**Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)**
***Fase II (1992-1996)***

projectleiding en secretariaat:
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)
Postbus 17, 8200 AA Lelystad 0320-298456/298533

---

# KARAKTERISATIEPROEVEN VOOR BAGGERSPECIE

opdrachtgever:
Rijkswaterstaat:
Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)

uitvoering:
DHV Milieu & Infrastructuur

mei 1997

---

RIZA rapport: 97.047
ISBN: 90 369 50 937

# VOORWOORD

Voor u ligt het rapport "Vergelijking van 3 karakterisatiemethoden voor baggerspecie". Het rapport beschrijft de resultaten van een onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems fase II (1992-1997).

Karakterisatie is noodzakelijk om de verwerkbaarheid van baggerspecie vast te kunnen stellen. In het onderhavige onderzoek is gekeken naar de "T2000-geschiktheidsproef", de "fingerprintmethode" en de "opstroommethode". Deze methoden zijn bedoeld om de verwerkbaarheid met fysische technieken te beoordelen. Fysische technieken zijn gebaseerd op scheiden van baggerspecie in twee of meer deelstromen op basis van verschillen in deeltjeseigenschappen als grootte, vorm en soortelijk gewicht. De werkwijze van alle drie methoden is protocollair vastgelegd. De reproduceerbaarheid maakte geen deel uit van het onderzoek.

Doel van het onderzoek was de drie genoemde karakterisatiemethoden te vergelijken aan de hand van drie soorten baggerspecie. De voorspellende waarde is in het kader van dit onderzoek niet getoetst aan verwerking van de species in de praktijk. Dit laatste is wel noodzakelijk om een volledige vergelijking te kunnen maken.

Geconcludeerd wordt dat de onderzochte karakterisatiemethoden vergelijkbare uitkomsten geven voor scheiding op een korreldiameter van 63 μm, zowel qua massaverdeling van de ontstane fracties als qua kwaliteit. Bij verdere scheiding onder 63 μm ontstaan aanzienlijke verschillen. Het is echter niet aan te geven of de specifiek samenhangt met een bepaalde karakterisatiemethode. Achteraf bleek namelijk dat de aangeleverde monsters ondanks de aandacht voor homogenisatie niet geheel identiek waren.
De opstroommethode en de T-2000 methode geven een globalere voorspelling dan de fingerprintmethode. Om een weloverwogen keuze voor één van de methoden te maken, is het belangrijk aanleiding en doel van het karakterisatie-onderzoek goed vooraf te omschrijven.

Er worden diverse praktische aanbevelingen gedaan voor het uitvoeren van karakterisatie-onderzoek. Tenslotte wordt aanbevolen de relatie tussen reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid van de gevonden massaverdeling te onderzoeken alsook de relatie tussen de resultaten van de karakterisatie en de uitvoering in de praktijk nader te onderzoek.

Namens het Advies- en Kenniscentrum Waterbodems van Rijkswaterstaat,

Ir. J. Rienks
Lelystad, mei 1998.

**INHOUD** **BLAD**


| | | |
|---|---|---|
| 1 | INLEIDING EN DOEL | 4 |
| 1.1 | Inleiding | 4 |
| 1.2 | Doelstelling | 5 |
| 1.3 | Randvoorwaarde | 6 |
| 1.4 | Indeling | 6 |
| 2 | ACHTERGRONDINFORMATIE | 7 |
| 2.1 | Achtergrondinformatie betreffende de in de praktijk meest gebruikte scheidingsapparatuur | 7 |
| 2.1.1 | Hydrocycloon | 7 |
| 2.1.2 | Opstroomklasseerder | 8 |
| 2.1.3 | Spiraalscheiding | 9 |
| 2.1.4 | Overige polishingstechnieken | 10 |
| 2.2 | Achtergrondkennis van de meest gebruikte karakterisatiemethoden voor baggerspecie | 10 |
| 2.2.1 | Fingerprint | 10 |
| 2.2.2 | Opstroommethode | 10 |
| 2.2.3 | T2000-Geschiktheidsproef | 11 |
| 2.2.4 | Overig | 11 |
| 3 | UITGANGSPUNTEN | 12 |
| 3.1 | Onderzoeksopzet | 12 |
| 3.2 | Geselecteerde baggerspecies | 13 |
| 3.3 | Werkwijze vóór uitvoering van karakterisatiemethoden | 13 |
| 4 | RESULTATEN FINGERPRINTMETHODE | 15 |
| 4.1 | Werkwijze | 15 |
| 4.2 | Resultaten | 15 |
| 4.3 | Bespreking van de 'fingerprint'-resultaten | 17 |
| 5 | RESULTATEN OPSTROOMMETHODE | 19 |
| 5.1 | Werkwijze | 19 |
| 5.2 | Resultaten | 20 |
| 5.3 | Bespreking van de 'opstroom'-resultaten | 22 |

| | | |
|---|---|---|
| 6 | RESULTATEN T2000-METHODE | 24 |
| 6.1 | Werkwijze | 24 |
| 6.2 | Scheiding op basis van deeltjesgrootte | 24 |
| 6.3 | Scheiding op basis van dichtheid | 25 |
| 6.4 | Resultaten | 25 |
| 6.5 | Bespreking van de T2000-Geschiktheidsproef-resultaten | 28 |
| 7 | VERGELIJKEN VAN DE DRIE KARAKTERISATIEMETHODEN | 30 |
| 7.1 | Vergelijking van het uitgangsmateriaal | 30 |
| 7.2 | Vergelijking van de massaverdelingen | 31 |
| 7.3 | Vergelijking van de kwaliteit van de fracties na karakterisatie | 33 |
| 7.4 | Vergelijking van uitvoeringswijze van de karakterisatiemethoden | 34 |
| 7.5 | Vergelijking van kosten | 34 |
| 8 | CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 36 |
| 8.1 | Conclusies | 36 |
| 8.2 | Aanbevelingen | 37 |

BIJLAGEN:

| | |
|---|---|
| 1 | Analyseresultaten |
| 2 | Vergelijking van het uitgangsmateriaal |
| 3 | Massa- en korrelgrootteverdelingen |
| 4 | Vergelijking van de species (incl. Toetsing aan ENW) |

# 1 INLEIDING EN DOEL

## 1.1 Inleiding

Verontreinigingen in (water)bodems en slib zijn vaak gebonden aan het organisch (licht) materiaal en/of aan de fijne slibfractie. Bij het fysisch scheiden van de verontreinigde (water)bodem/slib in een grove, zware zandfractie en een fijne, lichte slibfractie zullen de verontreinigingen zich over het algemeen concentreren in de fijne (lichte) slibfractie. Door deze concentratie van verontreinigen in een slibfractie is een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid te storten specie mogelijk en ontstaat tevens een herbruikbare zandfractie. Van dit principe maken extractieve reinigers gebruik door apparatuur te gebruiken waarmee deeltjes gescheiden worden op basis van verschillen in zowel grootte als dichtheid. Om echter reeds vóór uitvoering een betrouwbare schatting te verkrijgen van de technische resultaten en financiële consequenties van deze fysische scheiding, is karakterisatieonderzoek gedurende het voortraject noodzakelijk.

Naast informatie betreffende een specifiek project is het ook voor de verdere ontwikkeling van scheidingstechnieken voor baggerspecie in het algemeen noodzakelijk dat de baggerspecie nader wordt gekarakteriseerd. Het karakteriseren dient met name gericht te zijn op de wijze van voorkomen van de verontreinigingen in de baggerspecie en hoe de verontreinigingen kunnen worden geconcentreerd in een bepaalde fractie. Indien dit aspect bekend is, kan het een wezenlijke bijdrage leveren aan het verkennen, ontwikkelen en optimaliseren van díe scheidingstechniek, die het meest geschikt is voor het behandelen van de betreffende baggerspecie.

Onder karakterisatie van sediment wordt in deze rapportage verstaan:

. het vastleggen van relevante parameters op grond waarvan kan worden beoordeeld of met de bekende fysische scheidingstechnieken concentrering van de verontreiniging in een bepaalde fractie mogelijk is. Als concentrering mogelijk is, moet op grond van deze parameters het rendement kunnen worden bepaald. Door karakterisatie van baggerspecie kan dus een voorspelling worden gedaan omtrent het verwachte effect van verwerking op praktijkschaal.

Voor het karakteriseren van baggerspecie zijn op het moment verschillende methoden bekend. De drie bekendste zijn:

- zeven, eventueel bewerken en vervolgens analyseren van de verschillende fracties (o.a. uitgewerkt in de "T2000-Geschiktheidsproef", ontwikkeld door (ARCADIS) Heidemij Realisatie en TNO in het kader van T2000 van het Ministerie van VROM);
- de "fingerprintmethode" (ontwikkeld door Serasea);
- de "opstroommethode" (ontwikkeld door TAUW).

De bekendste methode om sedimenten waaronder baggerspecie te karakteriseren is zeven en het vervolgens separaat analyseren van de afgezeefde fracties. Het Protocol Geschiktheidsproef Natte Scheidingstechnieken, zoals dat ontwikkeld is in het project "Karakterisering van grond en baggerspecie" in het kader van T2000 [1] maakt gebruik van deze karakterisatiemethode,

[1] Natte deeltjesscheiding, Karakterisering van grond en baggerspecie, uitgevoerd door TNO-MEP en Heidemij Realisatie in opdracht van het Ministerie van VROM in het kader van het programma T2000, augustus 1995

aangevuld met een dichtheidsscheidingsstap. De in het onderhavige onderzoek gebruikte karakterisatiemethode is geënt op deze T2000-(TDG)-geschiktheidsproef, maar is uitgebreid met enkele aanvullende zeefstappen. De T2000-geschiktheidsproeven zijn uitgevoerd in het Technologisch Onderzoekscentrum (TOC) van DHV Milieu & Infrastructuur.

De momenteel meest gebruikte karakterisatiemethode, specifiek voor baggerspecie, is de zgn "fingerprintmethode". Deze methode is voornamelijk geënt op scheiding met hydrocyclonen.

Inmiddels dienen zich, vooral bij zandrijke sedimenten andere scheidingstechnieken aan, zoals opstroomklasseerders en sedimentatiebekkens. Als het gebruik van een van de laatst genoemde technieken wordt overwogen, kan een karakterisatiemethode worden gebruikt die hier beter bij aansluit. De door Tauw ontwikkelde methode van het na elkaar opstromen van de suspensie door cilinders met toenemende diameter lijkt hiervoor in dit verband geschikt.

De drie bovengenoemde karakterisatiemethoden zijn allen met een bepaald doel en achtergrond ontworpen. De doelstellingen van de methoden zijn:

* *Fingerprintmethode:*
  Gedetailleerde voorspelling van de reinigbaarheid van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), gericht op procesoptimalisatie van het scheidingsproces
* *Opstroommethode:*
  Globale voorspelling van de reinigbaarheid van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), tevens voorspelling van scheidingsresultaat bij inzet van sedimentatiebekken
* *T2000-Karakterisatiemethode (TDG-test)*
  Globale voorspelling van de reinigbaarheid van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), tevens indicatie voor effect van reinigingsprocessen volgend op de scheidingsstap.

## 1.2 Doelstelling

Doel van karakterisatie van sediment is in eerste instantie inzicht te geven ten aanzien van een mogelijke reiniging van de specie. Het gevolg van de karakterisatie is dat de risico's tijdens de praktijkverwerking op zowel technisch als financieel vlak kunnen worden beperkt. Doordat karakterisatie op laboratoriumschaal een inschatting geeft van de technische (on)mogelijkheden en op basis hiervan de financiële speelruimte bij de praktijkverwerking van specie kan worden berekend, kunnen deze risico's ingeperkt worden.

Doel van dit onderhavige onderzoek is de bovengenoemde drie karakterisatiemethoden met elkaar te vergelijken. Hierbij zullen onder andere de volgende vergelijkingscriteria een rol spelen: massa- en verontreinigingenbalans, uitvoeringswijze en kosten.

Om een complete vergelijking mogelijk te maken moet naast het onderhavige vergelijkende onderzoek tevens een vergelijking tussen karakterisatievoorspelling en uiteindelijke verwerking op praktijkschaal plaatsvinden. Alleen op deze wijze kan de voorspelbaarheid van de karakterisatiemethode getoetst worden. Dit toetsen van de voorspelbaarheid ligt echter buiten de scoop van dit rapport.

Met nadruk wordt gesteld dat het verkrijgen van discrete deelfracties op basis van deeltjesgrootteverdelingen **geen** onderzoeksdoelstelling is. Immers, ook in de praktijksituatie van verwerken van specie worden geen discrete zand- en slibfracties verkregen (er zit altijd nog zand in het slib en slib in het zand). Bovendien is het in bepaalde gevallen juist gewenst om bepaalde deeltjes met bepaalde grootte in een 'verkeerde' fractie te krijgen (bijvoorbeeld grote maar lichte organische deeltjes in de fijne fractie). De deeltjesgrootteverdelingen, waarvan in dit onderzoek gebruik is gemaakt, zijn uitsluitend uitgevoerd om de resultaten van de karakterisatiemethoden onderling te kunnen vergelijken.

## 1.3 Randvoorwaarde

Om een goede vergelijking van de verschillende karakteriseringsmethoden mogelijk te maken, moet grote nadruk worden gelegd op het aanleveren van monsters met zo gelijk mogelijke homogene baggerspecie. Hierdoor wordt de invloed van de variantie ten gevolge van heterogeniteit van de specie in dit onderzoek zoveel mogelijk geminimaliseerd.

## 1.4 Indeling

Allereerst is in hoofdstuk 2 enige essentiële achtergrondkennis betreffende de in de praktijk gebruikelijke scheidingstechnieken en bovengenoemde karakterisatietechnieken gegeven. Vanuit deze achtergrondkennis is een bepaalde onderzoeksopzet geformuleerd, die in hoofdstuk 3 nader is uitgewerkt. In hoofdstuk 4 t/m 6 zijn de resultaten van de karakterisatie m.b.v. de verschillende karakterisatiemethodes gepresenteerd (respectievelijk fingerprint, opstroommethode en T2000-geschiktheidsproef). De resultaten uit de voorgaande hoofdstukken zijn in hoofdstuk 7 met elkaar vergeleken. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen ten aanzien van optimaal gebruik van karakterisatiemethodes.

# 2 ACHTERGRONDINFORMATIE

## 2.1 Achtergrondinformatie betreffende de in de praktijk meest gebruikte scheidingsapparatuur

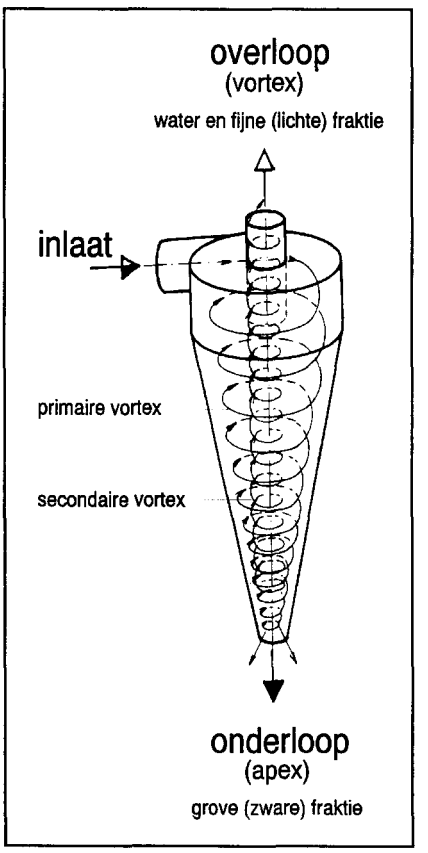
### 2.1.1 Hydrocycloon

De hydrocycloon is een classificatie- en scheidingsapparaat. Het wordt in de industrie voor vele doeleinden toegepast bij twee-fase scheidingen waarbij een vloeistof het suspenderende medium is. Enkele voorbeelden zijn: ontwatering van slib, ontgassing van vloeistoffen, classificatie van vaste deeltjes en scheiding op basis van dichtheid of deeltjesgrootte.

Bij de fysische scheiding van baggerspecie is de hydrocycloonconfiguratie in de meeste gevallen het 'hart' van de installatie, hier wordt de belangrijkste 'bulkscheiding' uitgevoerd. Een optimale werking hiervan werkt in sterke mate door in de efficiëntie van de gehele installatie. In de praktijk wordt de hydrocycloon altijd vooraf gegaan door één of meerdere zeefstappen om de voor de hydrocycloon schadelijk grove delen (> ca 1 mm) te verwijderen.

