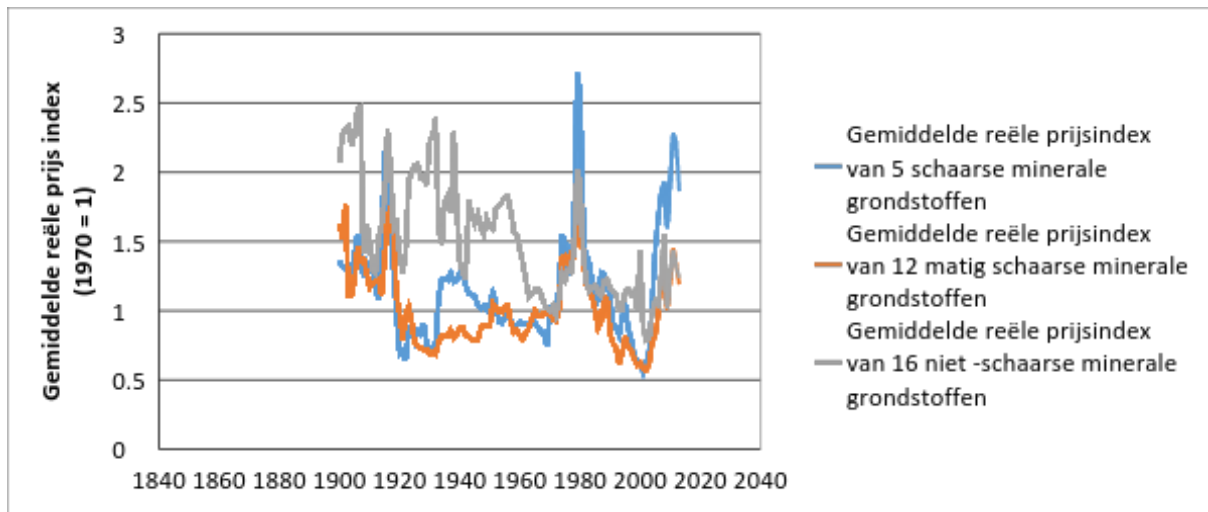
Dat zijn hoge percentages. De vraag is of dat technisch wel realiseerbaar. Een andere vraag is of het prijsmechanisme er niet voor zal zorgen dat de winning van schaarse delfstoffen tijdig terug loopt vanwege de prijsstijging als gevolg van geologische schaarste.

## Prijsmechanisme werkt niet

Je zou veronderstellen dat het algemene prijsmechanisme zou werken: hoe schaarser een delfstof wordt des te sneller de prijs stijgt. Van de delfstoffen waarvan nog maar weinig aanwezig is, zou je verwachten dat de prijs veel sneller stijgt dan die van overvloedig aanwezige delfstoffen.

Maar dat prijsmechanisme werkt niet. Uit mijn onderzoek blijkt dat er tot dusver geen relatie is tussen de geologische schaarste van een delfstof en de prijsontwikkeling. Zie de figuur hier beneden. De verklaring voor dit fenomeen is misschien dat bijvoorbeeld op de London Metal Exchange hoogstens tien jaar vooruit wordt gekeken. Mijnbouwbedrijven kijken maximaal zo'n dertig jaar vooruit. Maar om schaarse delfstoffen voor latere generaties te kunnen behouden zal er langer vooruit moeten worden gekeken dan tien of dertig jaar.

### ONTWIKKELING VAN DE REËLE PRIJZEN VAN SCHAARSE EN NIET-SCHAARSE MINERALE DELFSTOFFEN IN DE VERENIGDE STATEN



- Schaarse delfstoffen: antimoon, zink, goud, molybdeen, renium.
- Matig schaarse delfstoffen: tin, chroom, koper, lood, borium, arseen, ijzer, nikkel, zilver, cadmium, wolfram, bismut.
- Niet-schaarse delfstoffen: aluminium, magnesium, mangaan, kobalt, barium, platinagroep-metalen, kwik, seleen, vanadium, strontium, beryllium, gallium, germanium, lithium, niobium, tantalium.

