

## 4.2 Ontwatering

### *Principe*

Baggerspecie wordt gekenmerkt door een hoog watergehalte. Dit kan belemmeringen geven bij transport, verwerking en toepassing van de specie.

Doel van het ontwateren kan dan ook worden gezien als het reduceren van het volume en/of het verbeteren van de toepassingsmogelijkheden.

Ontwateren is niet alleen doelmatig voor de totale specie, ook deelstromen zullen moeten worden ontwaterd. In algemene zin kan worden aangegeven dat het ontwateren van de grove fractie beter en eenvoudiger is te realiseren dan de ontwatering van de fijne fractie.

De belangrijkste ontwateringstechnieken zijn: drogen aan de lucht, mechanische ontwatering (persen, centrifuges en vacuümfilters) en met behulp van (afval)warmte. Drogen aan de lucht heeft tot doel het verlagen van het watergehalte, zodanig dat de specie geschikt is voor de volgende verwerkingsstap.

Tabel 4.1: Overzicht ontwateringstechnieken

Techniek	Soort specie	Verontreiniging	Ontwikkeling	Effectiviteit <sup>1)</sup>	Kosten <sup>2)3)</sup>	Milieu-effecten
Natuurlijke ontwatering (drogen aan de lucht)	alle	n.v.t.	praktijk	0	10 - 50	verspreiding
Mechanische ontwatering (persen)	slibfractie of slibrijk	n.v.t.	praktijk	++	50 - 100	n.v.t.
Mechanische ontwatering (centrifuge)	slibfractie of slibrijk	n.v.t.	praktijk	+	50 - 100	n.v.t.
Mechanische ontwatering (vacuümfiltratie)	slibfractie of slibrijk	n.v.t.	praktijk	+	50 - 100	n.v.t.
Drogen met behulp van afvalwarmte <sup>3)</sup>	voorontwaterde specie	n.v.t.	praktijk	+++	30-60	energie

- 1) 0, +, ++, +++: oplopend drogestofgehalte eindproduct  
 2) Literatuurverwijzing: eindrapportage POSW [27]  
 3) per ton droge stof  
 4) tweede ontwateringsstap na mechanische of natuurlijke ontwatering

### *Eindproduct*

Als gevolg van de ontwatering zal er geen verandering optreden in de chemische kwaliteit van de baggerspecie.

### Selectie

Afhankelijk van de uiteindelijke verwerkingsoptie is het mogelijk om één of meerdere ontwateringstechnieken te selecteren voor de verwerkingsketen.

Drogen aan de lucht, eventueel in combinatie met rijping, voor baggerspecie die direct geschikt is voor een nuttige toepassing.

Mechanische technieken bij de ontwatering van deelstromen na scheidingsstappen. Als voorstap in het thermisch immobilisatieproces kan de "natte" (deelstroom van de) specie worden gedroogd met afvalwarmte (besparing energieverbruik).

## 4.3 Biologisch reinigen

### Principe

Biologische reiniging berust op de mogelijkheid die micro-organismen bezitten om organische verontreinigingen af te breken tot niet-toxische produkten. Om de afbraak te stimuleren, worden optimale procesomstandigheden gecreëerd: zuurstofgehalte, temperatuur, zuurgraad, vochtgehalte en toevoeging van nutriënten. Zware metalen worden niet afgebroken.

Een voordeel van biologische technieken is dat er geen reststromen ontstaan, terwijl de bodemstructuur veelal verbetert. Het belangrijkste nadeel van deze methoden is dat vrijwel altijd een produkt ontstaat met restgehalten hoger dan de streefwaarde, ondanks het creëren van zo optimaal mogelijke procesomstandigheden. De hoogte van de eindgehalten is afhankelijk van verschillende factoren. Hierbij valt te denken aan beginconcentratie, biobeschikbaarheid, heterogeniteit en de aanwezigheid van toxische stoffen.

Technieken voor biologische reiniging zijn: landfarming, compostering, beluchtingsbassin en bioreactoren.