De toevoer van een cycloon is tangentiëel, waardoor een rondgaande stroming in de cycloon optreedt. Het hierdoor ontstane stromingsbeeld is zeer complex en omvat axiale, tangentiële en radiale snelheidscomponenten, die afhangen van de plaats in de cycloon. De deeltjes ondervinden in de cycloon een versnelling welke 100 á 200 maal die van de zwaartekracht is. Op grond van hun grotere dichtheid dan water bewegen de deeltjes zich naar de buitenkant van de cycloon en via de wand naar beneden (onderloop). Het water beweegt zich naar binnen en gaat uiteindelijk naar boven (overloop). Die deeltjes die gelijke snelheid hebben als de vloeistof, bepalen de scheidingsdiameter of -dichtheid van de cycloon. Kleinere of lichtere deeltjes komen in de overloop (vortex), de deeltjes die zwaarder zijn komen in de onderloop (apex). De scheidingsdiameter ($d_{50}$) wordt gedefinieerd als de diameter van een deeltje, dat gelijke kansen heeft om in de apex of de vortex terecht te komen. De scherpte van de uiteindelijke scheiding is met name afhankelijk van het cyclonagecircuit (cycloonconfiguratie). De scheidingsdiameter is theoretisch te bepalen met de volgende formule:

$$d_{50} = \frac{0.003 \cdot D^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.2} e^{6.3 C_{v/v}}}{D_u^{0.7} h^{0.38} Q_v^{0.45} (\rho_s - \rho)^{0.5}}$$



In deze formule is:

| | | |
|---|---|---|
| $C_v$ | = | concentratie vaste deeltjes |
| $D$ | = | inwendige cycloondiameter |
| $D_i$ | = | diameter inlaat |
| $D_o$ | = | diameter overloop |
| $D_u$ | = | diameter onderloop |
| $h$ | = | hoogte tussen vortex en apex |
| $Q_v$ | = | capaciteit van de cycloon |
| $\varrho$ | = | dichtheid van het medium |
| $\varrho_s$ | = | dichtheid van de deeltjes |

Uit de bovenstaande formule blijkt dat het scheidingspunt van de hydrocycloon afgezien van de apparaatparameters niet uitsluitend afhangt van de diameter van de deeltjes. De dichtheid (massa) van de deeltjes speelt ook een belangrijke rol. Lichte, grotere deeltjes (bijvoorbeeld organisch materiaal met geadsorbeerde verontreinigingen) hebben ook een grote kans om in de bovenloop terecht te komen.

### 2.1.2 Opstroomklasseerder

Een opstroomklasseerder wordt doorgaans in combinatie met een hydrocycloon toegepast; de onderloop van de hydrocycloon wordt naar de opstroomklasseerder geleid. In de onderloop van de hydrocyclonen kunnen zich nog ongewenste fijne en/of lichte deeltjes bevinden. De opstroomklasseerder kan deze ongewenste deeltjes in de onderloop verwijderen (polishing van de onderloop).

De opstroomklasseerder werkt als volgt [2]: in het vat, waarvan het bovenste gedeelte is uitgevoerd met een verticale wand en het onderste gedeelte naar beneden toe conisch verloopt, wordt het te scheiden mengsel aan de bovenkant ingevoerd. Halverwege het vat wordt over de gehele doorsnede schoon water toegevoerd. Dit water kan in principe alleen naar boven toe afstromen. Deze opwaarts gerichte stroom neemt de fijne deeltjes mee en stort vervolgens over de rand van het vat in een goot waarna het verder wordt afgevoerd. De zwaardere (zand)deeltjes komen onderin het conische gedeelte terecht. Hier vormt het als het ware een zware vloeistof, waarin alleen de zware deeltjes kunnen bezinken. Aan de onderzijde van de opstroomklasseerder bevindt zich een afsluiter die zich opent wanneer de hydrostatische druk groter wordt dan de ingestelde grensspanning.

Bij opstroomklasseerders kan de scheidingsdiameter ($d_m$) afgeleid worden uit de Formule van Stokes [3]:

$$d_m = \sqrt{\frac{18 \cdot v_t \cdot \mu}{(\rho_s - \rho) \cdot g}}$$

[2] Scheiden van verontreinigd sediment, Cees van Rijt, POSW-II rapport deel 8, augustus 1995

[3] Principles of extractive metallurgy, T. Rosenqvist, McGraw-Hill, 1988

In deze formule is:

| | |
|---|---|
| $d_m$ : | gemiddelde diameter van deeltjes die gefluïdiseerd worden, dat wil zeggen net niet met de vloeistof uit de opstroomklasseerder verwijderd worden |
| $v_t$ : | vloeistof snelheid |
| $\mu$ : | viscositeit van het medium (water) |
| $\rho_s$ : | dichtheid van de vaste stof |
| $\rho$ : | dichtheid van het medium (water) |
| g : | versnelling zwaartekracht |

Uit de bovenstaande formule blijkt dat het scheidingspunt van de opstroomklasseerders ook (net als de hydrocycloon) een functie is van deeltjesgrootte en dichtheid, afgezien van de apparaatparameters.

De goede scheidingsscherpte van de opstroomklasseerder wordt bewerkstelligd door twee mechanismen. Enerzijds is dit het uitspoelen van de fijne deeltjes boven in het vat, anderzijds door de scheiding door het zogenaamde 'sink-float' effect door de zwaardere dichtheid van de suspensie onder in het vat. De afmetingen van een opstroomklasseerder worden niet alleen bepaald door de gewenste capaciteit maar ook door de deeltjesgrootte van het aangeboden sediment. Om te grote verliezen van 'fijn' schoon zand te voorkomen, zijn de afmetingen van een opstroomklasseerder voor dit doel aanzienlijk. In de praktijk blijken opstroomklasseerders met name toegepast te worden bij mobiele installaties. De resultaten qua produktresultaten met opstroomklasseerders in deze mobiele installaties zijn wisselend.

### 2.1.3 Spiraalscheiding

Ook een spiraalscheider wordt doorgaans in combinatie met een hydrocycloon toegepast; de onderloop van de hydrocycloon wordt naar de spiraal (ook wel Humphrey-spiral genoemd) geleid. In de onderloop van baggerspecie na scheiding met hydrocyclonen kunnen zich nog ongewenste fijne en/of lichte (organische) deeltjes bevinden. In sommige gevallen kunnen ook ongewenste zware deeltjes (zoals b.v. metaaldeeltjes) aanwezig zijn. De spiraal kan deze ongewenste deeltjes in de onderloop, waarvan de dichtheid duidelijk afwijkt van zand, verwijderen (polishing van de onderloop). Scheiding van zowel lichte als zware deeltjes geschiedt over het algemeen in twee opeenvolgende processtappen.

De opstroomklasseerder werkt als volgt: deeltjes afwijkend van zand (zowel lichter als zwaarder) kunnen afgescheiden worden door een slurry door een spiraalvormige goot naar beneden te laten stromen. De gootdoorsnede krijgt dan een profiel waarin de soortelijke massa van de deeltjes van binnen naar buiten afneemt. Aan het einde (onderzijde) van de spiraal kan de stroom worden gescheiden door te plaatsen afstroomschotten in de slurrystroom.

Het scheidingsprincipe van de spiralen is dus gebaseerd op centrifugaalkracht, dus ook op de combinatie van deeltjesgrootte en dichtheid (massa). Spiralen worden vooral toegepast in vaste scheidingsinstallaties en hebben in het algemeen met name voor de fijne, lichte fractie goede resultaten bereikt.

### 2.1.4 Overige polishingstechnieken

Naast de opstroomklasseerder en de spirals zijn er nog vele polishingstechnieken voor zowel de onder- als bovenloop van de hydrocyclonage (zoals hoge- en lage-intensiteitsmagneetscheiding, flotatie etc.). Aangezien de effecten van deze scheidingsstappen niet voorspeld kunnen worden door de in deze studie onderhavige karakterisatiemethoden, zullen ze niet verder behandeld worden.

## 2.2 Achtergrondkennis van de meest gebruikte karakterisatiemethoden voor baggerspecie

### 2.2.1 Fingerprint

Bij een fingerprint-karakterisatie wordt de distributie van verontreinigingen over de door hydrocyclonage verkregen fracties bepaald. Er wordt gebruik gemaakt van hydrocyclonen op semi-praktijkschaal. Hierbij ligt het accent vooral op het minimaliseren van misplacement van fijn materiaal in elke underflow. Daartoe is de fingerprint opgebouwd uit een aantal tweetraps-cyclonagestappen. Bij elke tweetraps-cyclonagestap zijn twee cyclonen in serie geplaatst. De onderloop van de eerste cycloon wordt herbehandeld in een tweede cycloon. Deze tweede cycloon heeft een lager scheidingspunt dan de eerste, zodat het oorspronkelijke scheidingspunt onveranderd blijft in de tweede cycloon. Hierdoor wordt echter wel een scherpere scheiding in een zand- en slibproduct gerealiseerd (tweede cycloon verwijdert het restant aan slib uit het zand), waardoor een eventuele nabehandeling van het zandproduct eenduidig kan worden gericht op de betreffende verontreiniging. Door herhaalde hydrocyclonagebehandeling (combinatie van verschillende tweetraps-cyclonagestappen achter elkaar) kunnen meerdere (deel)fracties worden verkregen. Door het analyseren van deze (deel)fracties wordt de verontreinigingsdistributie verkregen.

Deze karakterisatiemethode komt sterk overeen met de uitvoeringswijze in de praktijk, indien deze gebaseerd is op hydrocyclonage.

### 2.2.2 Opstroommethode

In een aantal in serie geplaatste opstroomkolommen, oplopend in diameter, wordt de slurry gescheiden. In de opeenvolgende kolommen neemt de opwaartse snelheid van het water af, waardoor per kolom een steeds fijnere fractie wordt afgescheiden (afhankelijk van korrelgrootte en dichtheid in relatie tot de opstroomsnelheid; wet van Stokes). Afhankelijk van het aantal gewenste fracties kunnen meerdere kolommen met verschillende diameters in serie worden geplaatst. De afzonderlijke fracties worden na scheiding geanalyseerd op granulaire samenstelling en aanwezige verontreinigingen (distributie).

Zowel op basis van theoretische beschouwingen als in de praktijk is aangetoond dat de scheiding in opstroomkolommen volgens hetzelfde principe plaatsvindt als in de hydrocycloon (scheiding op basis van korrelgrootte en dichtheid). Bij de uitvoering van de opstroomkarakterisatie wordt rekening gehouden met de afschuifkrachten, die bij hydrocyclonen een belangrijke rol spelen, door het monster voor karakterisatie te scrubben. De opstroommethode wordt toegepast als voorspelling voor hydrocyclonage, waarbij opgemerkt moet worden dat het bereikte rendement van de opstroommethode over het algemeen iets hoger is dan bij (praktisch toegepaste) hydrocyclonage.

### 2.2.3 T2000-Geschiktheidsproef

Een onderzoekmethode op basis waarvan een uitspraak gedaan kan worden over de haalbaarheid van verwerking met natte scheidingstechnieken. De specie wordt middels een aantal zeefstappen (gebruikelijk op 500 en 63 $\mu$m) gescheiden, waarna op de zandfractie (63-500 $\mu$m) een dichtheidsonderzoek wordt uitgevoerd. Hierbij wordt de zandfractie gescheiden in fracties met dichtheden < 2 kg/l (organisch materiaal), 2-2,9 kg/l (zand) en > 2,9 kg/l (metaalfractie). De afzonderlijke fracties worden geanalyseerd om een verontreinigingsdistributie op te kunnen stellen.

Aangezien bij de eerste zeefstap van de proef de invloed van de massa/dichtheid wordt verwaarloosd (alleen de deeltjesgrootte speelt een rol), kan op basis van de resultaten na zeving geen betrouwbare uitspraak met betrekking tot hydrocyclonage worden gedaan. De zeefstap gecombineerd met de dichtheidsscheiding is echter vergelijkbaar met hydrocyclonage, aangevuld met een dichtheidsstap in de praktijk. Hierbij moet wel de invloed van de 'scherpere' scheiding door het gebruik van zeven ten opzichte van het gebruik van hydrocyclonen en het ontbreken van afschuifkrachten (zoals aanwezig in een hydrocycloon) in acht genomen worden. De resultaten van de T2000-geschiktheidsproef zijn vergelijkbaar met hydrocyclonage aangevuld met spiraalscheiding (door dichtheidsscheidingsstap) en in mindere mate hydrocyclonage aangevuld met een opstroomklasseerder.

### 2.2.4 Overig

Bij alle bovenbeschreven karakterisatiemethoden is het mogelijk aanvullend onderzoek uit te voeren, indien dat noodzakelijk of wenselijk is. Hierbij kan gedacht worden aan het kiezen van andere scheidingsdiameters voor hydrocyclonage, flotatie, gravitatieve polishing van de zandfractie of consolidatie van de slibfractie.

# 3 UITGANGSPUNTEN

## 3.1 Onderzoeksopzet

Om de verschillende karakterisatiemethoden te kunnen vergelijken is gekozen voor de volgende onderzoeksopzet:
- Uitvoeren van de drie karakterisatiemethoden met meerdere species (vergelijken van verschillen in korrelgrootteverdeling en in mindere mate in verontreinigingen);
- Binnen elke karakterisatiemethode streven naar het verkrijgen van dezelfde fracties ten aanzien van scheidingsdiameter(s);
- Analyse van alle monsters bij één laboratorium.

Gezien het feit dat uit ervaring is gebleken dat de korrelgrootteverdeling een zeer belangrijke parameter is bij scheidingstechnieken (en dus ook bij karakterisatie van te scheiden materiaal), is gekozen voor de volgende 3 types baggerspecies:
- slibrijk (circa 40-60% < 63 $\mu$m);
- gemiddeld zandig (circa 30-40% < 63 $\mu$m);
- zandrijk (circa 20-30% < 63 $\mu$m).

Elke aangeleverde specie zal door het instituut dat een bepaalde karakterisatiemethode toepast gescheiden worden, waarbij gestreefd wordt naar scheiding op de volgende twee scheidingsdiameters: 16 en 63 $\mu$m. Zodoende worden grofweg de volgende fracties verkregen:
- > 63 $\mu$m;
- 16 - 63 $\mu$m;
- < 16 $\mu$m.

De scheidingsdiameter van 63 $\mu$m is een gebruikelijke in grond- en slibscheidingsinstallaties. Ervaring heeft geleerd dat bij een scheidingsdiameter van 63 $\mu$m veelal een 'schone' zandfractie verkregen wordt. Gezien de trend van het steeds fijner afscheiden in scheidingsinstallaties is ervoor gekozen ook een scheiding op een laag scheidingspunt (16 $\mu$m) uit te laten voeren.

Met nadruk wordt erop gewezen dat het verkrijgen van "zuivere" deelfracties op grond van deeltjesgrootteverdelingen hierbij **niet** het doel is. Doel is immers het kunnen geven van een betrouwbare voorspelling van verwerking op praktijkschaal en ook in de praktijk wordt immers geen zeer scherpe scheiding verkregen. Bij het vergelijken van de deelfracties na karakterisatie moet hiermee rekening worden gehouden.

Door de verschillen in uitvoeringswijze zal de scheiding tussen de verschillende fracties bij de fingerprintmethode (gebruik van cyclonen) en opstroommethode minder scherp zal zijn als bij de T2000-geschiktheidsproef (gebruik van zeven). Bij hydrocyclonage en opstroomkolommen spreekt men immers van een scheidingsdiameter ($d_{50}$) en niet van een zeefdiameter.
Deeltjes groter dan de scheidingsdiameter hebben meer kans om in de onderloop (grove fractie) te komen, maar er blijft een kans dat ze in de bovenloop terecht komen (fijne fractie). Deze deeltjes in de 'verkeerde' fractie op grond van deeltjesgrootte noemen we 'misplacement'. Bij deeltjes met gelijke dichtheid is 'misplacement' niet gewenst (bijvoorbeeld bij minerale deeltjes). Echter, bij verschillen in dichtheid kan 'misplacement' juist wel gewenst zijn, bijvoorbeeld bij het verkrijgen van grote, lichte organische deeltjes in de slibfractie. Veel

verontreinigingen hechten zich juist aan deze organische deeltjes of deze organische deeltjes zijn juist de verontreiniging (PAK). Met beide fenomenen van misplacement zal bij de beoordeling van deeltjesgrootteverdelingen rekening worden gehouden.

De monsters, die verkregen worden bij de verschillende karakterisatiemethoden, worden centraal verzameld en bij één analyselaboratorium (Biochem) geanalyseerd. In het laboratorium worden op vergelijkbare monsters, afkomstig van verschillende instituten die een bepaalde karakterisatiemethode hebben toegepast, steeds dezelfde voorbehandeling en analysemethode toegepast. Hierdoor worden mogelijke verschillen als gevolg van verschillende procedures binnen een laboratorium als gebruik van meerdere laboratoria uitgesloten, wat de vergelijkbaarheid van de karakterisatiemethoden verhoogt.