Uiteindelijk zal er voor de meest schaarse delfstoffen wel een structurele prijsstijging komen, maar misschien pas als de delfstof nagenoeg is uitgeput en er niet veel meer over is voor toekomstige generaties.

## Technologische mogelijkheden worden niet benut

Zijn mijn conclusies niet te somber? Als de nood aan de man komt zal er vanzelf meer gerecycled worden of zal de efficiëntie in het gebruik van delfstoffen toenemen, is vaak de redenering. Er kunnen alternatieve materialen worden ontwikkeld die dezelfde eigenschappen hebben als de schaarse delfstoffen. Recycling kan beter. De innovatie schrijdt voort.

Een delfstof als zink wordt nu al voor dertig tot vijftig procent gerecycled. Maar dat percentage groeit amper, hoewel dat technisch gezien al goed mogelijk is. En bij molybdeen is de terugwinning nagenoeg

nul procent. Terugwinning van schaarse delfstoffen uit producten in het afvalstadium neemt niet toe zolang die delfstoffen niet duurder worden. Hoe bereik je dat de technologische mogelijkheden voor recycling en vervanging ook feitelijk worden benut, als er onvoldoende financiële druk vanuit de markt is? Mijn conclusie is dat er internationale afspraken nodig zijn om de winning van schaarse delfstoffen stapsgewijs te beperken. De schaarste wordt zo kunstmatig opgevoerd – feitelijk wordt uitputting gesimuleerd - zodat de markt vervolgens zijn werk kan doen.

## *Wat gaan we missen?*

De huidige generatie gaat niets missen. De volgende generaties zullen geleidelijk geconfronteerd worden met uitputting van de meest schaarse minerale delfstoffen. Als we dat willen voorkomen, moeten we ervoor zorgen dat we een flink stuk zuiniger met deze delfstoffen omspringen: bijvoorbeeld 96 procent minder antimoon, 82 procent minder zink, 81 procent minder molybdeen en 44 procent minder borium. In mijn onderzoek heb ik voor deze vier stoffen aangetoond dat deze reductiepercentages haalbaar zijn, gebruik makend van huidige technologie.

Voor wat betreft antimoon en borium ligt daarbij het accent op vervanging, bij molybdeen op recycling en bij zink op een mix van vervanging en recycling. Dat heb ik in de bijlage nader uitgewerkt. Ik weet niet of ook voor andere delfstoffen vermindering van de delving tot een duurzaam niveau technisch uitvoerbaar is. Daarvoor is nader onderzoek nodig.

## *Wat moet er gebeuren?*

In analogie met het vorig jaar in Parijs gesloten internationaal klimaatakkoord moet er een delfstoffenakkoord komen. Daarin moeten afspraken worden gemaakt over duurzame winning van schaarse delfstoffen en moet het legitieme recht van toekomstige generaties op een eerlijk deel van deze delfstoffen zeker worden gesteld. Dat betekent dat er internationale afspraken moeten komen om het delven van geologisch schaarse delfstoffen te verminderen. Feitelijk is dit de concrete invulling van de duurzaamheidsprincipes die al lang eerder op wereldniveau zijn afgesproken met betrekking tot de winning van niet-vernieuwbare delfstoffen.

Delfstof-exporterende landen zullen hier niet vanzelf aan willen meewerken. Deze landen willen de inkomsten uit de delfstoffen natuurlijk behouden. Daarom moeten ze worden gecompenseerd voor het inkomensverlies. Ik stel voor om een systeem in te voeren waarbij een jaarlijks delvingsquotum wordt vastgesteld om te beginnen voor de meest schaarse mineralen. De exporterende landen worden financieel gecompenseerd. Het compensatiesysteem moet zodanig zijn dat het inkomen van de delfstoffenlanden niet achteruit gaat in vergelijking met de situatie zonder delfstoffenakkoord. In ruil zullen de gebruikerslanden mede-eigenaar worden van de delfstoffen, die niet worden gewonnen, maar in de grond blijven. Het systeem moet zodanig worden ingericht dat arme gebruikerslanden worden ontzien. Zij hebben de geologische schaarste immers niet in de eerste plaats veroorzaakt.