Tabel 4.2: Overzicht biologische reinigingstechnieken

Techniek	Soort specie	Verontreiniging	Ontwikkeling	Effectiviteit <sup>1)</sup>	Kosten <sup>2)3)</sup>	Milieu-effecten
Landfarming	zandrijk of grove fractie	organische verontreinigingen	praktijkonderzoek <sup>4)</sup>		50 - 120	ruimte
Composteren	zandrijk of grove fractie	organische verontreinigingen	lab		> 120	ruimte
Beluchtingsbassin	fijne fractie	organische verontreinigingen	pilot		60 - 180	energie
Bioreactor	zandrijk/alle	organische verontreinigingen	lab/pilot		150 - 850	energie

1) de diverse uitvoeringsvormen zijn van deze criteria niet wezenlijk onderscheidend

2) Literatuurverwijzing [27]

3) per ton droge stof

4) Voor droge bodems op praktijkschaal

#### *Eindprodukt*

Als gevolg van biologische technieken ontstaat een categorie-G1 en G2-produkt. Dit betekent onder restricties toepasbaar. Bij de biologische technieken ontstaan geen reststromen waarin de verontreinigingen zijn geconcentreerd.

#### *Selectie*

Als meest doelmatige biologische techniek komt landfarming naar voren; relatief lage kosten en weinig energie en emissies. Nadeel is echter het benodigde oppervlak.

### 4.4 Classificatie (fractiescheiding)

#### **Principe**

##### **Sedimentatiebekken**

Hierin worden deeltjes met een soortelijk gewicht groter dan dat van het oplosmiddel (water) gescheiden op basis van het verschil in gravitatiekracht. Het rendement en de scheidingscherpte zijn sterk te beïnvloeden door een juiste constructie van het bassin. De technologie is relatief goedkoop.

##### **Zeven**

Om grove delen in het baggerslib af te scheiden is een voorbewerking in de vorm van een of meerdere zeeffractiescheidingen (bv. vuil, puin en grind) nodig voordat latere bewerkingen kunnen worden uitgevoerd. Ook de spiraaltechniek mag hiertoe worden gerekend.

##### **Hydrocyclonage**

In een hydrocycloon worden de in water gesuspendeerde deeltjes op basis van het verschil in dichtheid, grootte en vorm gescheiden in twee deelstromen: de onderloop (meestal de zandfractie) en de bovenloop (meestal de slibfractie). De werking berust op centrifugale krachten in de cycloon die zware deeltjes in de vloeistof tegen de buitenwand drukken. Deze deeltjes worden aan de onderkant van de cycloon afgevoerd (apex). Lichtere deeltjes worden door het midden van de cycloon weer omhoog gevoerd en verlaten de cycloon aan de bovenkant (vortex). Om een hydrocycloon optimaal te laten werken dient de bagger-slurry een droge stofgehalte lager dan ca. 25% te hebben.

Het rendement van de hydrocycloon wordt bepaald door ontwerp- (diameter, lengte, conusvorm etc.) en procesvariabelen (korrelgrootte en dichtheid, korrelgrootteverdeling, droge stofgehalte, viscositeit (temperatuur)). Karakteristiek voor het scheidend vermogen van een cycloon is in eerste instantie de scheidingsdiameter  $d_{50}$ . De  $d_{50}$  is gelijk aan de diameter van die deeltjes, die een even grote kans hebben om in de onderloop als in de bovenloop terecht te komen. Een gebruikelijke  $d_{50}$  bevindt zich rond de 20 of 63  $\mu\text{m}$ . De scheiding is nooit perfect, altijd komt een deel van de fijne deeltjes in de grove fractie en omgekeerd (misplacement). Naast de scheidingsdiameter wordt de scheiding daarom ook gekarakteriseerd door de

scheidingscherpte. In figuur 2 worden de scheidingsdiameter en scheidingscherpte weergegeven.