## 3.2 Geselecteerde baggerspecies

Voor het uitvoeren van het onderzoek zijn de volgende drie baggerspecies geselecteerd (respectievelijk slibrijk, gemiddeld zandig en zandrijk):
1. waterbodem uit de Petroleumhaven te Amsterdam;
2. waterbodem uit het Kattendiep nabij Kampen.
3. waterbodem uit de stadsgrachten van de Gemeente Amersfoort;

De monsterlocaties zijn geselecteerd met behulp van het LAWABO-bestand van het RIZA. Selectiecriteria voor de keuze van species waren de verontreinigingssituatie (minimaal klasse 4, de vereiste spreiding in korrelgrootteverdeling en omvang van de locatie (voldoende groot).

## 3.3 Werkwijze vóór uitvoering van karakterisatiemethoden

Ten behoeve van de proef is per locatie (Amsterdam, Amersfoort en Kampen) ongeveer 400 liter gebaggerd met behulp van een grijperkraan, waarvan 300 liter (6 vaten) beschikbaar is gesteld voor uitvoering van de fingerprint. Voor uitvoering van de opstroommethode en de T2000-geschiktheidsproef is ieder 50 liter (1 vat) beschikbaar gesteld. Vóórdat de 400 liter verdeeld is over de 8 vaten is deze zeer intensief gehomogeniseerd [4]. Gezien de relatief grote hoeveelheid, die Serasea nodig acht voor een gewenste schaal tussen laboratorium en praktijk bij het uitvoeren van een fingerprint-karakterisatie, en het aanleveren van zoveel mogelijk gelijk materiaal aan de drie instellingen, is gekozen voor het aanleveren in vaten.

Uit het goed gehomogeniseerde opgebaggerde materiaal is per deellocatie één mengmonster samengesteld. Van dit mengmonster is de korrelgrootteverdeling en de chemische samenstelling (breed RIZA pakket) bepaald. De doelstelling hiervan was:
1. Verifiëren of het gebaggerde materiaal daadwerkelijk de gewenste korrelgrootteverdeling heeft teneinde drie verschillende speciesoorten te hebben voor de proef. In dit stadium (vóórdat de karakterisatieproeven worden uitgevoerd) is eventuele bijstelling nog mogelijk, waardoor geld en moeite bespaard kunnen worden;
2. (Her)bepaling van de klassebepalende parameters van iedere specie. Dit heeft als voordeel dat in het vervolg alle bij de karakterisatieproeven vrijkomende (deel)monsters alleen op deze klassebepalende parameters geanalyseerd hoeven te worden.

---

[4] Inventarisatie en leveren van Baggerspecie tbv karakterisatieproeven, Niebeek Milieumanagement, november 1995

Analyse van het gebaggerde uitgangsmateriaal (na intensieve homogenisatie) leverde het volgende beeld op [4]:

1. Zandrijke waterbodem (25% < 63$\mu$m) uit de stadsgrachten van de Gemeente Amersfoort (zware metalen Cu, Pb, Zn & As: klasse 4);
2. Matig zandige waterbodem (35% < 63 $\mu$m) uit de Petroleumhaven te Amsterdam (PAK: klasse 4 (boven BAGA); zware metalen Hg & Cu: klasse 3)
3. Matig slibrijke waterbodem (42 % < 63$\mu$m) uit het Kattendiep nabij Kampen (zware metalen Cd, Hg, Cu, Zn, Cr, As: klasse 4; PCB's: klasse 3).

Na opbaggeren en analyse van het uitgangsmateriaal bleek met name de korrelgrootteverdeling van de specie uit de Petroleumhaven af te wijken (fractie < 63$\mu$m bedroeg 35% in plaats van de verwachtte 50-60%) van de bij het RIZA bekende gegevens (LAWABO-bestand).
Besloten is dat bovengenoemde species voldoende representatief zijn om een vergelijkend onderzoek naar de drie karakterisatiemethoden uit te voeren.

Vervolgens hebben de drie instituten (Serasea, TAUW en DHV) hun karakterisatiemethode (respectievelijk fingerprint- en opstroommethode en T2000-geschiktheidsproef) op elk van de drie species uitgevoerd.

# 4 RESULTATEN FINGERPRINTMETHODE

## 4.1 Werkwijze

Na het afscheiden van het materiaal grover dan 2 mm is een mengmonster gemaakt, dat als "uitgangsmateriaal voor de fingerprint" is geanalyseerd op chemische kwaliteit en korrelgrootte. Op basis van deze korrelgrootteverdeling is door Serasea de cycloonconfiguratie berekend om tot de vereiste deelfracties te komen.

Het uitgangsmateriaal is via één tweetraps-hydrocyclonagestap gescheiden in een viertal fracties:
1. grof zand (2000-63 $\mu$m);
2. fijn zand (63-16 $\mu$m);
3. slibfractie (< 16 $\mu$m);
4. waswaterfractie (< 16 $\mu$m).

De waswaterfractie, die ontstaat bij de nabehandeling van de hydrocycloon-producten ter minimalisatie van de hoeveelheid slib in de zandprodukten, is in dit onderzoek bij de slibfractie gevoegd.

Voor een volledige beschrijving van de handelingen uitgevoerd ten behoeve van het fingerprintonderzoek wordt verwezen naar de rapportage van Serasea [5].

Alle door Serasea vervaardigde deelfracties zijn in duplo geanalyseerd. Op deze wijze kunnen eventuele uitschieters gesignaleerd worden en kan de overall massabalans hiervoor gecorrigeerd worden. De volledige analyseresultaten zijn weergegeven in het rapport van Niebeek.

## 4.2 Resultaten

De massabalans en de bijbehorende analyseresultaten zijn weergegeven in bijlage 1 en beknopt weergegeven in tabellen 4.1 t/m 4.3.

Zintuiglijk is er tijdens de uitvoering van de 'fingerprints' het volgende waargenomen:

| | |
|---|---|
| Petroleumhaven, A'dam: | Slibrijk materiaal, dat bovendien veel grove lichte organische deeltjes bevat (mogelijk PAK-deeltjes); |
| Grachten, Amersfoort: | Grote hoeveelheid grof (> 2mm) materiaal. Het sediment bevat ook veel grove lichte organische deeltjes; |
| Kattendiep, Kampen: | Zandrijk sediment, dat nauwelijks organisch materiaal bevat, in tegenstelling tot de beide andere species. |

Opvallend zijn de verschillen in samenstelling, ten opzichte van de samenstelling zoals bepaald door analyse van het uitgangsmateriaal voor uitvoering van de karakterisatiemethoden. Deze verschillen duiden aan dat de heterogeniteit van het uitgangsmateriaal, zelfs na intensieve homogenisatie, een belangrijke rol speelt.

In de volgende tabellen is de grootte van de fractie >2mm steeds aangegeven in 'percentage ten

[5] Vergelijkend karakterisatie-onderzoek Programmabureau POSW, Fingerprint-fractiescheiding, Serasea, rapport 270/95105/35, dd. 8 december 1995

opzichte van het uitgangsmateriaal'. De groottes van de fracties 2mm-63μm, 16-63μm en < 16μm zijn aangeven in het 'percentage t.o.v. het gefractioneerde materiaal' (< 2mm).

**Tabel 4.1**
**Resultaten Fingerprintmethode Petroleumhaven Amsterdam**

| Fracties | uitgang (<2mm) | >2mm | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 0.4 | 22.4 | 27.8 | 49.8 | 100.0 | 0 |
| Organische stof (%) | 10.5 | n.g. | < 1.0 | < 1.0 | 16.5 | 8.5 | -19 |
| Korrelgrootteverdeling (%) | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 210 μm | 69 | | 59 | 52 | 79.5 | 65 | -2 |
| < 63 μm | 37 | | 6 | 14 | 78.5 | 44 | 19 |
| < 50 μm | 36 | | 6 | 13 | 78.5 | 44 | 22 |
| < 16 μm | 34 | | 5 | 12 | 74.5 | 42 | 23 |
| < 2 μm | 28 | | 5 | 8 | 55.5 | 31 | 11 |
| Organische st. (mg/kg d.s.) | | | | | | | |
| - PAK (10) | 40 | n.g. | 1.5 | 20.0 | 148 | 79.6 | 99 |
| - olie (GC) | 1150 | | < 50 | 380 | 2230 | 1200 | 6 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 2 | 4 | 3-4 | | |

n.g.: niet geanalyseerd
#) : percentage t.o.v. volledige uitgangsmateriaal
*) : calculated feed: vracht berekend uit deelfracties 2mm-63μm + 16-63μm + <16μm; dus zonder oversize >2mm
**) : percentuele afwijking van calculated feed t.o.v. uitgangsmateriaal <2mm

**Tabel 4.2**
**Resultaten Fingerprintmethode Stadsgrachten Amersfoort**

| Fracties | uitgang | >2mm #) | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 26.8 | 52.6 | 29.8 | 17.6 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 12 | n.g. | <1.0 | 1.6 | 30.5 | 6.1 | -49 |
| Korrelgrootteverdeling(%) | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 1000 μm | 99 | | 95 | 100 | 100 | 97 | -2 |
| < 500 μm | 92 | | 76 | 99 | 100 | 87 | -5 |
| < 250 μm | 71 | | 29 | 89 | 99 | 59 | -17 |
| < 125 μm | 38 | | 2.6 | 30 | 98 | 27.6 | -27 |
| < 63 μm | 26 | | <2.0 | 4.5 | 96 | 18.2 | -30 |
| < 50 μm | 24 | | <2.0 | 2.3 | 93 | 17.1 | -29 |
| < 32 μm | 22 | | <2.0 | <2.0 | 90 | 17.1 | -22 |
| < 16 μm | 19.5 | | <2.0 | <2.0 | 27 | 4.8 | -76 |
| < 2 μm | 13.5 | | <2.0 | <2.0 | 14 | 2.4 | -82 |
| Metalen (mg/kg d.s.) | | | | | | | |
| - chroom | 20 | n.g. | <10 | <10 | 68 | 16 | -20 |
| - nikkel | 8.5 | | <5 | <5 | 37 | 8.6 | 1 |
| - koper | 97 | | 5 | 20 | 275 | 57 | -41 |
| - zink | 730 | | 35 | 85 | 1650 | 334 | -54 |
| - cadmium | 1.7 | | <0.2 | <0.2 | 4.0 | 0.8 | -54 |
| - lood | 500 | | 84 | 130 | 1375 | 325 | -35 |
| - arseen | 13 | | <10 | <10 | 38 | 10.8 | -17 |
| - kwik | 3.2 | | 0.6 | 0.8 | 11.4 | 2.5 | -21 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 2 | 1-2 | 4 | | |

**Tabel 4.3**
**Resultaten Fingerprintmethode Kattendiep Kampen**

| Fracties | uitgang | >2mm #) | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 0.7 | 65.4 | 7.2 | 27.4 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | <1.0 | n.g. | <1.0 | 3.75 | 15.25 | 4.4 | 100 |
| Korrelgrootteverdeling (%) | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 1000 μm | 95 | | 92 | 100 | 100 | 95 | 0 |
| < 500 μm | 69 | | 45 | 98 | 100 | 64 | -7 |
| < 250 μm | 47 | | 10 | 96 | 100 | 41 | -13 |
| < 125 μm | 38 | | <2.0 | 93 | 100 | 34 | -10 |
| < 63 μm | 34 | | <2.0 | 76 | 99 | 33 | -4 |
| < 50 μm | 32 | | <2.0 | 66 | 98 | 32 | -1 |
| < 32 μm | 29 | | <2.0 | 38 | 98 | 30 | 2 |
| < 16 μm | 26 | | <2.0 | 13.5 | 65 | 19 | -27 |
| < 2 μm | 15 | | <2.0 | 10 | 39.5 | 11.5 | -23 |
| Metalen (mg/kg d.s.) | | | | | | | |
| - chroom | 260 | n.g. | <10 | 88 | 585 | 170 | -35 |
| - nikkel | 33 | | <5 | 22.5 | 81 | 25.4 | -23 |
| - koper | 170 | | <5 | 62 | 390 | 113 | -34 |
| - zink | 980 | | 43 | 365 | 2200 | 657 | -33 |
| - cadmium | 14.5 | | <0.2 | 3.9 | 34.5 | 9.8 | -32 |
| - lood | 220 | | <10 | 80 | 490 | 143.3 | -35 |
| - arseen | 33 | | <10 | 12 | 78 | 25.5 | -23 |
| - kwik | 5.4 | | 1.3 | 1.8 | 13 | 4.5 | -16 |
| PCB (7) (μg/kg d.s.) | 380 | n.g. | <10 | 125 | 790 | 225 | -41 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 2-3 | 3 | 4 | | |

## 4.3 Bespreking van de 'fingerprint'-resultaten

Uit de korrelgrootteverdelingen van het uitgangsmateriaal en de opgeleverde fracties blijkt dat:

- In de met behulp van duo-hydrocyclonage afgescheiden fractie >63 μm is slechts een kleine hoeveelheid materiaal <63 μm aanwezig; met uitzondering van de 'plakkerige' Petroleumhavenspecie ligt bij alle species het percentage < 63μm in deze fractie onder de 2%;
- De grootte van de door duo-hydrocyclonage afgescheiden fractie 16-63μm wijkt in sterke mate af van de grootte die op basis van de korrelgrootteverdelingen van zowel calculated feed en uitgangsmateriaal verwacht werd. Bovendien blijkt uit de korrelgrootteverdelingen van de afgescheiden fractie dat de hoeveelheid materiaal tussen 16 en 63 μm niet groot is:

Resultaten t.a.v. door duo-hydrocyclonage afgescheiden fracties 16-63 μm:

| | grootte van de door duo-hydroc. afgescheiden fractie 16-63μm (%) | aanwezige fractie 16-63μm in uitgang op basis van korrelgr.verd. (%) | aanwezige fractie 16-63μm in calc. feed op basis van korrelgr.verd. (%) | grootte van hoeveelheid materiaal 16-63μm in afgesch. fractie (%) |
|---|---|---|---|---|
| Petroleumhaven | 27.8 | 3 | 2 | 2 |
| Stadgrachten Amersfoort | 29.8 | 6.5 | 13.4 | >2.5 |
| Kattendiep Kampen | 7.2 | 6 | 14 | 62.5 |

Naast het optreden van 'gebruikelijk misplacement' kunnen deze resultaten deels verklaard worden door de 'werking' van de hydrocycloon; naast het afscheiden van minerale deeltjes tussen 16 en 63 $\mu$m zullen ook grotere maar lichtere (organische deeltjes) in deze fractie terecht komen. Uit de zintuiglijke waarnemingen is gebleken dat deze deeltjes met name in de Petroleumhaven- en Amerfoort-specie aanwezig zijn.
Bovendien wordt de betrouwbaarheid van een deetjesgrootteverdeling op basis van een zeefkromme bij fijne fracties in twijfel getrokken worden. Dit geldt met name voor de Petroleumhavenspecie, waarbij het 'plakkerige' karakter van de specie een belangrijke rol gespeeld kan hebben;

- In de afgescheiden fractie $<16$ $\mu$m is slechts een kleine hoeveelheid grover materiaal ($>16$ $\mu$m) aanwezig. Uit de resultaten van de SCG-krommes blijkt weliswaar dat de gemeten percentages $<16\mu$m in de fractie "$<$ 16 $\mu$m" weliswaar niet zo hoog zijn (A'dam, A'frt en Kampen: $<16\mu$m = respectievelijk 75, 27 en 65%) maar uit de gemeten percentages $<32\mu$m[6] blijkt dat wel een relatief fijne fractie is afgescheiden (A'dam, A'frt en Kampen: $<32\mu$m = respectievelijk 77, 90 en 98%).

Een vergelijking tussen het geanalyseerde uitgangsmateriaal en de berekende "calculated feed" kan op twee manieren worden gemaakt:

1. Het geanalyseerde uitgangsmateriaal wordt als uitgangspunt genomen. Argument hiervoor is dat in het huidige geval aan alle drie de instanties hetzelfde uitgangsmateriaal aangeleverd is (na intensieve homogenisatie) en vervolgens geanalyseerd is. Door vergelijken van al deze gegevens kan een betrouwbaar beeld gevormd worden van het 'gemiddelde' uitgangsmateriaal;
2. De calculated feed wordt als uitgangspunt genomen. Argument hiervoor is dat deze methode in de proces(mineraal)industrie gangbaar is en betrouwbaarder dan analyse van het uitgangsmateriaal geacht wordt.

In het onderhavig onderzoek wordt de eerste methode gehanteerd, gezien het feit dat het uitgangsmateriaal drie maal geanalyseerd is (en niet slechts eenmaal zoals gebruikelijk is bij "calculated feedmethode"), zodat een betrouwbaar beeld ontstaat van dit uitgangsmateriaal.

Uit de vergelijking van berekende totalen van de korrelgrootteverdelingen is een discrepantie zichtbaar; er lijkt bij de species uit Amersfoort en Kampen een hoeveelheid (vooral fijn) materiaal te 'missen' (negatieve afwijking bij korrelgrootteverdelingen). Bij de specie uit Amsterdam lijkt het omgekeerde effect te zijn opgetreden, maar dit kan verklaard worden door een niet representatieve waarde (te laag) van het uitgangsmateriaal (zie par. 6.1).

