

Vloeistof met variabele dichtheid scheidt meerdere plastics nauwkeurig in één stap

Plastic afval scheiden met een magneet

(FOTO: REKO BV, GELEEN)

Al meer dan dertig jaar wordt fundamenteel onderzoek gedaan aan magnetische vloeistoffen. In de loop der jaren zijn ook praktische toepassingen in beeld gekomen, want op basis van magnetische vloeistoffen, die zwaarder worden in een sterk magneetveld, kunnen materialen van verschillende dichtheden worden gescheiden en komen lichtere materialen bovendrijven. Maar omdat er lange tijd geen praktisch bruikbare vloeistoffen bestonden, bleef de ontwikkeling steken. Grondstoffentechnoloog dr. Peter Rem vond een nieuwe benadering, waarin de scheiding opeens praktisch bruikbaar wordt voor bijvoorbeeld de recycling van plastics en metalen, maar ook voor het zuiveren van diamanten. Bovendien worden er geen omvangrijke, energie-intensieve elektromagneten gebruikt, maar permanente magneten. Op deze vinding is een octrooi aangevraagd.

In Nederland wordt jaarlijks 15.000 ton PET-afval gerecycled. De totale afvalberg van plastics is nog veel groter en daarmee ook het probleem, want het scheiden van verschillende soorten plastic is tot nog toe commercieel onaantrekkelijk. En wanneer de zuiverheid van gescheiden plastic niet hoog genoeg is, is het product onevenredig weinig waard.

BRUNO VAN WAYENBURG

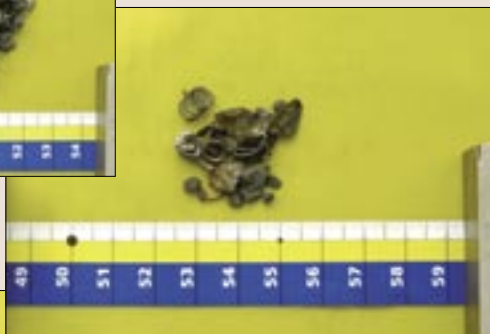


Om PET-flessen te kunnen verwerken, worden ze verschrot tot snippertjes en ontdaan van vuil en andere materialen, onder meer van doppen, etiketten en wat de consument in de flessen achterlaat.

Verontreinigingen die nu nog achterblijven in de gereinigde PET:



Aluminium, RVS en andere niet-magnetische metalen



IJzer



Steen en glas

Elektrostaatscheider voor de scheiding van PVC-deeltjes uit PET-schroot. Door het mengsel intensief te roeren worden PET- en PVC-deeltjes verschillend opgeladen. Daarna valt het mengsel tussen de twee verticale elektroden waartussen een veld staat van ca 60.000 volt. Tijdens de val worden de PET- en PVC-stromen uit elkaar getrokken.



Recycling, het hergebruik van grondstoffen als plastic, glas en metaal, heeft de laatste decennia een hoge vlucht genomen, maar veel gerecyclede grondstoffen, zoals plastics, worden niet hergebruikt in de oorspronkelijke toepassing, omdat ze daarvoor te sterk vervuild zijn.

Zo worden van de 15 duizend ton PET-flessen die jaarlijks in Nederland worden ingezameld vooral plastic bevestigingsbandjes en het synthetische textiel fleecje gemaakt. Hergebruik in nieuwe PET-flessen is lastig, omdat daarvoor een zuiverheid van 50 parts per million gehaald moet worden. Zelfs kleine verontreinigingen kunnen anders leiden tot een zwakke plek in het plastic, en lekken of exploderende flessen kunnen flessenfabrikanten zich niet veroorloven.

Verkeerspaaltjes De huidige scheidingstechnieken, op basis van het drijfvermogen in water, kunnen wel de lichtere kunststofsoorten polypropreen (PP) en polyetheen (PE) scheiden van de zwaardere soorten PET en PVC. Maar ook PP en PE samen zijn én slecht scheidbaar, én slecht chemisch combineerbaar, zodat verkeerspaaltjes vaak de hoogst bereikbare recyclingtoepassing zijn. PVC en PET samen, zoals vroeger wel voorkwam in PET-flessen met PVC-dop, zijn helemaal een ramp. De componenten zijn niet te scheiden, en PVC verbrandt bij de verwerkingstemperatuur van PET.