Een internationaal toezichthoudend orgaan moet worden opgericht voor inspectie, monitoring, evaluatie en onderzoek.

Een internationaal delfstoffenakkoord zal alleen effectief zijn als dat wereldwijd is en door veel landen wordt ondersteund. Dat zal geen sinecure zijn en kan misschien lange tijd in beslag nemen. Vooruitlopend daarop kunnen overheden, bedrijfsleven en burgers maatregelen nemen om het gebruik van schaarse delfstoffen te beperken.

## Wat kunnen we nu al doen?

### *Uitbanning*

Het gebruik van schaarse minerale delfstoffen kan voor sommige toepassingen verhoudingsgewijze gemakkelijk worden afgebouwd of aanzienlijk worden verminderd, zonder dat dit tot grote problemen leidt. Voorbeelden zijn:

- Vervanging van brandvertragers met antimoon door brandvertragers zonder antimoon. Dit leidt tot circa 50 procent minder antimoon gebruik.
- Vervanging van antimoon houdende accu's door antimoon vrije accu's. Dit betreft circa 25 procent van het huidige antimoongebruik.
- Vervanging van glaswol door steenwol of een ander isolatieproduct. Dit betreft ongeveer 40 procent van het huidige gebruik van borium.

### *Accijnzen*

Het heffen van belasting op het gebruik van schaarse delfstoffen heeft als effect dat de schaarse delfstof kunstmatig duurder wordt gemaakt. Behalve dat dit op zichzelf leidt tot het zoeken naar goedkopere alternatieven, zal het ook aantrekkelijker worden om de delfstof terug te winnen uit producten in het afvalstadium. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op minerale delfstoffen, die op zichzelf betrekkelijk eenvoudig terug te winnen zijn, zoals zink, maar waarvan recycling nog niet loont, omdat primair zink, dat rechtstreeks uit zinkhoudend erts wordt gewonnen, goedkoper is. Bij een belasting op primair zink zal het financieel aantrekkelijker worden om zink terug te winnen uit de smeltovens voor oud ijzer en afvalstaal.

### *Duurzaam ontwerpen*

Ondernemers kunnen als beleid invoeren om bij het ontwerp van producten rekening houden met de geologische schaarste van de delfstoffen. De toepassing van molybdeen in staal is moeilijk vervangbaar. Dan is het dus belangrijk dat molybdeen zo kwantitatief mogelijk wordt teruggewonnen uit producten aan het einde van hun leven. Dat kan door producten te ontwerpen op een zodanige manier dat de onderdelen met molybdeen gemakkelijker apart gehouden kunnen worden, als het product aan het einde van zijn leven is. Producten kunnen vervolgens selectief worden ontmanteld, eventueel voorafgegaan door een zodanige sortering van schroot, dat molybdeen houdende onderdelen worden afgescheiden van de rest. Dat kan bijvoorbeeld door elektronische labeling.

### *Duurzaam inkopen*

De overheid, het bedrijfsleven en ook burgers kunnen duurzaam inkopen. Dat betekent niet alleen dat ze rekening houden met de milieuaspecten van de productie en met de wijze van afvoer en verwerking van het product in het afvalstadium, maar ook met de geologische schaarste van delfstoffen. Net zoals voor energie zouden producten een label kunnen krijgen met betrekking tot delfstoffengebruik. Zo kunnen burgers en andere inkopers kiezen voor een alternatief waarin minder geologisch schaarse delfstoffen zijn verwerkt.