Uit de berekende vrachttotalen aan verontreinigingen van zowel het uitgangsmateriaal en de fracties lijkt er bij de species uit Amersfoort en Kampen een hoeveelheid verontreiniging te 'missen' (negatieve afwijking bij metalen en/of organische verontreinigingen) in tegenstelling tot de specie uit Amsterdam. Deze veronderstelling komt overeen met de waarnemingen bij de korrelgrootteverdelingen (verontreinigingen voornamelijk verbonden aan de fijne fractie).

---

6) Bij Petroleumhavenspecie is percentage $<32$ $\mu$m berekent uit geanalyseerde fracties $<50$ $\mu$m en $<$ 16 $\mu$m

# 5 RESULTATEN OPSTROOMMETHODE

## 5.1 Werkwijze

Na het afscheiden van het materiaal grover dan 2,8 mm en homogenisatie van het gezeefde materiaal is een mengmonster genomen, dat als "uitgangsmateriaal voor de opstroomkolom" is geanalyseerd op chemische kwaliteit en korrelgrootte. In totaal is 1 tot 2,5 kg d.s. in behandeling genomen.

Het resterende uitgangsmateriaal is in de opstroom-installatie ingevoerd. Deze installatie is speciaal aangepast zodat gescheiden kon worden op 16 en 63 $\mu$m. Met het scheiden op 16 $\mu$m met opstroomkolommen was bij TAUW nog geen ervaring opgedaan. Het debiet van de opstroominstallatie is zodanig ingesteld dat het materiaal gescheiden wordt op 63 $\mu$m in de eerste kolom en op 16 $\mu$m in de tweede kolom.

De fracties 16-63 $\mu$m en $<16$ $\mu$m bleken slecht bezinkbaar. Om deze reden is flocculant toegevoegd. Na bezinking is het bovenstaande water gedecanteerd, waarna monsters zijn genomen. Deze monsters zijn in duplo aangeleverd bij het laboratorium en ook in duplo geanalyseerd.

Na uitvoering van deze (eerste) test in de opstroomkolom is er contact geweest tussen TAUW en POSW. TAUW gaf aan dat aangezien het de eerste keer was dat gescheiden werd op 16 $\mu$m, er twijfels waren over de kwaliteit van deze scheiding. De kwaliteit van de scheiding op 63 $\mu$m was volgens TAUW wel goed. Op eigen initiatief heeft TAUW het uitgangsmateriaal (een andere emmer dan gebruikt voor de eerste test) nogmaals gefractioneerd door middel van de opstroommethode. De massaverdeling hiervan is ook aan POSW ter beschikking gesteld, de monsters van deze laatste test zijn niet meer door POSW geanalyseerd.

Verschillen tussen de eerste en tweede opstroomtest zijn:
- er is een aanpassing (verbetering) aangebracht aan de configuratie van de opstroomkolom voor de scheiding op 16 $\mu$m;
- de ervaring uit de eerste test is gebruikt bij de tweede test;
- bij de tweede test is meer materiaal ingezet (3 tot 9 kg d.s. in plaats van 1 tot 2,5 kg d.s.).

Voor een volledige beschrijving van de handelingen uitgevoerd ten behoeve van het karakterisatieonderzoek volgens opstroommethode wordt verwezen naar de rapportage van TAUW [7].

Alle door TAUW vervaardigde deelfracties verkregen uit de eerste keer fractioneren zijn in duplo geanalyseerd. De volledige analyseresultaten zijn weergegeven in de het rapport van Niebeek en zijn samengevat in bijlage 1.

---

[7] Karakterisering van drie monsters waterbodem met behulp van opstroming, TAUW, R3433242.M02/JGC, november 1995

## 5.2 Resultaten

De massabalans en de bijbehorende analyseresultaten zijn weergegeven in bijlage 1 en beknopt weergegeven in tabellen 5.2 t/m 5.4.

Tijdens de zeefstap op 2,8 mm (voorbereidingsstap voorafgaande aan de opstroomtesten) is met name bij de specie uit de Petroleumhaven een relatief grote fractie afgescheiden (eerste test 63,8% en bij de tweede 46,1% van het uitgangsmateriaal). Deze fractie bestond met name uit kiezels en puin. Op het grote verschil tussen de verschillende fractioneringsmethodes in hoeveelheid afgescheiden materiaal > 2mm, resp. > 2,8 mm wordt in hoofdstuk 7 teruggekomen.

**Tabel 5.2**
**Resultaten Opstroommethode Petroleumhaven Amsterdam**

| Fracties | uitgang | >2.8 mm #) | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 63.8 | 16.9 | 47.1 | 36 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 10.5 | n.g. | 1.7 | 13.7 | 21 | 14.3 | 36 |
| Korrelgrootteverdeling (%) | | n.g. | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 210 μm | 70 | | 61 | 68 | 68 | 67 | -5 |
| < 63 μm | 40 | | 2.6 | 63 | 61 | 52 | 29 |
| < 50 μm | 40 | | 2.6 | 63 | 60 | 51 | 28 |
| < 16 μm | 39 | | 2.5 | 59 | 51 | 46 | 18 |
| < 2 μm | 35 | | 2.4 | 47 | 39 | 36 | 4 |
| Organische st. (mg/kg d.s.) | | | | | | | |
| - PAK (10) | 360 | n.g. | 35 | 315 | 10 | 158 | -56 |
| - olie (GC) | 5600 | | 670 | 5050 | 400 | 2650 | -52 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 3-4 | 4 | 4 | | |

n.g.: niet geanalyseerd
#) : percentage t.o.v. volledige uitgangsmateriaal
*) : calculated feed berekend uit deelfracties 2mm-63μm + 16-63μm + <16μm; dus zonder oversize
**) : percentuele afwijking t.o.v. uitgang

**Tabel 5.3**
**Resultaten Opstroommethode Stadsgrachten Amersfoort**

| Fracties | uitgang | >2.8 mm #) | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 0.6 | 69.5 | 15.9 | 14.6 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 7.1 | n.g. | 1.0 | 15.5 | 31 | 7.7 | 8 |
| Korrelgrootteverdeling | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 1000 μm | 98 | | 99 | 100 | 100 | 99 | 1 |
| < 500 μm | 89 | | 94 | 97 | 100 | 95 | 7 |
| < 250 μm | 63 | | 68 | 95 | 100 | 77 | 22 |
| < 125 μm | 24 | | 15.5 | 90 | 100 | 40 | 65 |
| < 63 μm | 11 | | <2.0 | 88 | 100 | 29 | 160 |
| < 50 μm | 9.7 | | <2.0 | 88 | 100 | 29 | 195 |
| < 32 μm | 7.8 | | <2.0 | 88 | 94 | 28 | 253 |
| < 16 μm | 6.4 | | <2.0 | 88 | 69 | 24 | 276 |
| < 2 μm | 3 | | <2.0 | 78 | 62 | 21 | 610 |
| Metalen | | | | | | | |
| - chroom | 13 | n.g. | <10 | 64 | 67 | 23.4 | 80 |
| - nikkel | 8.5 | | 4 | 29 | 42 | 13.4 | 57 |
| - koper | 83 | | 16 | 130 | 335 | 81 | -3 |
| - zink | 410 | | 72 | 475 | 1725 | 377 | -8 |
| - cadmium | 1.1 | | <0.2 | 2.6 | 6.2 | 1.4 | 25 |
| - lood | 390 | | 124 | 225 | 1350 | 319 | -18 |
| - arseen | <10 | | <10 | 24 | 34 | 12.2 | nvt |
| - kwik | 3.8 | | 0.3 | 3.3 | 8.8 | 2.0 | -48 |
| Klasse (volgens ENW) | 3 | | 0-1 | 2 | 4 | | |

**Tabel 5.4**
**Resultaten Opstroommethode Kattendiep Kampen**

| Fracties | uitgang | >2.8 mm #) | 2mm-63μm | 16-63μm | <16μm | Calcul. feed *) | Afwijking (%) **) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 0 | 33.1 | 45.9 | 21 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 7.8 | n.g. | <1.0 | 11.3 | 16.5 | 8.6 | 11 |
| Korrelgrootteverdeling | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 1000 μm | 99 | | 93 | 100 | 100 | 98 | -1 |
| < 500 μm | 86 | | 47 | 100 | 100 | 83 | -4 |
| < 250 μm | 62 | | 13.5 | 100 | 100 | 71 | 15 |
| < 125 μm | 54 | | 8 | 100 | 100 | 70 | 29 |
| < 63 μm | 46 | | 7.5 | 92 | 100 | 66 | 43 |
| < 50 μm | 42 | | 7.5 | 89 | 100 | 64 | 53 |
| < 32 μm | 37 | | 7.5 | 82 | 100 | 61 | 65 |
| < 16 μm | 32 | | 7.25 | 57 | 89 | 47 | 47 |
| < 2 μm | 20 | | 6.8 | 34 | 74 | 33 | 71 |
| Metalen | | | | | | | |
| - chroom | 290 | n.g. | <10 | 187 | 865 | 267 | -7 |
| - nikkel | 42 | | 6.9 | 48 | 93 | 44 | 4 |
| - koper | 190 | | 3.8 | 161 | 570 | 195 | 3 |
| - zink | 970 | | 87 | 665 | 2500 | 859 | -11 |
| - cadmium | 16 | | 0.4 | 10.4 | 48 | 15 | -6 |
| - lood | 240 | | 5.5 | 188 | 700 | 235 | -2 |
| - arseen | 35 | | <10 | 27 | 83 | 30 | -10 |
| - kwik | 7.3 | | 0.1 | 4.4 | 21 | 6.4 | -10 |
| PCB (7) | 460 | n.g. | <10 | 1000 | 730 | 620 | 35 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 2 | 4 | 4 | | |

## 5.3 Bespreking van de 'opstroom'-resultaten

Uit de korrelgrootteverdelingen van het uitgangsmateriaal en de opgeleverde fracties blijkt dat:

- In de met behulp van opstroomkolommen afgescheiden fractie >63 μm is slechts een kleine hoeveelheid materiaal <63 μm aanwezig; bij alle species ligt het percentage < 63μm in deze fractie onder de 7,5%;
- De grootte van de door opstroomkolommen afgescheiden fractie 16-63μm wijkt, net als bij de fingerprintmethode, in sterke mate af van de grootte die op basis van de korrelgrootteverdelingen van zowel calculated feed en uitgangsmateriaal verwacht werd. Bovendien blijkt uit dat de korrelgrootteverdelingen van de afgescheiden fractie dat wederom de hoeveelheid materiaal tussen 16 en 63 μm niet groot is:

  Resultaten t.a.v. door opstroomkolommen afgescheiden fracties 16-63 μm:

| | grootte van de door opstroomkol. afgescheiden fractie 16-63μm (%) | aanwezige fractie 16-63μm in uitgang op basis van korrelgr.verd. (%) | aanwezige fractie 16-63μm in calc. feed op basis van korrelgr.verd. (%) | grootte van hoeveelheid materiaal 16-63μm in afgesch. fractie (%) |
|---|---|---|---|---|
| Petroleumhaven | 47.1 | 1 | 6 | 4 |
| Stadgrachten Amersfoort | 15.9 | 4.6 | 5 | <1 |
| Kattendiep Kampen | 45.9 | 12 | 19 | 35 |

  Als verklaring voor dit fenomeen kunnen vergelijkbare redenen aangevoerd worden als bij de fingerprintmethode: 'gebruikelijk misplacement', 'werking' van de hydrocycloon (afscheiden van grotere maar lichtere organische deeltjes) en betrouwbaarheid van een deetjesgrootteverdeling op basis van een zeefkromme bij fijne fracties;
- In de afgescheiden fractie < 16 μm is een kleine tot matige hoeveelheid grover materiaal (> 16 μm) aanwezig. Uit de resultaten van de SCG-krommes blijkt welliswaar dat de gemeten percentages <16μm in de fractie "< 16 μm" weliswaar niet zo hoog zijn (A'dam, A'frt en Kampen: <16μm = respectievelijk 51, 69 en 89%) maar de gemeten percentages <32μm zijn hoopvol (A'dam, A'frt en Kampen: <32μm = resp. 57, 94 en 100%).
- Uit de berekende totalen van de korrelgrootteverdelingen lijkt er bij alle species materiaal te zijn bijgekomen (berekende totaal aan minerale deeltjes uit fracties is hoger dan uitgangsmateriaal).
  Bij de mindere resultaten van de fracties 16-63μm en <16μm van de Petroleumhavenspecie kan het 'plakkerige' karakter van de specie een rol gespeeld hebben (zowel bij fractioneren als bij analyse achteraf).

Uit de analyses op verontreinigingen van het uitgangsmateriaal en de fracties blijkt dat:

- Uit de berekende vrachttotalen van de verontreinigingen lijkt bij de species uit Amersfoort en Kampen de massabalansen redelijk sluitend te zijn (percentuele afwijking bij de metalen schommeld rond de "0"). Deze veronderstelling sluit echter niet aan bij de waarnemingen ten aanzien van de korrelgrootteverdelingen;
- De verontreinigingenbalans van de specie uit de Petroleumhaven is niet sluitend, circa de helft van de vracht aan organische verontreinigingen mist. Reden hiervoor is waarschijnlijk de aanwezigheid van een groot deel aan verontreiniging in de (niet geanalyseerde) grove fractie >2,8 mm), met name grote discrete PAK-deeltjes en grof

organisch materiaal. Bovendien zal het zeer heterogene voorkomen van de verontreiniging (discrete PAK-deeltjes en versmering van bepaalde deeltjes) een rol gespeeld hebben.

TAUW heeft de opstoomkolomkarakterisatie tweemaal uitgevoerd met hetzelfde uitgangsmateriaal. De verschillen in massaverdeling zijn weergegeven in tabel 5.5.

**Tabel 5.5**
**Verschil in massaverdeling tussen 1e en 2e opstroomtest**

| Specie/fractie | Massaverdeling (%) na 1e opstroomtest | Massaverdeling (%) na 2e opstroomtest |
|---|---|---|
| Petroleumhaven, Amsterdam: | | |
| - < 16 μm | 36.0 | 6.1 |
| - 16-63 μm | 47.1 | 47.5 |
| - 63μm - 2mm | 16.9 | 46.4 |
| Grachten, Amersfoort | | |
| - < 16 μm | 14.6 | 9.0 |
| - 16-63 μm | 15.9 | 32.6 |
| - 63μm - 2mm | 69.5 | 58.4 |
| Grachten, Amersfoort | | |
| - < 16 μm | 21.0 | 5.8 |
| - 16-63 μm | 46.0 | 26.8 |
| - 63μm - 2mm | 33.1 | 67.4 |

Op basis van de veranderingen, die TAUW heeft uitgevoerd tussen de eerste en tweede opstroomtest, mag verwacht worden dat de massahoeveelheid >63 μm relatief constant is. Bij vergelijking van de massaverdelingen na de eerste en tweede opstroomtest blijkt echter dat er nog verschillen bestaan tussen fracties > 63 μm. TAUW heeft hier optimalisatie na de eerste test als reden voor gegeven; de tweede test moet dan ook als meer betrouwbaar worden gezien. Met uitzondering van de Petroleumspecie ('plakkerig' karakter) komen de resultaten ten aanzien van de fractiegroottes > 63 μm van deze tweede test ook beter overeen met de fingerprintresultaten.

# 6 RESULTATEN T2000-METHODE

## 6.1 Werkwijze

Per locatie zijn verschillende emmers aangeleverd en bij elkaar gevoegd. Dit materiaal is met behulp van een mechanische menger gehomogeniseerd. Daarna is van elke locatie een monster van ca 2 kg genomen. Deze monsters zijn nat gezeefd over een zeef van 2 mm. De fractie groter dan 2 mm is gedroogd en gewogen. De fractie kleiner dan 2 mm fungeerde als uitgangsmateriaal voor de karakterisatieproeven.

## 6.2 Scheiding op basis van deeltjesgrootte

Het uitgangsmateriaal (inzet circa 1-1,5 kg d.s. per specie) is nat gezeefd op 500 $\mu$m en vervolgens op 63 $\mu$m volgens het T2000-geschiktheidsprotocol. Tijdens het zeven is het monstermateriaal intensief met water besproeid om zodoende alle samengeklonterde deeltjes uit elkaar te laten vallen. De grove fractie (> 500 $\mu$m) is ontdaan van water en gewogen. In de fijne fractie (< 63 $\mu$m) is ook al het gebruikte water verzameld, waardoor een waterige slurry is ontstaan. Na enkele dagen bezinken is het bovenstaande water afgeheveld. Van dit afgehevelde water is ter controle ook een monster genomen. Na afheveling van het water is de massa van de slibfractie (< 63 $\mu$m) bepaald. De zo ontstane fracties 2 mm - 500 $\mu$m, 500 - 63 $\mu$m en < 63 $\mu$m zijn geanalyseerd.