‘Gelukkig heeft de PET-recyclingmarkt de fabrikanten nu zover, dat ze die combinatie niet meer gebruiken’, zegt universitair hoofddocent grondstoffen-technologie dr. Peter Rem van de subfaculteit Technische Aardwetenschappen, ‘maar eigenlijk lukt het niet goed om plastics te scheiden.’

Rem en promovendus Erwin Bakker werken aan een scheidingstechnologie die wél de mogelijke zuiverheid kan leveren. Hun technologie, dichtheidscheiding met magnetische vloeistoffen, kan bovendien meerdere stoffen in één stap scheiden. Bij dergelijke vloeistoffen verandert de effectieve dichtheid onder invloed van een magnetisch veld.

Roze vloeistof Het is dat Archimedes zijn Eureka-moment in de badkuip nooit heeft gepubliceerd, anders zouden Rem en promovendus Bakker hem eigenlijk moeten citeren. In opdracht van een koning die fraude vermoedde, detecteerde de grote Griekse geleerde het precieze dichtheidsverschil tussen zilver en goud, met hulp van een weging en onderdompeling in water om het volume te bepalen. De Delftse methode is eraan verwant. ‘Let op’, zegt Rem in het laboratorium van de onderzoeksgroep in het vroegere Mijnbouwinstituut in Delft. In een bekertje transparante roze vloeistof, een mangaanchlorideoplossing, gooit hij een klompje metaal, dat meteen naar de bodem zinkt.

Maar wanneer Rem het bekertje op een speciale krachtige magnetische plaat neerzet (‘uitkijken met pennen en horloges’), stijgt het klompje op, om halverwege bodem en vloeistofoppervlak te blijven hangen.

‘Dit is eigenlijk de hele truc’, besluit Rem.

De mangaanchloride-oplossing is paramagnetisch. Dat houdt in dat de magneet de vloeistof aantrekt. Daardoor wordt de vloeistof boven de magneet effectief zwaarder, iets waar het niet-paramagnetische metaalklompje geen last van heeft. Plotseling is het daardoor lichter dan de vloeistof, en het stijgt op. Omdat het magneetveld verder van de magneet naar boven toe zwakker wordt, neemt de effectieve dichtheid snel af. Waar die overeenkomt met de dichtheid van het metaalklompje blijft het laatste hangen. Het effect zorgt dus voor een keurige ruimtelijke scheiding van deeltjes met verschillende dichtheden, ideaal om een gemengde stroom in één keer in een aantal verschillende componenten te scheiden.

Slootwater Toch is mangaanchloride-oplossing niet de vloeistof die uiteindelijk in scheidingsinstallaties zal worden gebruikt. Het dient slechts als demonstratievloeistof omdat het zo mooi helder is. Om zo’n oplossing te maken, moet er zo’n 400 kilo zout in een kubieke meter water, legt Rem uit. De oplossing heeft een dichtheid van 1400 kilo per kubieke meter. ‘Met dit magneetveld komt daar 300 kilo per kubieke meter bij’, zegt Rem. Aardig, maar niet genoeg voor een goede scheiding, en bovendien zit er wel heel veel zout in de vloeistof, dat je in een zuiveringsinstallatie na gebruik zou moeten lozen of opwerken.

De échte scheidingsvloeistof die Rem op het oog heeft, is een suspensie van ijzeroxide-deeltjes in water, een bruinzwarte ondoorzichtige vloeistof die nog het meest aan heel vies slootwater doet denken. Door hun kleine maat, zo

nanometer, is de thermische beweging van de deeltjes zelf bij kamertemperatuur al groot genoeg om ze in suspensie te houden, terwijl een coating ze beschermt tegen magnetisch samenklitten.

De deeltjes en daarmee ook de vloeistof, zijn ferromagnetisch: ieder deeltje is een klein magneetje, wat het aantrekkingseffect zeer sterk maakt. Daardoor hoeven er veel minder ijzeroxide deeltjes in het water te worden gemengd om hetzelfde effect te bereiken: maar ongeveer 10 kilogram per kubieke meter, 1 procent.

‘Bovendien is ijzeroxide goedkoop en onschadelijk’, zegt Rem, ‘je vindt het bijvoorbeeld overal in het riool.’

In de troebele vloeistof die hij op de magneetplaat neerzet, zijn door het glas nog net kleine plastic bolletjes in vier kleuren te zien. Ieder blijft zweven op hun eigen hoogte, afhankelijk van plasticsoort en dus dichtheid.