## Conclusies

Er is maar een beperkt aantal delfstoffen dat geologisch echt schaars is. Voor die delfstoffen moeten we snel toe naar een systeem van duurzame delving. Dat kan het beste door middel van internationale afspraken over quotering van de delving. Op die manier helpen we de markt om vervanging en recycling van schaarse delfstoffen lonender te maken en aldus zuinig om te gaan met schaarse delfstoffen. Vooruitlopend op wereldwijde afspraken, pleit ik ervoor om in nationaal of EU-verband afspraken te maken over:

- De uitbanning van bepaalde toepassingen van schaarse delfstoffen
- Accijnsheffing op schaarse delfstoffen
- Duurzaam ontwerpen van producten met schaarse delfstoffen

- Duurzaam inkopen, zodat producten met schaarse delfstoffen zoveel als mogelijk worden vermeden.

#### Zeldzame aardmetalen

Schaarse delfstoffen moeten niet worden verward met de zeldzame aardmetalen die vooral in China worden gewonnen. Bij zeldzame aardmetalen gaat het om zeventien scheikundige elementen met exotische namen als praseodymium, dysprosium en lanthanium. De naamgeving “zeldzame aardmetalen” dateert van het begin van de negentiende eeuw. Zeldzame aardmetalen zijn geologisch gezien niet schaars, als je de winbare voorraad vergelijkt met het huidige jaarlijks gebruik. Dat zou in de toekomst natuurlijk kunnen veranderen.

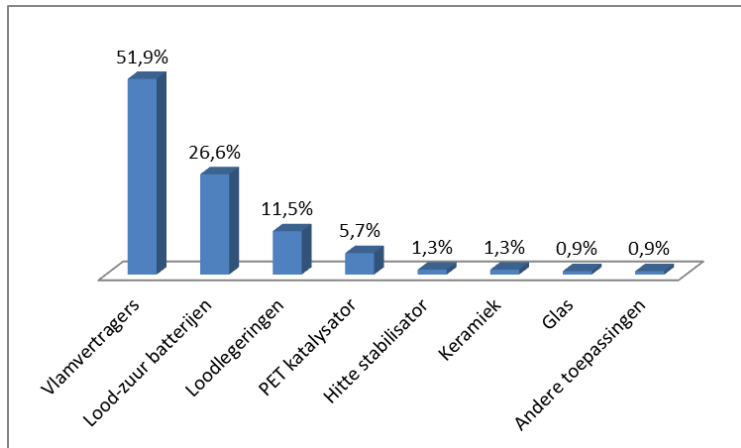


## Bijlage Vier delfstoffen nader bekeken

### Antimoon

Uit een oogpunt van duurzaamheid moet de winning van antimoon met 96 procent worden verminderd. De belangrijkste toepassingsgebieden van antimoon zijn aangegeven in de figuur.