Vervolgens is een gedeelte van deze slibfractie gezeefd over een zeef van 20 $\mu$m (zeven op 16 $\mu$m is praktisch niet mogelijk). Deze stap is aanvullend ten opzichte van het uitvoeringsprotocol van de T2000-geschiktheidsproef, zoals opgesteld door TNO/(ARCADIS) Heidemij Realisatie. Reden hiervoor is een vergelijk te kunnen maken met de uitvoering van de fingerprint- en de opstroommethode, waarbij een fractie op 16 $\mu$m is afgescheiden. Bij deze zeving op 20 $\mu$m is het monstermateriaal intensief met water besproeid. Het hiervoor gebruikte water en de zeefdoorval (de deeltjes kleiner dan 20 $\mu$m) zijn niet opgevangen. De reden hiervoor is dat bij deze zeefstap het monstermateriaal met zeer veel water (ca 100 liter) besproeid dient te worden, omdat anders zeving over zo'n fijne maaswijdte niet mogelijk is. De fractie 20-63 $\mu$m is wel opgevangen, gewogen en geanalyseerd.
Door de plastische samenstelling van de specie uit de Petroleumhaven te Amsterdam was zeven op een zeef met zeefmaat 20 $\mu$m niet mogelijk. De fijne fractie van deze specie is gezeefd op 45 $\mu$m.

Op bovenstaande wijze zijn dus na deze zeefstappen (dus vóór dichtheidsscheiding) de massaverdelingen en kwaliteit van de volgende fracties bepaald (zie bijlage 1):
- 2mm-500$\mu$m,
- 500-63$\mu$m,
- 63-20/45$\mu$m,
- <63$\mu$m

De fractie 2mm-63$\mu$m is berekend uit de gemeten fracties 2mm-500$\mu$m en 500-63$\mu$m. De fractie <20/45 $\mu$m (massa en samenstelling) is berekend uit de gemeten fracties 20/45-63 $\mu$m en < 63 $\mu$m.

## 6.3 Scheiding op basis van dichtheid

Na de scheiding op basis van deeltjesgrootte is scheiding op basis van dichtheid uitgevoerd. Voor de scheiding op basis van dichtheid is gebruik gemaakt van zogenaamde zware vloeistoffen.

Een deel van de fractie 63-500 $\mu$m is in een vloeistof met een dichtheid van ca. 2000 kg/m$^3$ gevoegd. De ontstane slurry is intensief geroerd waarna het materiaal de gelegenheid kreeg om te bezinken c.q. opdrijven. Deze handeling is enige malen herhaald. Vervolgens is de drijvende fractie (< 2000 kg/m$^3$) verwijderd. Deze fractie, voornamelijk bestaande uit organisch stof, is gespoeld met water, gefiltreerd en gewogen.

De zinkende fractie (> 2000 kg/m$^3$) is ontdaan van de vloeistof waarna een vloeistof met een dichtheid van ca. 2900 kg/m$^3$ aan deze fractie is toegevoegd. Ook hier is een handeling van roeren en laten uitzakken uitgevoerd. De drijvende fractie (2000 - 2900 kg/m$^3$) en de zinkende fractie (> 2900 kg/m$^3$) zijn daarna beide van de vloeistof ontdaan, gespoeld met water, gefiltreerd en gewogen.

De resterende zandfractie (63-500 $\mu$m) met dichtheid (2000-2900 kg/m$^3$) is te vergelijken met de zandfractie die in de praktijk gecycloneerd is met een scheidingsdiameter van circa 63 $\mu$m, waarna er een dichtheidscheidingsstap op deze zandfractie uit de onderloop is uitgevoerd (m.b.v. spiralen of opstroomscheider).

In totaal is het uitgangsmateriaal (zandfractie 63-500 $\mu$m) door middel van de twee dichtheidsscheidingsstappen gescheiden in drie fracties:
- fractie 63-500 $\mu$m; < 2000 kg/m$^3$
- fractie 63-500 $\mu$m; 2000-2900 kg/m$^3$
- fractie 63-500 $\mu$m; > 2900 kg/m$^3$

Alle fracties plus het uitgangsmateriaal (zowel voor als na de dichtheidsscheiding) zijn in duplo geanalyseerd, indien daar genoeg monstermateriaal voor aanwezig was (zie bijlage 1).

## 6.4 Resultaten

De massabalans en de bijbehorende analyseresultaten zijn weergegeven in bijlage 1 en beknopt weergegeven in tabellen 6.1 t/m 6.3.

Zintuiglijk is er tijdens de uitvoering van de 'T2000-geschiktheidstesten' het volgende waargenomen:

Petroleumhaven, A'dam: De specie is zwart van kleur en visueel duidelijk met olieachtige producten verontreinigd. De fractie > 2 mm bestond voornamelijk uit schelpmateriaal en minerale deeltjes. De bewerking van de specie werd bemoeilijkt door de grote mate van 'kleven' van het materiaal waardoor balletjes ontstonden (ondanks zeer intensief sproeien).

Grachten, Amersfoort: De specie is zwart van kleur. In de aangeboden specie zaten enkele (restanten van) bakstenen. Deze zijn verwijderd en buiten beschouwing gelaten. De overige fractie > 2mm bestond voornamelijk uit organisch materiaal.

Kattendiep, Kampen: De specie is grijs van kleur. De (kleine) fractie > 2mm bestaat voornamelijk uit minerale deeltjes.

Om vergelijking van de T2000-resultaten met de fingerprint- en opstroommethode mogelijk te kunnen maken zijn de fracties 2mm-63$\mu$m, 63-20/45$\mu$m en <20/45$\mu$m berekend uit gemeten (geanalyseerde) fracties. Dit is gedaan volgens de volgende formules:

| **Berekende fractie:** | **Geanalyseerde fracties:** |
|---|---|
| 2mm-63$\mu$m: | 2mm-500$\mu$m + 500-63$\mu$m (2000-2900 kg/m$^3$) |
| 63-20/45$\mu$m: | 63-20/45$\mu$m + 500-63$\mu$m (< 2000 kg/m$^3$) |
| <20/45$\mu$m: | <63$\mu$m - 63-20/45$\mu$m |

Uit deze berekeningswijze blijkt dat geen terugrekening met een 'onbekende' heeft plaatsgevonden; alle fracties zijn berekend uit geanalyseerde fracties. Het toevoegen van de lichte zandfractie (500-63$\mu$m < 2000 kg/m$^3$) aan de berekende fractie 63-20/45$\mu$m is arbitrair; in de praktijk kan een deel van deze fractie immers ook naar de fractie <20/45$\mu$m gaan.

De fractie 500-63$\mu$m (> 2900 kg/m$^3$) is bij deze berekeningsmethode buiten beschouwing gelaten. Dit is gedaan enerzijds omdat de afgescheiden massa zeer klein was (bij Petroleum-, Amersfoort- en Kampenspecie respectievelijk: 0%, 0,5% en 0,8%) en daarom niet geanalyseerd kon worden en anderzijds omdat deze fractie bij een praktijkscheiding via een aparte scheidingsstap (bijvoorbeeld 'zware' spiralen) wordt afgescheiden.

**Tabel 6.1**
**Resultaten T2000-methode Petroleumhaven Amsterdam**

| Fracties | uitgang | >2mm #) | 2mm-63$\mu$m | 45-63$\mu$m ##) | <45$\mu$m ##) | Totaal | Afwijking (%) *) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 2.4 | 40.3 | 9.0 | 50.7 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 9.9 | n.g. | 0.52 | 9.3 | 13.5 | 7.9 | -20 |
| Korrelgrootteverdeling (%) | | n.g. | | | | | |
| < 2000 $\mu$m | 100 | | 100 | ###) | ####) | | |
| < 210 $\mu$m | 68 | | 59 | | | | |
| < 63 $\mu$m | 36 | | <2.0 | | | | |
| < 50 $\mu$m | 35 | | <2.0 | | | | |
| < 16 $\mu$m | 32 | | <2.0 | | | | |
| < 2 $\mu$m | 24 | | <2.0 | | | | |
| Organische st. (mg/kg d.s.) | | | | | | | |
| - PAK (10) | 240 | n.g. | 16 | 959 | 223 | 206 | -14 |
| - olie (GC) | 3800 | | 675 | 17600 | 4100 | 3900 | -3 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 4 | 4 | 4 | | |

n.g.: niet geanalyseerd
#) : percentage t.o.v. volledige uitgangsmateriaal
##) : gezien de 'stroperigheid' van het uitgangsmateriaal was afzeven op 20$\mu$m (kleinst mogelijke zeefmaat) niet mogelijk en is gekozen voor de 45$\mu$m zeef
###) : te weinig monstermateriaal voorhanden voor een betrouwbare korrelgrootteverdeling, wel zijn metalen, PAK en olie geanalyseerd. Bovendien is wel de fractie < 63 $\mu$m geanalyseerd (zie bijlage 1)
####): niet geanalyseerd omdat er zeer veel water nodig was om deze fractie te verkrijgen (zie ook paragraaf 6.1.1) en niet berekend omdat fractie 45-63$\mu$m niet geanalyseerd is
*) : percentuele afwijking t.o.v. uitgang

**Tabel 6.2**
**Resultaten T2000-methode Stadsgrachten Amersfoort**

| Fracties | uitgang | >2mm #) | 2mm-63μm | 20-63μm | <20μm | Totaal | Afwijking (%) *) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 7.9 | 60.9 | 32.4 | 6.7 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 9.9 | n.g. | 3.7 | 22.3 | 24.3 | 11.1 | 12 |
| Korrelgrootteverdeling | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | #) | ###) | | |
| < 1000 μm | 99 | | 98 | | | | |
| < 500 μm | 94 | | 89 | | | | |
| < 250 μm | 71 | | 52 | | | | |
| < 125 μm | 34 | | 14 | | | | |
| < 63 μm | 22 | | <2 | | | | |
| < 50 μm | 20 | | <2 | | | | |
| < 32 μm | 17.5 | | <2 | | | | |
| < 16 μm | 14 | | <2 | | | | |
| < 2 μm | 7.6 | | <2 | | | | |
| Metalen | | | | | | | |
| - chroom | 19 | n.g. | <10 | 25 | 130 | 20 | 5 |
| - nikkel | 11.5 | | 4.1 | 17 | 81 | 13 | 17 |
| - koper | 1145 | | 56 | 140 | 960 | 144 | 25 |
| - zink | 530 | | 99 | 540 | 4600 | 546 | 3 |
| - cadmium | 1.6 | | 0.1 | 04 | <5 | 1.4 | -11 |
| - lood | 590 | | 320 | 680 | 3300 | 633 | 7 |
| - arseen | 16 | | 5.6 | 11 | 118 | 15 | -6 |
| - kwik | 3.5 | | 1.0 | 7.2 | 27 | 4.7 | 35 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 2 | 4 | 4 | | |

n.g.: niet geanalyseerd
#) : percentage t.o.v. volledige uitgangsmateriaal
##) : te weinig monstermateriaal voorhanden voor een betrouwbare korrelgrootteverdeling, wel zijn metalen, PAK en olie geanalyseerd. Bovendien is wel de fractie < 63 μm geanalyseerd (zie bijlage)
###): niet geanalyseerd omdat er zeer veel water nodig was om deze fractie te verkrijgen (zie ook paragraaf 6.1.1) en niet berekend omdat fractie 20-63μm niet geanalyseerd is
*) : percentuele afwijking t.o.v. uitgang

**Tabel 6.3**
**Resultaten T2000-methode Kattendiep Kampen**

| Fracties | uitgang | >2mm #) | 2mm-63μm | 20-63μm | <20μm | Totaal | Afwijking (%) *) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massaverdeling [m/m %] | 100 | 0.78 | 64.8 | 25.5 | 9.7 | 100 | 0 |
| Organische stof (%) | 5.4 | n.g. | 1.0 | 7.9 | 23.3 | 4.9 | -9 |
| Korrelgrootteverdeling | | | | | | | |
| < 2000 μm | 100 | n.g. | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| < 1000 μm | 96 | | 94 | | | | |
| < 500 μm | 68 | | 55 | | | | |
| < 250 μm | 42 | | 19 | 27 | 100 | 30 | -29 |
| < 125 μm | 32 | | 6 | | | | |
| < 63 μm | 27 | | <2 | 19 | 100 | 15 | -44 |
| < 50 μm | 26 | | <2 | 17 | 100 | 15 | -43 |
| < 32 μm | 25 | | <2 | | | | |
| < 16 μm | 22 | | <2 | 6 | 90 | 10 | -54 |
| < 2 μm | 12.5 | | <2 | 3 | 79 | 9 | -32 |
| Metalen | | | | | | | |
| - chroom | 180 | n.g. | 11.7 | 150 | 1350 | 175 | -2 |
| - nikkel | 27 | | 4.7 | 38 | 155 | 28 | 3 |
| - koper | 115 | | 7.1 | 124 | 1050 | 137 | 19 |
| - zink | 670 | | 82 | 675 | 4000 | 610 | -9 |
| - cadmium | 11 | | 0.5 | 9.3 | 81 | 10.6 | -4 |
| - lood | 155 | | 6 | 144 | 1200 | 153 | -1 |
| - arseen | 23 | | <10 | 23 | 146 | 23 | 1 |
| - kwik | 3 | | 0.6 | 3 | 36 | 5 | 55 |
| PCB (7) | 320 | n.g. | 17.3 | 475 | 975 | 227 | -29 |
| Klasse (volgens ENW) | 4 | | 1 | 4 | 4 | | |

n.g.: niet geanalyseerd
#) : percentage t.o.v. volledige uitgangsmateriaal
*) : percentuele afwijking t.o.v. uitgang

## 6.5 Bespreking van de T2000-Geschiktheidsproef-resultaten

Uit de korrelgrootteverdelingen van het uitgangsmateriaal en de opgeleverde fracties blijkt dat:

- Op basis van de door T2000-karakterisatie afgescheiden fractie >63μm van de Amersfoort- en Kattendiepspecie blijkt dat er in deze fractie nagenoeg geen hoeveelheid materiaal <63 μm aanwezig is. Dit wordt ook verwacht aangezien de scheiding m.b.v. zeven tot stand is gebracht;
- De grootte van de door T2000-karakterisatie afgescheiden fractie 20/45-63μm wijkt, net als bij de vorige karakterisatiemethoden, in sterke mate af van de verwachtte grootte. De afgescheiden fractie is in alle gevallen groter dan verwacht werd op basis van de korrelgrootteverdeling van het uitgangsmateriaal. Bij de resultaten van de Kattendiep-specie blijkt uit de korrelgrootte-verdeling van de afgescheiden fractie ook hier dat de hoeveelheid materiaal tussen 20/45 en 63 μm niet groot is. Verklaringen hiervoor zijn 'misplacement' (ook bij zeven), het toevoegen van de afgescheiden 'lichte' zandfractie (<2000 kg/m$^3$) aan de fractie 20/45-63μm maar vooral betrouwbaarheid van een deetjesgrootteverdeling op basis van een zeefkromme bij fijne fracties;
- Eenduidige uitspraken omtrent de samenstelling qua korrelgrootte van de fractie <20μm zijn niet te geven, aangezien deze fracties of niet te analyseren waren door hun geringe

omvang. Bij teruggerekend uit de fractie <63 $\mu$m en 20-63$\mu$m moet in sterke mate rekening gehouden worden met de onbetrouwbaarheid van de zeefkrommes (door vorming van agglomeraten van fijne (klei)deeltjes op de zeef).

Uit de analyses op verontreinigingen van het uitgangsmateriaal en de fracties blijkt dat van de berekende vrachttotalen van de verontreinigingen van alle species de massabalansen redelijk sluitend zijn. Alle 'berekende fractie' fracties zijn bepaald vanuit geanalyseerde fracties.

# 7 VERGELIJKEN VAN DE DRIE KARAKTERISATIEMETHODEN

## 7.1 Vergelijking van het uitgangsmateriaal

Bij het vergelijken van de karakterisatiemethoden is als uitgangspunt gehanteerd dat alle instituten hetzelfde uitgangsmateriaal krijgen. Hiertoe is intensief gehomogeniseerd voor verdeling en transport naar de instituten, die de verschillende karakterisatiemethoden hebben uitgevoerd.