### Opstromen

Deeltjes kunnen op grond van dichtheid gescheiden worden in een opstroomkolom. Bij deze techniek stroomt water door een kolom naar boven. Zware deeltjes, met een valsnelheid groter dan de omhooggerichte snelheid van het water bezinken in de kolom en worden aan de onderzijde afgevoerd. Fijne deeltjes met een lagere valsnelheid worden in het water mee omhooggevoerd. Hierdoor ontstaan twee fracties: een onderloop met zware deeltjes en een bovenloop met lichte deeltjes. De scheidingsdiameter is te veranderen door de stroomsnelheid van het water te wijzigen.

De kosten van deze techniek zijn vrij laag. Deze techniek is vooral geschikt als nabehandeling van hydrocyclonage.

### Schuimflotatie

Deze techniek is erop gericht om de verontreinigingen in de specie te hechten aan luchtbelletjes. Om dit te bereiken worden oppervlakte-actieve stoffen aan de specie toegevoegd die een sterke affiniteit hebben voor zowel de verontreiniging als voor de luchtbellen. In een flotatie-unit wordt lucht aan de onderzijde toegevoegd aan de suspensie van baggerspecie. De oppervlakte-actieve stoffen zullen zich met de verontreinigde deeltjes aan de luchtbelletjes hechten, met als gevolg dat juist deze deeltjes boven gaan drijven. Het aldus ontstane schuim kan op een eenvoudige wijze worden verwijderd.

Voordelen van schuimflotatie ten opzichte van andere scheidingstechnieken kan zijn de mogelijkheid om specifiek de verontreinigde deeltjes uit de specie te verwijderen (afhankelijk van de aard van de verontreiniging en karakter van het baggerslib). Nadeel zijn echter de kosten en het gebruik van chemicaliën.

Tabel 4.3: Overzicht classificatietechnieken

techniek	soort specie	verontreiniging	ontwikkeling	effectiviteit (1)	kosten (2)	milieu-effecten
sed. bekken	alle	n.v.t.	praktijk	0	100-600 (3)	afh. doelst. groot opp.
zeven	alle	n.v.t.	praktijk	0	10-20	
hydrocyclonage	alle	n.v.t.	praktijk	0	5-20	
opstromen	grove fractie/alle	n.v.t.	praktijk	0	20-40	
flotatie	grove fractie/alle	n.v.t.	praktijk	0	10-20	

1 = de verschillende scheidingsmethoden hebben elk een verschillend gebied van inzetbaarheid (soms overlappend)

2 = per ton droge stof

3 = per M<sup>3</sup> inhoud

### Eindprodukt

De eindprodukten van fractiescheiding zijn een zand- en slibfractie. Afhankelijk van de mate van vervuiling van de baggerspecie zijn een of meerdere classificatie stappen

nodig. Normaliter bevinden zich de verontreinigingen in het slib deel en is het zand schoon en geschikt voor hergebruik klasse G, 1 en 2. Het slib wordt nat gestort en/of verder ingedikt middels ontwatering.

### **Selectie**

Alle technieken zijn in principe inzetbaar. Sedimentatie heeft een belangrijk nadeel indien ook de fijne fractie (slibdeel) met grote mate van nauwkeurigheid moet worden afgescheiden. De beheersbaarheid van het proces is moeilijk en grote oppervlakten aan bassins zijn dan noodzakelijk. Opstromen en flotatie worden beschouwd als polishing technieken voor het schoonmaken van de zandfractie.

## 4.5 Immobilisatietechnieken

### Principe

Immobilisatietechnieken veranderen de structuur van het afval op een wijze dat verontreinigingen niet of nauwelijks meer uitlogen.

Alle immobilisatietechnieken vereisen een voorbehandeling van baggerslib in de vorm van verhoging van het droge stofgehalte tot minimaal ca. 50%. Lagere droge stofconcentraties leiden tot onevenredige verhoogde investeringen en verhoogde operationele kosten.

Immobilisatietechnieken worden onderscheiden in koude technieken en meer of minder thermische technieken.