‘Dat is het hele scheidingsprincipe’, zegt Rem.

Koper, goud en andere metalen Het lijkt zo simpel dat je niet zou zeggen dat er al ruim dertig jaar onderzoek wordt gedaan naar dichtheids-scheiding met magnetische vloeistoffen, vooral voor de scheiding van metalen en metaalartsen.

Rem: ‘Maar er is altijd gezocht naar een magneetveld waarin de vloeistof een constante effectieve dichtheid heeft, net als in gewone vloeistoffen’ Dan zou de te zuiveren stof gewoon komen bovendrijven, zoals hout op water. Aangezien er geen vloeistoffen bestaan met de hoge dichtheden van koper, goud en andere metalen, zouden magnetische vloeistoffen die rol mooi kunnen overnemen, was de gedachte.

Wanneer er meer natuurkundigen in het vakgebied hadden gezeten, was misschien eerder duidelijk geworden dat dit idee - letterlijk genomen - een fysische onmogelijkheid is, denkt Rem. Voor een uniforme effectieve dichtheid is namelijk een magneetveld nodig waarvan de sterkte lineair varieert (de grafiek van het magneetveld is dan een rechte lijn). Maar volgens de Maxwell-vergelijkingen, die het gedrag van elektrische en magnetische velden beschrijven, is het onmogelijk om zo'n lineair magneetveld te creëren in een volume.

De beste benadering, een lineair oplopend veld in een plat vlak, is het veld tussen de uiteinden van een ringvormige magneet met daarin een speciaal gevormde uitsparing.

Rem: ‘Maar om daarin een magneetveld met enige omvang te krijgen heb je echt meters grote elektromagneten nodig.’

Zelf werkte Rem al een jaar of acht geleden met zo'n elektromagneet, toen hij zich realiseerde dat een continue dichtheid helemaal niet nodig was en voor een effectieve scheidingstechniek zelfs onhandig. De voorkeur was eigenlijk alleen ingegeven door het feit dat een homogene dichtheid zo mooi leek op klassieke vloeistoffen als het water in Archimedes' bad.

Gefrustreerd Anders dan bij zijn Griekse collega was er niet echt sprake van een Eureka-moment, zegt de natuurkundige, maar in 2004 zag hij in dat het ook anders kon. Rem berekende een magnetisch veld waarvan de totale waarde exponentieel afneemt met de toenemende afstand tot de magneet. Dat leidt ook tot een exponentiële daling van de trekkracht en dus ook een verandering van de effectieve dichtheid, zodat ieder materiaal zijn eigen evenwichtshoogte in de magnetische vloeistof kan kiezen. Het voordeel daarvan is dat zo een groot aantal componenten in één keer zeer precies op dichtheid te scheiden zijn.

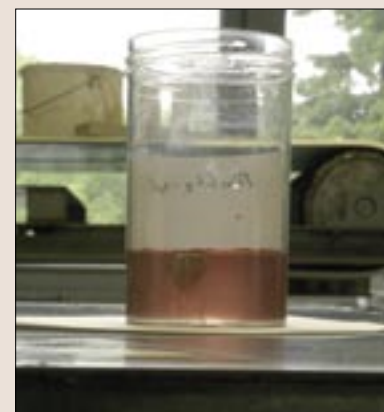
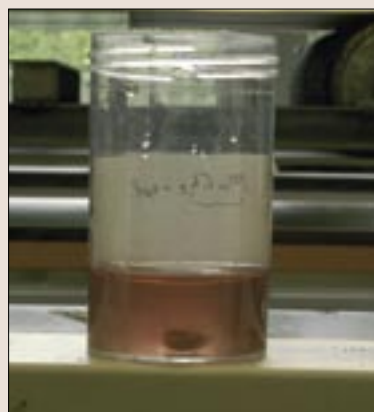
Rem berekende een geometrie van magneten die zo'n veld zou opwekken. Magnetenfabrikant Bakker Magnetics in het Brabantse Son, gespecialiseerd in het maken van complexe magneetsystemen, maakte vervolgens deze configuratie voor de onderzoeksgroep. Het maken van de experimentele magneetplaat was geen sinecure. Hoofdbestanddeel zijn extreem sterke permanente ijzer-neodymium-boormagneten.