Na afzeven op 2 of 2,8 mm en voor karakterisatie hebben alle instituten een monster genomen van de uitgangsspecie, welke geanalyseerd is. De complete vergelijking tussen de uitgangsspecies is weergegeven in bijlage 2. Hieruit blijkt dat er op sommige plaatsen duidelijke verschillen in de aangeleverde species naar voren komen:

- De analyse van het uitgangsmateriaal-monster van de Petroleumhavenspecie, zoals aangeleverd door POSW is aangeleverd aan Serasea, is niet representatief voor die behandelde specie (ondanks intensieve homogenisatie). Dit wordt geconcludeerd op basis van de onderstaande waarnemingen:
  - De verontreinigingsgraad van de Petroleumhaven-uitgangsspecie, zoals aangeleverd aan TAUW en DHV, ligt duidelijk hoger dan bij Serasea,
  - Het berekende totaal aan korrelgroottefracties en verontreinigingen (berekend uit afzonderlijke deelfracties van de Petroleumhavenspecie na karakterisatie) ligt bij Serasea duidelijk hoger dan het geanalyseerde monster van het uitgangsmateriaal.
- Het geanalyseerde uitgangsmateriaal afkomstig uit de Stadsgrachten Amersfoort, dat gebruikt is voor de opstroommethode door TAUW, wordt ondanks de lagere verontreinigingsgraad dan de monsters geleverd aan Serasea en DHV, wel representatief geacht voor de door TAUW behandelde specie. Dit wordt geconcludeerd op basis van de redelijk sluitende massabalans bij de opstroommethode voor deze specie.
- Het uitgangsmateriaal afkomstig uit het Kattendiep Kampen is redelijk consistent van samenstelling.

Bij alle door TAUW behandelde species is een verschil waargenomen tussen het ingewogen materiaal en de som van de deelfracties (op droge stof basis). Een verschil van 0% betekent dat de som van de massa van de verschillende deelfracties even groot is als de vooraf ingewogen hoeveelheid uitgangsmateriaal. De verschillen in percentage ten opzichte van de ingewogen hoeveelheden zijn weergegeven in tabel 7.1.

**Tabel 7.1**
**Verschillen (%) tussen ingewogen hoeveelheid en som van de deelfracties**

| Specie | Verschil (%) bij de eerste opstroomtest | Verschil (%) bij de tweede opstroomtest |
|---|---|---|
| Petroleumhaven Amsterdam | + 16.9 | - 13.0 |
| Stadsgrachten Amersfoort | - 3.0 | + 11.1 |
| Kattendiep Kampen | + 8.8 | - 0.2 |

Op basis van tabel 7.1 kan worden geconcludeerd dat de inzet van een grotere massa niet heeft geleid tot een meer sluitende massabalans.

Uit het bovenstaande blijkt dat het aangeboden materiaal niet in alle gevallen vergelijkbaar is geweest en mogelijk niet representatief voor de specie in-situ. Hetrogeniteiten in de specie hebben hierbij waarschijnlijk een belangrijke rol gespeeld, welke door de toegepaste intensieve homogenisatie voorafgaand aan de aanlevering aan de drie instituten, in onvoldoende mate is weggenomen[8]. Een andere aanwijzing hiervoor is dat de afgezeefde fractie > 2mm of 2,8 mm nogal kan verschillen per specie (tabel 7.2).

**Tabel 7.2**
**Vergelijking van afgezeefde fracties (> 2 mm of > 2,8 mm)**

| | Fingerprint | Opstroommethode (1e uitvoering) | Opstroommethode (2e uitvoering) | T2000-geschiktheidsproef |
|---|---|---|---|---|
| Petroleumhaven | 0.4 % | 63.8 % | 46.1 % | 1.5 % |
| Stadsgrachten Amersfoort | 26.8 % | 0.6 % | 25.0 % | 7.9 % |
| Kattendiep Kampen | 0.7 % | 0.0 % | 0.2 % | 0.8 % |

Uit het bovenstaande en tabel 7.2 blijkt dat met name de Petroleumhavenspecie en de specie uit de Stadgrachten Amersfoort sterk heterogeen qua samenstelling zijn geweest. Dit bemoeilijkt de vergelijking van de verschillende karakterisatiemethoden in ernstige mate.

## 7.2 Vergelijking van de massaverdelingen

Om de massaverdelingen, zoals bereikt na het fractioneren, met elkaar te kunnen vergelijken zijn:

- de massaverdelingen gegroepeerd in vergelijkbare klassen (2mm-63$\mu$m, 63-20$\mu$m en <20 $\mu$m) en in een diagram uitgezet (bijlage 3 en figuren 6.1 t/m 6.3). Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de T2000-proef 20 $\mu$m (bij Petroleum-specie zelfs 45 $\mu$m) in plaats van 16 $\mu$m als scheidingsdiameter is aangehouden;
- de korrelgrootteverdelingen van het uitgangsmateriaal en de verkregen fracties uitgezet in een korrelgrootteverdelingsdiagram (bijlage 3).

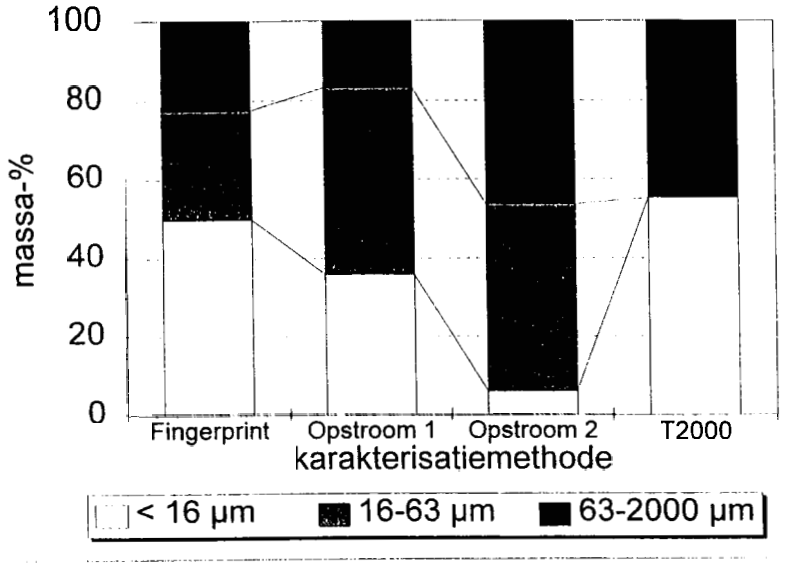
Bij de massaverdelingen van de Petroleumhavenspecie (figuur 6.1) manifesteren zich enorme verschillen. De fracties <16 $\mu$m liggen tussen de 6 en 51% terwijl de fracties 2mm-63$\mu$m tussen de 9 en de 48% liggen! De enorme verschillen zijn waarschijnlijk voor een groot deel te wijten aan de zeer lastige specie-eigenschappen en de grote heterogeniteit van de Petroleumhaven specie.

Echter, ook bij de species uit Amersfoort en Kampen (figuren 6.2 en 6.3) komen grote verschillen voor (> 20% verschil). Uit deze figuren valt niet al te leiden dat bepaalde karakterisatiemethoden stelselmatig dezelfde trend lijken te vertonen. Wel kan met betrekking tot de specie uit Amersfoort en Kampen (weglaten Amsterdam-specie vanwege 'plakkerig

8) Deze uitgevoerde intensieve homogenisatie was identiek voor alle species, zoals aangeleverd aan de drie instituten. De intensieve homogenisatie is uitgevoerd door Niebeek Milieumanagement, direct na het baggeren en voor verdeling van de gebaggerde specie over de vaten. Homogenistaie is uitgevoerd door de gebaggerde specie lange tijd te mengen met een betonmixer in een kleine (6 m$^3$) container.

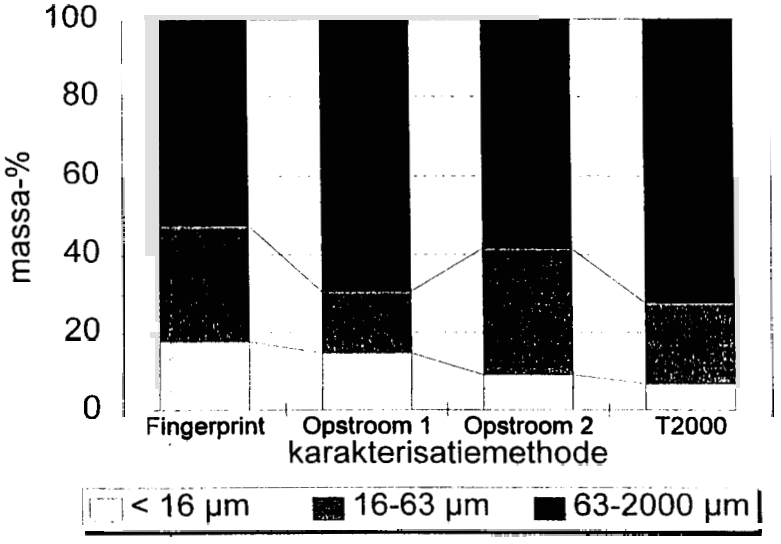
**Massaverdeling Petroleumhaven**

Figuur 6.1



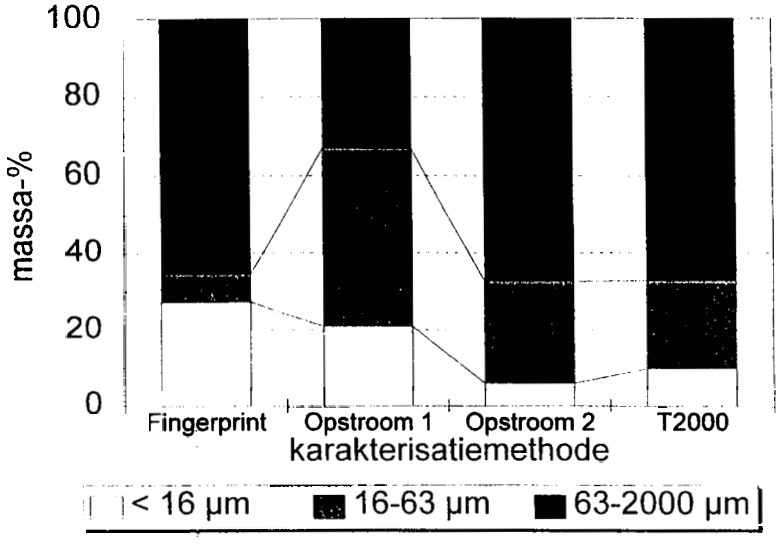

**Massaverdeling Grachten Amersfoort**

Figuur 6.2




**Massaverdeling Kattendiep Kampen**

Figuur 6.3



karakter') geconstateerd worden dat de tweede opstroomtest van TAUW een resultaat geeft dat beter overeenkomt met de fingerprint en T2000-karakterisatiemethode.

Ook uit de korrelverdelingen (bijlage 3) valt geen duidelijke relatie af te leiden:
- Tussen de deeltjesgrootteverdelingen van de fingerprint- en opstroommethode (vergelijkbaar in scheidingsprincipe) is geen correlatie af te leiden, soms levert in een bepaalde fractie de fingerprint-methode relatief fijn materiaal, soms omgekeerd;
- Bij de Kattendiep-specie zijn de invoeren van fingerprint en T2000 redelijk met elkaar te vergelijken, terwijl bij de fractie >63$\mu$m de opstroommethode en de fingerprint redelijk met elkaar overeenkomen. Bij de Amersfoortspecie liggen de verhoudingen weer anders; de invoeren van fingerprint en T2000 komen wederom redelijk overeen maar bij de fractie >63$\mu$m komen opstroommethode en T2000 redelijk overeen.

Gezien de problemen met het vergelijken van het afscheiden van de fijnste fractie (16, 20 of 45 $\mu$m) bij alle karakterisatiemethoden door de onbetrouwbaarheid van de korrelgrootteverdelingen door zeefkrommes bij fijne diameters, zijn tevens de afgescheiden fracties < 63$\mu$m van de verschillende karakterisatiemethoden met elkaar vergeleken. Dit is gedaan in tabel 7.3.

**Tabel 7.3**
**Massaverdelingen bij scheidingspunt op 63 $\mu$m**

| | | Fingerprintmethode | Opstroommethode *) | T2000-geschiktheidsproef |
|---|---|---|---|---|
| Petroleumhaven, Amsterdam | > 63 $\mu$m | 22.4 | 46.4 | 40.3 |
| | < 63 $\mu$m | 77.6 | 53.6 | 59.7 |
| Grachten, Amersfoort | > 63 $\mu$m | 52.6 | 58.4 | 60.9 |
| | < 63 $\mu$m | 47.4 | 42.6 | 39.1 |
| Kattendiep, Kampen | > 63 $\mu$m | 65.5 | 67.4 | 64.8 |
| | < 63 $\mu$m | 34.5 | 32.6 | 35.2 |

*): Resultaten van de tweede opstroomtest, welke door TAUW als representatiever beoordeeld is

Uit tabel 7.3 blijkt dat de massaverdeling (groter en kleiner dan 63 $\mu$m) bij Kattendiep Kampen goed en bij Amersfoort redelijk overeenkomt. De verschillen bij de Petroleumhavenspecies blijven groot (heterogeniteit en 'plakkerigheid'). De heterogeniteit binnen de Petroleumhavenspecie is mogelijk te verklaren doordat door de aanwezigheid van olie-achtige substanties (met zeer plakkerig karakter) niet goed heeft kunnen homogeniseren.

Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de karakterisatiemethoden qua massaverdeling redelijk vergelijkbare resultaten geven bij het bepalen van fracties groter en kleiner dan 63$\mu$m (mits er geen duidelijk verstorende factor aanwezig is zoals 'plakkerigheid'). Bij onderverdeling van de fractie <63$\mu$m in deelfracties zijn de resultaten niet vergelijkbaar meer (in extreme gevallen meer dan 20 massa-% verschil) na enkelvoudig uitgevoerde karakterisatie.
Bij deze conclusie is de Petroleumhavenspecie buiten beschouwing gelaten, gezien haar speciale specie-eigenschappen en de te negatieve invloed die deze op karakterisatie heeft gehad.

Opgemerkt moet worden dat er twijfels zijn omtrent het representatief zijn van de korrelgrootteverdelingen van het uitgangsmateriaal (met name de fijne fracties). Dit wordt geconcludeerd op grond van de enerzijds redelijk sluitende verontreinigingsbalansen (bij de

verschillende karakteriseringsmethoden) en de anderzijds relatief grote verschillen tussen het massa-percentage van de door zeving verkregen fracties en het massa-percentage van diezelfde fractie, die op grond van de korrelgrootteverdeling van het uitgangsmateriaal verwacht mocht worden.

## 7.3 Vergelijking van de kwaliteit van de fracties na karakterisatie

De kwaliteit van de fracties na karakterisatie is vergeleken door de individuele gehaltes te toetsen aan de Evaluatie Nota Water. De resultaten van deze toetsingen zijn samengevat in bijlage 4. De eindtoetsing per monster is weergegeven in tabel 7.4.

**Tabel 7.4**
**Toetsingsresultaten (in klasse volgens ENW) per fractie[9]**

| Karakterisatiemethode | Uitgangsmateriaal (<2mm) | Zand grof (2mm-63μm) | Zand fijn (16-63 μm) | Slib (<16μm) |
|---|---|---|---|---|
| - **Petroleumhaven Amsterdam** | | | | |
| Fingerprintmethode | 3 *) | 2 | 4 | 3-4 |
| Opstroommethode | 4 | 3-4 | 4 | 4 |
| T2000-Geschiktheidsproef (na zowel zeven als dichtheidsstap) | 4 | 4 | 4 | 4 |
| - **Stadsgrachten Amersfoort** | | | | |
| Fingerprintmethode | 4 | 2 | 1-2 | 4 |
| Opstroommethode | 3 | 0-1 | 2 | 4 |
| T2000-Geschiktheidsproef (na zowel zeven als dichtheidsstap) | 4 | 2 | 4 | 4 |
| - **Kattendiep Kampen** | | | | |
| Fingerprintmethode | 4 | 2-3 | 3 | 4 |
| Opstroommethode | 4 | 2 | 4 | 4 |
| T2000-Geschiktheidsproef (na zowel zeven als dichtheidsstap) | 4 | 1 | 4 | 4 |

**Legenda:**
*) : Uitgangsgehalte is niet representatief (te lage gehalten), zie paragraaf 6.1

Uit bijlage 4 en tabel 7.4 blijkt dat de kwaliteit van de fracties 16-63μm en < 16μm redelijk vergelijkbaar is. Alleen de kwaliteit van de fractie 20-63μm bij de T2000-test van de Amersfoortspecie ligt duidelijk lager (hogere klasse) dan de kwaliteit van diezelfde fractie bij fingerprint- en opstroommethode. Een eenduidige verklaring hiervoor is niet voorhanden, mogelijkerwijs is heterogeniteit hier de oorzaak (uitgangsmateriaal was wel vergelijkbaar, zie bijlage 2).
Ook de kwaliteit van de zandfractie bij de Kattendiep-specie verschilt. Het voorkomen van de klasse 3 zandfractie bij de fingerprintmethode is te wijten aan een hoog gehalte aan kwik. De overige gehaltes aan verontreinigingen zijn vergelijkbaar, evenals het uitgangsmateriaal.