#### ANTIMOONTOEPASSINGEN IN 2010

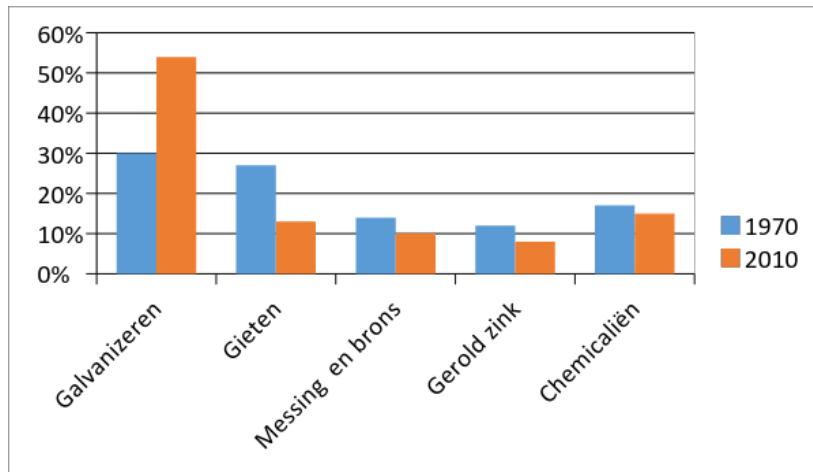


Voor wat betreft de vervangbaarheid van antimoon in vlamvertragers heb ik een aantal experts op dit gebied geraadpleegd. Zij gaven als hun mening dat het mogelijk is om binnen een periode van 10 jaar het antimoon gebruik in vlamvertragers met 95 procent te verminderen door vervanging van de antimoon-bevattende vlamvertragers door andere vlamvertragers. Antimoon bevattende accu's kunnen helemaal worden vervangen door antimoon-vrije accu's. Ook in zijn andere toepassingen kan antimoon gedeeltelijk worden vervangen. Alles bij elkaar genomen kan antimoon zo voor 90 procent worden vervangen in zijn huidige toepassingen. Samen met een verbetering van de efficiency van het gebruik van antimoon en terugwinning van antimoon uit de resterende toepassingen in vlamvertragers is het mogelijk om het totale verbruik van primair antimoon met 96 % terug te dringen.

## Zink

De winning van zink uit maagdelijke ertsen moet worden verminderd met 82 procent om deze duurzaam te kunnen noemen. De belangrijkste toepassingen van zink zijn aangegeven in de figuur.

### BELANGRIJKSTE EINDTOEPASSINGEN VAN ZINK



In principe is zink in veel van zijn toepassingen gedeeltelijk vervangbaar door andere producten, hoewel dit kosten met zich meebrengt en soms verlies van prestatie. Gegalvaniseerd staal kan worden vervangen door aluminium, roestvrij staal of kunststof. Galvaniseren betekent dat een voorwerp wordt voorzien van een zinklaagje met als doel om roestvorming te voorkomen. Zinken gietstukken kunnen voor een deel worden vervangen door aluminium en kunststof. Brons en messing kunnen eveneens voor een deel van de toepassingen worden vervangen door aluminium of kunststof. Dit geldt ook voor gerold zink, bijvoorbeeld in de toepassing als dakgoot. In sommige producten kan zink echter niet worden vervangen, zoals in de toepassing als additief in varkensvoer.

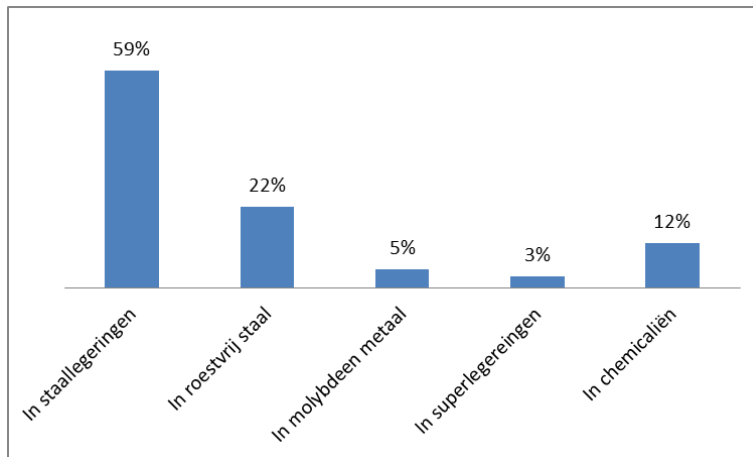
De recycling van zink kan sterk worden opgevoerd. Dat gebeurt nu om economische redenen nog niet veel. Primair zink is lager in prijs dan secundair zink dat op deze wijze wordt teruggewonnen. Primair zink is zink dat rechtstreeks uit zinkhoudend erts wordt gewonnen. Secundair zink is zink dat wordt gewonnen via terugwinning van zink uit zink-bevattende producten in het afvalstadium. De vereiste 82 procent reductie van de winning van zink kan nagenoeg worden bereikt met een combinatie van:

- 50 procent vervanging van zink,
- 80 procent terugwinning van zink uit gegalvaniseerd staal en brons & messing, in plaats van respectievelijk 30 procent en 0 procent op dit moment
- 90 procent vermindering van de afspoeling van zink met regenwater vanaf gegalvaniseerde producten
- 10 procent verbetering van de gebruiksefficiëntie van zink.