‘Het veld vlak boven de magneten is 1 Tesla, wat voor permanente magneten behoorlijk hoog is’, zegt Rem. De magneten zijn “gefrustreerd” opgesteld, wat betekent dat ze niet in de evenwichtsconfiguratie zitten en er grote onderlinge krachten op staan. Het is dus maar goed dat er een stalen plaat boven zit, die beschermt tegen onverhoopt losschietende magneetbrokken.

De plaat schermt daarnaast ook nieuwsgierige blikken af, want de door Rem berekende magneetconfiguratie is geheim.



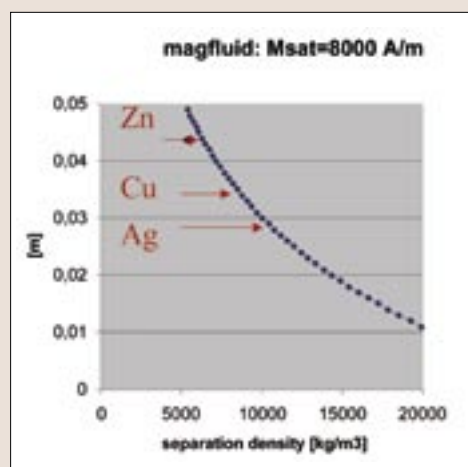
Wervelstroomscheider voor het afscheiden van aluminium uit PET-afval. Met een snel wisselend magnetisch veld worden de aluminium deeltjes uit het mengsel weggestoten.



Wanneer een brokje magnesium (dichtheid ca. 1700 kg/m³) in een mangaanchloride oplossing (dichtheid ca. 1400 kg/m³) valt, blijft het op de bodem liggen. Wordt de oplossing met het brokje op een magneet gezet, dan gaat het brokje zweven (rechts), omdat de dichtheid van de vloeistof sterk toeneemt.



Door gebruik te maken van de afnemende invloed van het magnetische veld met de hoogte in de vloeistof, blijven bolletjes van verschillende soorten plastics zweven op volgorde van hun soortelijk gewicht. De zware bolletjes onder, de lichtste bolletjes boven.



Relatie tussen het soortelijk gewicht van een materiaal en de hoogte waarop een deeltje van dat materiaal in de vloeistof zweeft.

Proefopstelling van een schuin opgestelde lopende band met een grote druppel magnetische vloeistof voor het scheiden van verschillende metalen.



De 2-liter grote druppel wordt op zijn plaats gehouden door een zware permanente magneet direct onder de band. De magneet is opgebouwd uit negen polen en weegt ongeveer 120 kilogram.



Wanneer metaal deeltjes door de lopende band in de druppel worden gebracht, zullen de lichtere deeltjes gaan zweven, de zwaardere deeltjes blijven op de band liggen.

Met een scheidingschot dat op 2 cm boven de band in de magnetische vloeistof is aangebracht, wordt de schifting tussen de liggende en zwevende deeltjes gerealiseerd. De zwaardere deeltjes bewegen onder het schot door en vallen aan het eind van de band af. De lichtere deeltjes zweven boven het schot tegen een V-vormige opstaande rand en worden hierdoor zijwaarts afgevoerd.



‘In het octrooi dat we hebben aangevraagd zeggen we iets als “iedere vakman kan eenvoudig zo’n veld maken”, maar in de praktijk valt dat tegen’, zegt de natuurkundige uitgekookt.

De onderzoekers zijn nog in gesprek met Bakker Magnetics en innovatiesubsidieverlener SenterNovem om de rechten op het octrooi in te ruilen voor onderzoeksfinanciering voor één promovendus, namelijk Erwin Bakker. Deze mijnbouwkundig ingenieur werkt sinds zijn afstuderen tijdelijk als toegevoegd onderzoeker bij de vakgroep.

Rem: ‘Als onderzoeker gaat het ons er niet om om rijk te worden, maar om dit verder te onderzoeken. En dat zou op deze manier kunnen.’

Proefopstellingen Nu moet er met dat principe alleen nog een werkende scheidingsinstallatie gebouwd worden.

Rem: ‘Het scheidingsprincipe zelf werkt eigenlijk altijd wel. Maar de kunst is om het materiaal op een nette manier effectief in de scheidder te krijgen, het precies voldoende tijd te geven om te scheiden en dan zonder de scheiding te verstoren af te voeren.’

De snelheid en de omvang van de machine en daarmee de scheidingskosten, zijn cruciaal in een industrie die tonnen moet verwerken voor enkele tientallen euro’s, liefst snel en met een zo klein mogelijke installatie.