Bij koude technieken wordt alleen een bindmiddel aan het afval toegevoegd, waardoor de afvalstoffen worden opgesloten in de structuur van het immobilisaat en/of een chemische reactie aangaan (fysisch chemische opsluiting). Bij thermische technieken wordt het afval dusdanig verhit dat bij afkoeling afhankelijk van de gekozen procesomstandigheden een meer of minder glasachtig materiaal ontstaat (verglazing).

Er bestaan een drietal in Nederland toegepaste technieken:

Tabel 4.4: Overzicht Immobilisatietechnieken

techniek	soort specie	verontreiniging	ontwikkeling	effectiviteit (1)	kosten (2)(3)	milieu-effecten
anorganisch bindmiddel	alle, d.s. > 50%	alle, bij voorkeur geen vluchtige	praktijk	0	50-70	luchtemissies.
sinteren	slibrijk, d.s. > 50%	alle	praktijk	+	200-250	luchtemissies
smelten	slibrijk, d.s. > 50%	alle	praktijk	++	200-350	

1) 0, +, ++ = afname uitlooggedrag

2) kosten per ton droge stof

3) Slib op de wip/SCG

### Eindprodukt

Met behulp van deze technieken ontstaan gegranuleerde producten (BV Ecogrind, Basalt). De aard van het vormingsproces bepaalt de sterkte en de toepasbaarheid. Afhankelijk van het definitieve ontwerp bouwstoffenbesluit kunnen de producten als categorie G, 1 of categorie 2 bouwgrondstof worden toegepast.

### Selectie

Op basis van de stand der techniek zijn alle processen inzetbaar en leveren producten welke mogelijk kunnen worden hergebruikt. Noodzakelijk is dat aan het ruwe baggerslib een ontwatering voorafgaat om de toepassing in bovenstaande processen mogelijk te maken.

## 4.6 Extractief reinigen

### *Principe*

Het doel van extractief reinigen is het overbrengen van de verontreinigingen van de vaste naar de vloeistoffase. Dit gebeurt door het extractiemiddel intensief met de specie te vermengen en vervolgens weer af te scheiden.

Extractie kan in principe zowel voor zware metalen als voor organische microverontreinigingen worden uitgevoerd. Het extractiemiddel moet worden afgestemd op het type verontreiniging.

Het extractiemiddel kan ook de bodemstructuur negatief beïnvloeden, waardoor de toepassingsmogelijkheden van het gereinigde product erg beperkt worden.

Methoden voor extractief reinigen zijn: met (bacterieel gevormd) zuur, solvents, detergents, complexvormers, ionenwisselaar, chloorbleekloog, stoomstrippen met superkritische extractie en elektroreclamatie.

Tabel 4.5: Overzicht extractieve reinigingstechnieken

Techniek	Soort specie	Verontreiniging	Ontwikkeling	Effectiviteit <sup>1)</sup>	Kosten <sup>2)</sup>	Milieu-effecten
Zuurextractie	alle	metalen	lab <sup>3)</sup>	+	20 - 80	hulpstoffen
Bacteriële zuurextractie	alle	metalen	lab	0	20 - 100	-
Solvent	alle	omive's	lab	0		hulpstoffen
Complexvormers	alle	metalen/ omive's	lab	+	50 - 400	-
Superkritische CO <sub>2</sub>	alle	omive's	lab	0	40 - 100	energie
Elektroreclamatie	alle	metalen	pilot	0	100 - 200	energie

- 1) 0:        neutraal bij de onderlinge beoordeling  
 +:        positief bij de onderlinge beoordeling  
 2)        per ton droge stof  
 3)        Voor droge bodems op praktijkschaal

### *Eindproduct*

Bij extractie ontstaat naast een "schone" slibstroom een residu (het extract) met daarin de opgeloste verontreinigingen. Het sterk verontreinigde extract dient op milieuhygiënische wijze te worden verwerkt.

De "schone" specie zal niet in alle gevallen voldoen aan de streefwaarden, categorie-N2-materiaal, kortom toepasbaar met restricties.