Uit bovenstaande blijkt dat de kwaliteit van de fracties bij de verschillende karakterisatiemethoden redelijk vergelijkbare resultaten oplevert. Gezien de sterke

[9] Indien meerdere verontreinigingsklasses per fractie genoemd worden is dit te verklaren door het in duplo uitvoeren van de analyse van de betreffende fractie. De duplo analyses hebben vervolgens verschillende verontreinigingsklasses opgeleverd, die beide genoemd worden in tabel 7.4.

heterogeniteit, die over het algemeen in waterbodems aanwezig is, moet bij de interpretatie van de gegevens rekening worden gehouden met uitschieters. Derhalve is het meermalen uitvoeren van dezelfde karakterisatiemethode of het inzetten van een groot monstervolume aan te bevelen.

## 7.4 Vergelijking van uitvoeringswijze van de karakterisatiemethoden

Met name de fingerprintmethode is een arbeidsintensieve karakterisatiemethode, waarin gebruikt gemaakt wordt van een relatief grote apparaatopstelling (hydrocyclonenconfiguratie). Hierbij speelt ervaring en vakmanschap een belangrijke rol, vooral bij het instellen van de goede configuratie en kiezen van debieten etc.. Door jarenlange ervaring met de fingerprint heeft Serasea de uitvoering van de fingerprintmethode vastgelegd in standaardprocedures en is Serasea (net als TAUW en DHV) gecertificeerd volgens ISO 9001. Bovendien is de methode gepatenteerd.

Indien het uitvoeren van een karakterisatieproef op basis van hydrocyclonen door onervaren personeel of volgens een niet-vastgelegde (en gevalideerd) handelswijze geschiedt, zullen de resultaten onbetrouwbaar en slecht reproduceerbaar zijn, vanwege de vele instelparameters.

Ook bij de opstroommethode van TAUW wordt gebruikt gemaakt van een apparaatopstelling. Verschil met de fingerprintmethode is echter dat het aantal instelmogelijkheden beperkt is; uitsluitend de diameter van de opstroomkolom en het debiet kunnen gevarieerd worden. Indien een kolom met een bepaalde diameter (of een serie van kolommen) is gekozen bepaalt uitsluitend het debiet de scheidingsdiameter. De enige interpretatie die vereist is, is het bepalen van het einde van de proef (als het uitstromende water niet meer troebel is). De hele uitvoeringsmethodiek is vastgelegd middels een (intern-TAUW) protocol.

Ook bij de T2000-geschiktheidsproef ligt het uitvoeringsprotocol vast, de enige variabele die een laborant heeft, is het nemen van andere zeven of het samenstellen van zware vloeistoffen met iets andere dichtheden.

Het twee maal uitvoeren van de karakterisatie via de opstroommethode heeft aangetoond dat verschillen tussen resultaten mogelijk zijn. Bij TAUW was dat echter te wijten aan het feit dat met het afscheiden op 16 $\mu$m nog niet eerder ervaring was opgedaan. De ervaring van de eerste test is gebruikt bij de tweede, die dan ook een beter resultaat geeft (meer vergelijkbaar met de andere karakterisatiemethoden met uitzondering van de Petroleumhavenspecie). Aangezien de karakterisatiemethoden 'fingerprint en T2000' op de verschillende species slechts eenmaal zijn uitgevoerd (geen controlemogelijkheid), kunnen over betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid geen uitspraken worden gedaan. Wel is duidelijk dat de uitvoeringswijzen bij de betreffende drie uitvoerende instanties goed zijn vastgelegd middels protocollen. Aangezien de reproduceerbaarheid van dergelijke karakterisatiemethoden van groot belang is, maar in het huidige onderzoek niet onderzocht is, wordt aanvullend onderzoek naar de reproduceerbaarheid aanbevolen.

## 7.5 Vergelijking van kosten

Bij uitvoering van de verschillende karakterisatiemethoden (scheiding op 16 en 63 $\mu$m) kunnen de kosten van de methoden vergeleken worden (tabel 7.5).

Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande prijzen gebaseerd zijn op voorgaande

karakterisatieonderzoeken (in het kader van POSW) en het onderhavige onderzoek. Bij grootschalige uitvoering van één der testen of bij afwijking van de gangbare uitvoering kunnen de kosten afwijken.

**Tabel 7.5**
**Indicatieve kosten van de karakterisatiemethoden**

| Karakterisatiemethode | Prijsrange *) |
|---|---|
| Fingerprintmethode | *f* 5.000-7.000,- |
| Opstroommethode | *f* 1.000-1.250,- |
| T2000-geschiktheidsproef | *f* 900-1.500,- |

*) : Richtprijs excl. BTW, voor uitvoeren van karakterisatie door scheiding op 16 en 63 $\mu$m, zonder uitvoering van analyses op restfracties, interpretatie van resultaten en rapportage

Uit prijsvergelijking blijkt dat de fingerprintmethode aanmerkelijk duurder is dan de twee andere methoden, die in prijs niet veel van elkaar verschillen.

Een ander kostenaspect is dat er voor de uitvoering van de fingerprintmethode veel monstermateriaal nodig is. Serasea acht deze grote hoeveelheid noodzakelijk voor een goede schaal tussen laboratorium en praktijk. Bovendien is er een bepaalde minimum hoeveelheid nodig om de cycloonconfiguratie goed te kunnen laten draaien. Door Serasea is er bewust voor gekozen om deze grote monsterhoeveelheid door middel van baggeren (op kleine schaal, bijvoorbeeld door een knijper) te laten plaatsvinden. Op deze wijze wordt het monstermateriaal voor karakterisatie op vergelijkbare wijze verkregen als tijdens de praktijkuitvoering. In het verleden is namelijk nogal eens gebleken dat er verschil zat tussen de speciesamenstelling tijdens de onderzoeks- en uitvoeringsfase.
Door het op deze wijze verkrijgen van het monstermateriaal moeten dus weliswaar extra kosten gemaakt worden, maar is het aannemelijk dat daarmee beter wordt aangesloten bij de praktijk. De karakterisatieresultaten kunnen daardoor betrouwbaarder zijn (vanwege betrouwbaarder monstermateriaal door baggeren).

Voor de opstroomkolom en T2000-geschiktheidsproef is minder monstermateriaal nodig. Dit materiaal kan door middel van de 'normale' monstername (boren) procedure verkregen worden.

Voor beide methodes voor het verkrijgen van een uitgangsmonster voor karakterisatie is het essentieel dat een representatief mengmonster van het gehele interessegebied verkregen wordt (evenredig verdeeld over de betreffende oppervlak en ontgravingsdiepte).

# 8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

## 8.1 Conclusies

De drie vergeleken karakterisatiemethoden zijn allen met een bepaald doel en achtergrond ontworpen. De doelstellingen van de methoden zijn:

* *Fingerprintmethode:*
  Gedetailleerde voorspelling van de reinigbaarheid (oftewel het behandelingsresultaat van reiniging) van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), gericht op procesoptimalisatie van het scheidingsproces
* *Opstroommethode:*
  Globale voorspelling van de reinigbaarheid van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), tevens voorspelling van scheidingsresultaat bij inzet van sedimentatiebekken
* *T2000-Karakterisatiemethode (TDG-test)*
  Globale voorspelling van de reinigbaarheid van baggerspecie in een procesinstallatie (nadruk op kwaliteit/kwantiteit van de deelstromen), tevens indicatie voor effect van reinigingsprocessen volgend op de scheidingsstap.

Het is belangrijk bij het (laten) uitvoeren van een karakterisatie van baggerspecie vooral de aanleiding voor en het doel van het onderzoek goed te omschrijven. Op basis daarvan kan een weloverwogen keuze worden gemaakt tussen de bovenstaande karakterisatiemethoden.

De conclusies ten aanzien van het uitgevoerde onderzoek en de vergelijking van drie karakterisatiemethodes kunnen als volgt worden samengevat:

* Ondanks zeer intensieve homogenisatie van het gebaggerde uitgangsmateriaal voorafgaand aan het aanleveren aan Serasea, TAUW en DHV, is het niet mogelijk gebleken 3 vergelijkbare en representatieve monsters samen te stellen.

* Uit de massaverdelingen na enkelvoudige uitvoering van de verschillende karakterisatiemethodes blijkt dat vergelijkbare resultaten bij scheiding op 63$\mu$m verkregen zijn. Bij onderverdeling van de fractie $<63\mu$m ontstaan echter aanzienlijke verschillen in massaverdelingen (> 20 massa-%) tussen de verschillende karakterisatiemethodes. Meer specifieke uitspraken omtrent de omvang van de verkregen deelfracties zijn niet mogelijk omdat de heterogeniteit van het uitgangsmateriaal waarschijnlijk een grotere invloed heeft gehad op de massaverdelingen dan verschillen in karakterisatiemethodes.

* De kwaliteit van de vergelijkbare deelfracties na karakterisatie zijn redelijk goed vergelijkbaar. Kleinere afwijkingen in vergelijkbare deelfracties zijn te verklaren door meer of minder voorkomen van misplacement en heterogeniteit.

* De werkwijze van de drie karakterisatiemethoden is vastgelegd in uitvoerings-protocollen. De reproduceerbaarheid van de methodes is in het kader van dit onderzoek niet onderzocht.

* De huidige prijzen van de opstroommethode en de T2000-geschiktheidsproef liggen

globaal een factor 3-5 lager dan die van de fingerprint (bij vergelijkbare werkzaamheden). De hogere prijs van de fingerprint wordt verklaard door een andere doelstelling van de karakterisatie; de fingerprint wil in grote mate aansluiten bij de praktijk en een gedetailleerde voorspelling doen (procesoptimalisatie). De opstroommethode en T2000-geschiktheidsproef geven een globaler maar snel inzicht in de reinigbaarheid.

* Op basis van dit onderzoek is het niet mogelijk aan te geven welke karakterisatiemethode "beter is dan de andere". Hierbij spelen de volgende overwegingen een rol:
  - De geschiktheid van een karakterisatiemethode hangt af van de doelstelling van de karakterisatie en de fase waarin het onderzoek zich bevindt,
  - Uitspraken omtrent hoe goed een karakterisatiemethode is kunnen pas worden gedaan als de karakterisatievoorspelling getoetst is in de praktijk. Dit aspect is echter in het huidige onderzoek niet onderzocht.

## 8.2 Aanbevelingen

Vanuit het verrichte onderzoek komen de volgende aanbevelingen naar voren:

* Om de zin van een karakterisatieonderzoek te kunnen inschatten, wordt het aangeraden voorafgaande de karakterisatie meerdere SCG-krommen van het uitgangsmateriaal samen te (laten) stellen. Op deze wijze kan inzicht verkregen worden in de korrelgroottesamenstelling van de specie en de variatie hierin.

* Rekening houden met de (altijd aanwezige) heterogeniteit van waterbodem is belangrijker dan het zeer zorgvuldig uitvoeren van één karakterisatie (met name in relatie tot de massaverdelingen). Door het vaker uitvoeren van dezelfde karakterisatie kunnen uitschieters geëlimineerd worden.

* Aangezien het moeilijker is om de omvang van de vergelijkbare fracties na karakterisatie vast te stellen dan de kwaliteit(sklasse) ervan, kan er selectief met analyseren van deelfracties na karakterisatie omgegaan worden (besparing van analysekosten).
  Dit zou gerealiseerd kunnen worden door bijvoorbeeld, als de waterbodem van een bepaalde watergang meerdere keren gekarakteriseerd wordt (met het oog op verwachte heterogeniteit in relatie tot de massaverdelingen), **per deelfractie** in eerste instantie de helft van de verkregen monsters te (laten) analyseren. Wel wordt aanbevolen alle **verschillende deelfracties** minimaal één maal te laten analyseren, om zo altijd een volledige verontreinigingsbalans op te kunnen stellen.

* Indien in een bepaalde fase van een waterbodemonderzoek een **globaal** inzicht verkregen moet worden van de reinigbaarheid van specie van een bepaalde locatie (omvang en kwaliteit deelstromen), kan dit inzicht verkregen worden door het (laten) uitvoeren van een karakterisatie met behulp van de opstroom- of T2000-karakterisatiemethode. Met de resultaten hiervan kan een eerste inschatting gemaakt worden van de technische en financiële risico's van een praktijkverwerking.
  Indien de reinigbaarheid van de specie vaststaat, maar gekeken moet worden naar **procesoptimalisatie** (wat is maximaal technisch mogelijk?) en gedetailleerde informatie omtrent de financiële risico's verkregen moet worden, kan een karakterisatie met behulp

van de fingerprintmethode uitgevoerd worden.

* Een opdrachtgever/probleembezitter heeft uitsluitend behoefte aan informatie ten aanzien wat technisch (maximaal) mogelijk is en wat een schatting is van de uiteindelijke kosten. De uiteindelijke systeemconfiguratie van de installatie en optimalisatie ervan (hoe moet de installatie exact ingericht worden?) moet afgestemd zijn op een specifieke installatie en moet derhalve door een reiniger (opdrachtnemer) zelf uitgevoerd worden.

* Aanvullend onderzoek naar de volgende relaties wordt aanbevolen:
  - De relatie tussen het meermalen uitvoeren van een karakterisatiemethode (reproduceerbaarheid) en de betrouwbaarheid van de massaverdeling;
  - De relatie tussen de karakterisatieresultaten (van verschillende karakterisatiemethoden) en de praktische uitvoering.

  Ten aanzien van deze laatste relatie wordt opgemerkt dat in het kader van POSW al enkele T2000-testen zijn vergeleken met praktische uitvoering (Kattendiep-specie, Lemster Riem specie en Velsen-specie). Ook de opstroommethode is door TAUW vergeleken met de praktijk (Wormerland-specie en Spaarne 2 en 4-specie) en de fingerprint door Serasea (op vele species). Uit de vergelijkingen (zowel door POSW, TAUW als Serasea is gebleken dat de voorspelbaarheid van alle methoden redelijk tot goed is. Echter, gezien het grote belang van de voorspelbaarheid van de karakterisatiemethoden is meer onderzoek noodzakelijk.

# 9 COLOFON

| | |
|---|---|
| Opdrachtgever | : RIZA/POSW |
| Project | : Vergelijking van karakterisatiemethoden voor baggerspecie |
| Dossier | : J2012-75-002 |
| Omvang rapport | : 39 pagina's |
| Auteur | : Ir. H.H.A.G. Wevers (DHV) |
| Bijdrage | : Ir. K. Ratsma (Gem.werken Rotterdam) |
| Projectleider POSW | : Ing. C. van Rijt (Gem.werken Rotterdam) |
| Projectmanager POSW | : Ir. G.N.M. Stokman (POSW) |
| Projectleider DHV | : Ir. H.H.A.G. Wevers (DHV) |
| Projectmanager DHV | : Ir. P.J. de Bruijn (DHV) |
| Datum | : 16 december 1997 |
| Accordering DHV | : Ir. P.J. de Bruijn |

Hwe

# BIJLAGE 1 ANALYSERESULTATEN

- Samenvatting van de analyseresultaten (3 pagina's).
  De volledige analysecertificaten zijn opgenomen in het rapport van Niebeek (1995).