## Molybdeen

De winning van primair molybdeen moet worden verminderd met 81 procent om duurzaam te worden genoemd. De toepassingen van molybdeen staan in de figuur.

### MOLYBDEENTOEPASSINGEN IN 2012



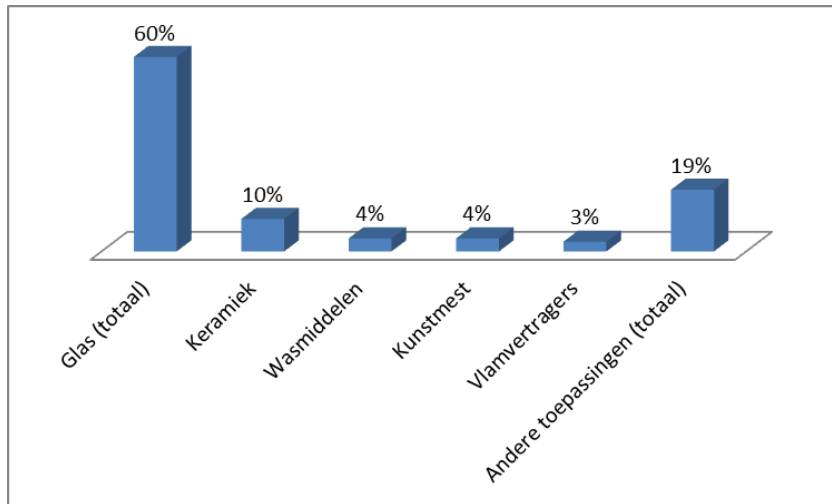
Op basis van de recycling efficiency van molybdeen in de Verenigde Staten, schatten we de huidige mondiale recycling van molybdeen in op 20 procent. Dit lage percentage komt omdat molybdeen bevattende producten veelal niet worden gerecycled om molybdeen terug te winnen, maar om ijzer terug te winnen. Het molybdeen komt op die manier voor het grootste deel terecht in laagwaardiger staal producten (*“down cycling”*).

De toepassingen van molybdeen zijn zo specifiek zijn dat de vervanging van molybdeen door andere delfstoffen vooralsnog moeilijk lijkt. Daarom zal de gewenste reductie van de winning van molybdeen in zijn geheel moeten worden gerealiseerd door verbetering van de materiaal efficiency en door terugwinning. Dat betekent een verhoging van de terugwinning van molybdeen uit molybdeen houdende producten in het afvalstadium van circa 20 procent op dit moment naar in de orde van 90 procent in de toekomst. Dit is een grote sprong, die vraagt om vergaande maatregelen, zoals aangepast ontwerp, selectieve ontmanteling en betere schrootsortering. Dit is allemaal niet onmogelijk voor wat betreft molybdeen, maar zal toch wel een aanzienlijke inspanning en focus vragen.

### Borium

De winning van borium per wereldburger moet worden vermindert met 44 procent ten opzichte van de winning in 2010. De huidige toepassingen van borium zijn vermeld in Tabel 4.

#### OVERZICHT VAN BORIUMTOEPASSINGEN



De conclusie is dat ongeveer 60 procent van het borium wordt toegepast in glasproducten, waarvan 2/3 in glaswol. Dit feit maakt de vermindering van het gebruik van borium relatief gemakkelijk, omdat glaswol kan worden vervangen door steenwol of kunststof isolatieproducten. Verbetering van materiaal efficiëntie en betere recycling van borium zorgen voor een totaal reductiepotentieel voor borium van 55 procent ten opzichte van het huidige gebruik van primair borium.