Inmiddels zijn er twee proefopstellingen gebouwd. Eén daarvan, voor metaaldeeltjes, is een lopende band die over de magneetplaat loopt. De vloeistof (die nu pikzwart is wegens de hogere concentratie ijzeroxide deeltjes) blijft zo boven de magneetplaat stilliggen als een bizar vergrote inktdruppel, terwijl de lopende band er onderdoor beweegt en de te scheiden metaaldeeltjes aanvoert. Binnenin de vloeistof komen de verschillende metaaldeeltjes op verschillende hoogten terecht, zodat ze met horizontale scheidingsrichels uit de vloeistof gelicht kunnen worden.

‘Hiermee hebben we laten zien dat het principe werkt’, zegt Rem, ‘maar het leent zich vermoedelijk niet voor opschaling of versnelling van het proces.’

Vervuiling Erwin Bakker testte onlangs een andere configuratie, die als basis zou kunnen dienen voor een continu proces om plastics te scheiden. Hierin loopt de vloeistof over de magneet in een continue stroom, waaraan snippers gemalen plastic en vervuilingen als glas, steentjes en metaal zijn toegevoegd. De vervuilingen zakken naar de bodem, terwijl de plasticdeeltjes met de magnetische vloeistof meestromen om er later te worden uitgezeefd. De vloeistof wordt hergebruikt, de gezeefde plasticdeeltjes en de bezonken vervuiling zouden in een toekomstige versie ook met een lopende band kunnen worden afgevoerd, zodat het proces helemaal continu verloopt. ‘Dit heb ik tot wel zo’n tien minuten laten draaien, en dat werkte goed’, zegt Bakker.

De promovendus heeft een marktonderzoekje gedaan om de potentie van de techniek te kunnen schatten. Inclusief de 15 duizend ton in Nederland wordt er wereldwijd 750 duizend ton PET ingezameld, wat gezien de nu gangbare scheidingskosten van enkele tientallen euro's per ton een aardige markt oplevert.

Ook in het hergebruik van de vele verschillende plastics die in auto's gebruikt worden (8 duizend ton per jaar in Nederland, 400 duizend ton wereldwijd) zien de onderzoekers muziek.

'In een auto zitten gemiddeld zes typen kunststoffen, nog los van rubber en textiel. In alle merken samen zijn dat wel twintig soorten', stelt Rem. De dichtheidsscheiding met magnetische vloeistoffen kan de benodigde resolutie leveren om al die verschillende soorten in één zuiveringsstap te kunnen scheiden. Gebruikelijker scheidingstechnieken scheiden meestal maar één component per stap af.

Voor het zuiveren van (niet-ferromagnetisch) metaalerts of gerecycled metaal zijn de mogelijkheden vooralsnog minder gunstig. Die zijn zwaarder, dus moet je magnetische vloeistof gebruiken die sterker is geconcentreerd en die in pure vorm vrij duur is. Aangezien een klein gedeelte van de vloeistof onherroepelijk verloren gaat, worden de kosten dus meteen een stuk hoger.

Diamant Wel een mogelijke niche-toepassing is het zuiveren van diamanten. Een Zuid-Afrikaanse collega van Rem, die ook werkte voor de diamantfirma De Beers, vroeg de Delftenaren of ze ook een scheidingsmethode wisten voor de laatste stappen van hun productieproces, waarbij de diamant van gewonnen erts gescheiden wordt.

Rem: 'Daarbij spelen heel andere economische, maar ook natuurkundige overwegingen een rol dan bij plastics. Dit is een proces waarbij je 100 procent van de diamanten wilt overhouden, die meteen 100 procent zuiver moeten zijn.' Bovendien wil De Beers het proces helemaal kunnen automatiseren, omdat er wegens diefstalgevaar zo weinig mogelijk mensen in diamantfabrieken werken. Rem: 'Maar het mag natuurlijk wel wat kosten.'

De Delftse scheidingstechniek leek de goede papieren te hebben in scheidend vermogen en automatiseerbaarheid, maar toch bleef het stil toen Rem zijn collega naar een proefmonster diamanten vroeg.

'Daarna hebben we niets meer van ze gehoord', zegt hij, en lacht. 'Maar ja, we moeten toch iets hebben om mee te experimenteren.'

Luchtbelletjes De plastic- en recyclingindustrie daarentegen tonen zich geïnteresseerder. 'Een fabrikant wilde al weten hoeveel vierkante meter hij moest reserveren om deze zomer een scheider in zijn fabriek neer te zetten. Niet als proefopstelling maar om productie te draaien', zegt de natuurkundige. Maar zo werkt dat niet. Voordat een scheidingsproces gestandaardiseerd en routinematig draait, moet er nog veel gebeuren, zegt Rem.

Het stromingsgedrag van de vloeistof moet beter worden begrepen en daar wil hij de Delftse collega's van de onderzoeksgroep Fluid Dynamics van Technische Natuurwetenschappen bij betrekken.

Rem: 'De vloeistof kan niet stilstaan, want je wilt wel dat twee deeltjes die aan elkaar zitten gescheiden worden. Maar je wilt geen turbulentie die je scheiding teniet kan doen.'

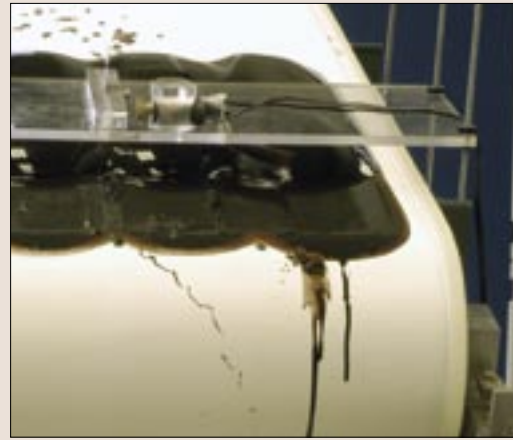
Ook luchtbelletjes, die gemakkelijk aan de platte plasticsnippers blijven hangen, zouden nog roet in het eten kunnen gooien, waartegen roeren of verhitten mogelijk helpen.

De groep is van plan om voor zoveel mogelijk toepassingen een standaard-procedure op te zetten en te documenteren wat de verliezen aan grondstof en magnetische vloeistof zijn en wat de zuiverheid van het eindproduct is.

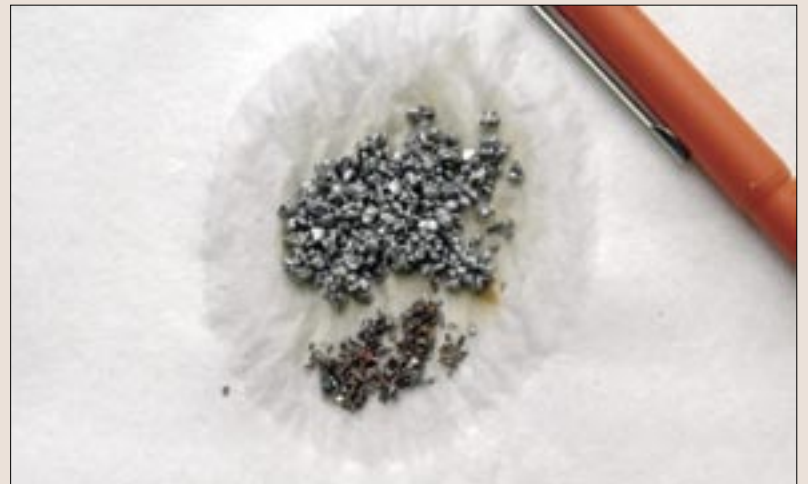
'We willen de fysica zo simpel mogelijk maken en goed snappen waarom onze optimalisatie niet beter kan', schetst Rem het programma, 'We zullen blij zijn wanneer we over een jaar een prototype hebben.'

Voor nader informatie over dit onderwerp kunt u contact opnemen met Dr. Peter C. Rem, tel. (015) 278 3617, e-mail p.c.rem@citg.tudelft.nl

Zie ook www.bakkermagnetics.com



De metaal deeltjes worden via twee stromen in het midden en aan de zijkant afgevoerd.



Gescheiden deeltjes aluminium en koper.



Proefopstelling van promovendus Erwin Bakker voor het scheiden van versnipperd PET en de vervuiling zoals steentjes, glas en metalen. Ook in deze opstelling wordt gebruik gemaakt van een magnetische vloeistof, maar nu beweegt die met de PET-deeltjes mee. De vervuiling blijft achter op de bodem van de bak. De PET-deeltjes worden met een zeef weggevangen.



FOTO: KONINKLIJKE ASSCHER DIAMANT MAATSCHAPPIJ, AMSTERDAM

Kimberlite diamanterts.