## Serasea Fingerprint

### Petroleumhaven Amsterdam

| | Uitgangsmateriaal | | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal (excl. >2 mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Biochem | Serasea | >2 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder > 2 mm | | | | | | | | | | | | Berekening met slib No.1 & No.2 | | |
| Massa | 100 | 100 | 0,4 | 22,4 | 22,4 | 22,4 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 49,8 | 49,8 | 49,8 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| <1000 | | 99,9 | | | | | | | | | | | | | |
| <500 | | 99,6 | | | | | | | | | | | | | |
| <250 | | 97 | | | | | | | | | | | | | |
| <210 | 69 | | | 57 | 62 | 59,5 | 85 | 19,5 | 52,25 | 75 | 84 | 79,5 | 67,4 | 69 | -2 |
| <125 | | 72,9 | | | | | | | | | | | | | |
| <63 | 37 | 60 | | <2.0 | 12 | 6 | 8 | 19,5 | 13,75 | 74 | 83 | 78,5 | 44,3 | 37 | 20 |
| <50 | 36 | | | <2.0 | 12 | 6 | 7,5 | 19,5 | 13,5 | 74 | 83 | 78,5 | 44,2 | 36 | 23 |
| <38 | | 57,2 | | | | | | | | | | | | | |
| <16 | 34 | | | <2.0 | 11,5 | 5,75 | 6,5 | 18,5 | 12,5 | 73 | 76 | 74,5 | 41,9 | 34 | 23 |
| <2 | 28 | | | <2.0 | 11,5 | 5,75 | <2.0 | 15,5 | 7,75 | 60 | 51 | 55,5 | 31,1 | 28 | 11 |
| org. stof | 10,5 | | | <1.0 | <1.0 | 0,5 | <1.0 | <1.0 | 0,5 | 17 | 16 | 16,5 | 8,5 | 10,5 | -19 |
| chroom | <10 | | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 27 | 66 | 46,5 | 25,7 | <10 | |
| nikkel | <5 | | | <5 | <5 | 2,5 | <5 | <5 | 2,5 | 17 | 38 | 27,5 | 15,0 | <5 | |
| koper | 6,3 | | | <5 | 32 | 16 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 14 | 155 | 84,5 | 48,6 | 6,3 | 671 |
| zink | 33 | | | 55 | 49 | 52 | 72 | 58 | 65 | 76 | 720 | 398 | 227,9 | 33 | 591 |
| cadmium | <0.2 | | | <0.2 | <0.2 | 0,1 | <0.2 | <0.2 | 0,1 | 0,3 | 3,3 | 1,8 | 0,9 | <0.2 | |
| lood | <10 | | | 23 | 20 | 21,5 | 40 | 25 | 32,5 | 27 | 290 | 158,5 | 92,8 | <10 | |
| arseen | 10 | | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 11 | 39 | 25 | 15,0 | 10 | 50 |
| kwik | 1,4 | | | 0,8 | 1 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 1,1 | 4,1 | 2,6 | 1,6 | 1,4 | 17 |
| PAK (10) | 40 | | | 1,5 | 1,6 | 1,55 | 19 | 21 | 20 | 66 | 230 | 148 | 79,6 | 40 | 99 |
| olie (GC) | 1150 | | | <50 | <50 | 50 | 370 | 390 | 380 | 1550 | 2900 | 2225 | 1224,9 | 1150 | 7 |
| Klasse | 4 | | | 2 | 2 | | 4 | 4 | | 4 | 4 | | | 4 | |

### Stadsgrachten Amersfoort

| | Uitgangsmateriaal | | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal (excl. >2 mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Biochem | Serasea | >2 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder > 2 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| Massa | 100 | 100 | 26,8 | 52,6 | 52,6 | 52,6 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 0 |
| <1000 | 99 | 96,1 | | 95 | | 95 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 97 | 99 | -2 |
| <500 | 92 | 90,5 | | 76 | | 76 | 99 | | 99 | 100 | | 100 | 87 | 92 | -5 |
| <250 | 71 | 69 | | 29 | | 29 | 89 | | 89 | 99 | | 99 | 59 | 71 | -17 |
| <125 | 38 | 41,7 | | 2,6 | | 2,6 | 30 | | 30 | 98 | | 98 | 27,6 | 38 | -27 |
| <63 | 26 | 30 | | <2.0 | | 0 | 4,5 | | 4,5 | 96 | | 96 | 18,2 | 26 | -30 |
| <50 | 24 | | | <2.0 | | 0 | 2,3 | | 2,3 | 93 | | 93 | 17,1 | 24 | -29 |
| <38 | | 23 | | | | | | | | | | | | | |
| <32 | 22 | | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 90 | | 90 | 15,8 | 22 | -28 |
| <16 | 19,5 | | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 17 | 37 | 27 | 4,8 | 19,5 | -76 |
| <2 | 13,5 | | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 12,5 | 15 | 13,75 | 2,4 | 13,5 | -82 |
| org. stof | 12 | | | <1.0 | <1.0 | 0,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 31 | 30 | 30,5 | 6,1 | 12 | -49 |
| chroom | 20 | | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 64 | 71 | 67,5 | 16,0 | 20 | -20 |
| nikkel | 8,5 | | | <5 | <5 | 2,5 | <5 | <5 | 2,5 | 37 | 37 | 37 | 8,6 | 8,5 | 1 |
| koper | 97 | | | <5 | 10 | 5 | 13,5 | 26 | 19,75 | 260 | 290 | 275 | 56,9 | 97 | -41 |
| zink | 730 | | | 29 | 40 | 34,5 | 85 | 84 | 84,5 | 1550 | 1750 | 1650 | 333,7 | 730 | -54 |
| cadmium | 1,7 | | | <0.2 | <0.2 | 0,1 | <0.2 | <0.2 | 0,1 | 3,7 | 4,2 | 3,95 | 0,8 | 1,7 | -54 |
| lood | 500 | | | 67 | 100 | 83,5 | 100 | 160 | 130 | 1350 | 1400 | 1375 | 324,7 | 500 | -35 |
| arseen | 13 | | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 35 | 41 | 38 | 10,8 | 13 | -17 |
| kwik | 3,2 | | | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 1 | 0,75 | 9,7 | 13 | 11,35 | 2,5 | 3,2 | -21 |
| Klasse | 4 | | | 2 | 2 | | 1 | 2 | | 4 | 4 | | | 4 | |

### Kattendiep Kampen

| | Uitgangsmateriaal | | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal (excl. >2 mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Biochem | Serasea | >2 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder > 2 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| Massa | 100 | 100 | 0,7 | 65,4 | 65,4 | 65,4 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 27,4 | 27,4 | 27,4 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100,0 | 100 | 0 |
| <1000 | 95 | 95,7 | | 92 | | 92 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 94,8 | 95 | 0 |
| <500 | 69 | 73,6 | | 45 | | 45 | 98 | | 98 | 100 | | 100 | 63,9 | 69 | -7 |
| <250 | 47 | 54,4 | | 10 | | 10 | 96 | | 96 | 100 | | 100 | 40,9 | 47 | -13 |
| <125 | 38 | 47,6 | | <2.0 | | 0 | 93 | | 93 | 100 | | 100 | 34,1 | 38 | -10 |
| <63 | 34 | 37,7 | | <2.0 | | 0 | 76 | | 76 | 99 | | 99 | 32,6 | 34 | -4 |
| <50 | 32 | | | <2.0 | | 0 | 66 | | 66 | 98 | | 98 | 31,6 | 32 | -1 |
| <38 | | 31,5 | | | | | | | | | | | | | |
| <32 | 29 | | | <2.0 | | 0 | 38 | | 38 | 98 | | 98 | 29,6 | 29 | 2 |
| <16 | 26 | | | <2.0 | | 0 | 13,5 | | 13,5 | 92 | 39 | 65,5 | 18,9 | 26 | -27 |
| <2 | 15 | | | <2.0 | | 0 | 9,9 | | 9,9 | 52 | 27 | 39,5 | 11,5 | 15 | -23 |
| org. stof | <1.0 | | | <1.0 | <1.0 | 0,5 | 4,1 | 3,4 | 3,75 | 15 | 15,5 | 15,25 | 4,8 | <1.0 | |
| chroom | 260 | | | <10 | <10 | 5 | 89 | 86 | 87,5 | 570 | 600 | 585 | 169,9 | 260 | -35 |
| nikkel | 33 | | | <5 | <5 | 2,5 | 22 | 23 | 22,5 | 80 | 82 | 81 | 25,4 | 33 | -23 |
| koper | 170 | | | <5 | <5 | 2,5 | 62 | 62 | 62 | 380 | 400 | 390 | 113,0 | 170 | -34 |
| zink | 980 | | | 30 | 56 | 43 | 350 | 380 | 365 | 2100 | 2300 | 2200 | 657,2 | 980 | -33 |
| cadmium | 14,5 | | | <0.2 | <0.2 | 0,1 | 3,6 | 4,1 | 3,85 | 33 | 36 | 34,5 | 9,8 | 14,5 | -32 |
| lood | 220 | | | <10 | <10 | 5 | 73 | 86 | 79,5 | 470 | 510 | 490 | 143,3 | 220 | -35 |
| arseen | 33 | | | <10 | <10 | 5 | 11 | 13 | 12 | 74 | 82 | 78 | 25,5 | 33 | -23 |
| kwik | 5,4 | | | 0,7 | 1,9 | 1,3 | 1,9 | 1,6 | 1,75 | 11 | 15 | 13 | 4,5 | 5,4 | -16 |
| PCB (7) | 380 | | | <10 | <10 | 5 | 125 | 125 | 125 | 860 | 710 | 785 | 227,4 | 380 | -40 |
| Klasse | 4 | | | 2 | 3 | | 3 | 3 | | 4 | 4 | | | 4 | |

## TAUW Opstroomkolom

### Petroleumhaven Amsterdam

| | Uitgangs | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2.8 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2.8 mm | | | | | | | | | | | | | |
| Massa | 100 | 63,8 | 16,9 | 16,9 | 16,9 | 47,1 | 47,1 | 47,1 | 36 | 36 | 36 | 100 | 100 | 0 |
| <2800 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| <210 | 70 | | 53 | 68 | 60,5 | 66 | 70 | 68 | 58 | 78 | 68 | 66,7 | 70 | -5 |
| <63 | 40 | | 3 | 2,2 | 2,6 | 60 | 65 | 62,5 | 52 | 69 | 60,5 | 51,7 | 40 | 29 |
| <50 | 40 | | 3 | 2,2 | 2,6 | 60 | 65 | 62,5 | 51 | 68 | 59,5 | 51,3 | 40 | 28 |
| <16 | 39 | | 2,9 | 2,1 | 2,5 | 55 | 62 | 58,5 | 46 | 55 | 50,5 | 46,2 | 39 | 18 |
| <2 | 35 | | 2,7 | 2,1 | 2,4 | 42 | 52 | 47 | 38 | 39 | 38,5 | 36,4 | 35 | 4 |
| org. stof | 10,5 | | 2,1 | 1,3 | 1,7 | 12,5 | 14,9 | 13,7 | 21 | 21 | 21 | 14,3 | 10,5 | 36 |
| chroom | 52 | | <10 | 11 | 5,5 | 76 | 77 | 76,5 | 65 | 62 | 63,5 | 59,8 | 52 | 15 |
| nikkel | 27 | | <5 | 11 | 5,5 | 44 | 44 | 44 | 39 | 38 | 38,5 | 35,5 | 27 | 32 |
| koper | 115 | | 41 | 26 | 33,5 | 190 | 210 | 200 | 270 | 270 | 270 | 197,1 | 115 | 71 |
| zink | 530 | | 85 | 93 | 89 | 770 | 820 | 795 | 1250 | 1250 | 1250 | 839,5 | 530 | 58 |
| cadmium | 2,8 | | <0.2 | <0.2 | 0,1 | 4,4 | 4,5 | 4,45 | 5,1 | 4,8 | 4,95 | 3,9 | 2,8 | 39 |
| lood | 210 | | 125 | 230 | 177,5 | 310 | 320 | 315 | 1050 | 1050 | 1050 | 556,4 | 210 | 165 |
| arseen | 28 | | <10 | <10 | 5 | 41 | 42 | 41,5 | 29 | 29 | 29 | 30,8 | 28 | 10 |
| kwik | 4,3 | | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 6,4 | 6 | 6,2 | 8,1 | 7,7 | 7,9 | 5,9 | 4,3 | 37 |
| PAK (10) | 360 | | 2,3 | 66 | 34,15 | 320 | 310 | 315 | 14 | 6,2 | 10,1 | 157,8 | 360 | -56 |
| olie (GC) | 5600 | | 91 | 1250 | 670,5 | 5300 | 4800 | 5050 | 550 | 250 | 400 | 2635,9 | 5600 | -53 |
| Klasse | 4 | | 3 | 4 | | 4 | 4 | | 4 | 4 | | | 4 | |

### Stadsgrachten Amersfoort

| | Uitgangs | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2.8 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2.8 mm | | | | | | | | | | | | | |
| Massa | 100 | 0,6 | 69,5 | 69,5 | 69,5 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 14,6 | 14,6 | 14,6 | 100 | 100 | 0 |
| <2800 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 0 |
| <1000 | 98 | | 99 | | 99 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 99 | 98 | 1 |
| <500 | 89 | | 94 | | 94 | 97 | | 97 | 100 | | 100 | 95 | 89 | 7 |
| <250 | 63 | | 68 | | 68 | 95 | | 95 | 100 | | 100 | 77 | 63 | 22 |
| <125 | 24 | | 15,5 | | 15,5 | 90 | | 90 | 100 | | 100 | 39,7 | 24 | 65 |
| <63 | 11 | | <2.0 | | 0 | 88 | | 88 | 100 | | 100 | 28,6 | 11 | 160 |
| <50 | 9,7 | | <2.0 | | 0 | 88 | | 88 | 100 | | 100 | 28,6 | 9,7 | 195 |
| <32 | 7,8 | | <2.0 | | 0 | 87 | | 87 | 94 | | 94 | 27,6 | 7,8 | 253 |
| <16 | 6,4 | | <2.0 | <2.0 | 0 | 87 | 89 | 88 | 94 | 44 | 69 | 24,1 | 6,4 | 276 |
| <2 | 3 | | <2.0 | <2.0 | 0 | 86 | 69 | 77,5 | 81 | 42 | 61,5 | 21,3 | 3 | 610 |
| org. stof | 7,1 | | 1,3 | <1.0 | 1 | 16,5 | 14,4 | 15,45 | 31 | 31 | 31 | 7,7 | 7,1 | 8 |
| chroom | 13 | | <10 | <10 | 5 | 58 | 70 | 64 | 70 | 64 | 67 | 23,4 | 13 | 80 |
| nikkel | 8,5 | | <5 | 7,6 | 3,8 | 28 | 30 | 29 | 43 | 41 | 42 | 13,4 | 8,5 | 57 |
| koper | 83 | | 16 | 16 | 16 | 130 | 130 | 130 | 330 | 340 | 335 | 80,7 | 83 | -3 |
| zink | 410 | | 73 | 71 | 72 | 470 | 480 | 475 | 1600 | 1850 | 1725 | 377,4 | 410 | -8 |
| cadmium | 1,1 | | <0.2 | <0.2 | 0,1 | 2,6 | 2,5 | 2,55 | 6,1 | 6,2 | 6,15 | 1,4 | 1,1 | 25 |
| lood | 390 | | 185 | 62 | 123,5 | 220 | 230 | 225 | 1300 | 1400 | 1350 | 318,7 | 390 | -18 |
| arseen | <10 | | <10 | <10 | 5 | 23 | 24 | 23,5 | 34 | 34 | 34 | 12,2 | <10 | |
| kwik | 3,8 | | 0,4 | 0,1 | 0,25 | 3,2 | 3,3 | 3,25 | 9,1 | 8,5 | 8,8 | 2,0 | 3,8 | -48 |
| Klasse | 4 | | 1 | 0 | | 2 | 2 | | 4 | 4 | | | | |

### Kattendiep Kampen

| | Uitgangs | Oversize | Grof zand (2mm-63µm) | | | Fijn zand (16-63µm) | | | Slib + waswater (< 16µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2.8 mm | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | No.1 | No.2 | Gemidd. | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2.8 mm | | | | | | | | | | | | | |
| Massa | 100 | 0 | 33,1 | 33,1 | 33,1 | 45,9 | 45,9 | 45,9 | 21 | 21 | 21 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100,0 | 100 | 0 |
| <1000 | 99 | | 93 | | 93 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 97,7 | 99 | -1 |
| <500 | 86 | | 47 | | 47 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 82,5 | 86 | -4 |
| <250 | 62 | | 13,5 | | 13,5 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 71,4 | 62 | 15 |
| <125 | 54 | | 2,1 | | 8 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 69,5 | 54 | 29 |
| <63 | 46 | | <2.0 | | 7,5 | 92 | | 92 | 100 | | 100 | 65,7 | 46 | 43 |
| <50 | 42 | | <2.0 | | 7,5 | 89 | | 89 | 100 | | 100 | 64,3 | 42 | 53 |
| <32 | 37 | | <2.0 | | 7,5 | 82 | | 82 | 100 | | 100 | 61,1 | 37 | 65 |
| <16 | 32 | | <2.0 | 14,5 | 7,25 | 74 | 39 | 56,5 | 98 | 79 | 88,5 | 46,9 | 32 | 47 |
| <2 | 19,5 | | <2.0 | 13,5 | 6,8 | 49 | 19,5 | 34,25 | 88 | 59 | 73,5 | 33,4 | 19,5 | 71 |
| org. stof | 7,8 | | <1.0 | <1.0 | 0,5 | 10,5 | 12 | 11,25 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 8,8 | 7,8 | 13 |
| chroom | 290 | | <10 | <10 | 5 | 33 | 340 | 186,5 | 870 | 860 | 865 | 268,9 | 290 | -7 |
| nikkel | 42 | | 6,5 | 7,2 | 6,85 | 35 | 61 | 48 | 92 | 93 | 92,5 | 43,7 | 42 | 4 |
| koper | 190 | | <5 | 7,6 | 3,8 | 62 | 260 | 161 | 570 | 570 | 570 | 194,9 | 190 | 3 |
| zink | 970 | | 78 | 95 | 86,5 | 130 | 1200 | 665 | 2500 | 2500 | 2500 | 858,9 | 970 | -11 |
| cadmium | 16 | | 0,3 | 0,4 | 0,35 | 0,8 | 20 | 10,4 | 48 | 48 | 48 | 15,0 | 16 | -6 |
| lood | 240 | | <10 | 11 | 5,5 | 75 | 300 | 187,5 | 690 | 710 | 700 | 234,9 | 240 | -2 |
| arseen | 35 | | <10 | <10 | 5 | 10 | 44 | 27 | 82 | 84 | 83 | 31,5 | 35 | -10 |
| kwik | 7,3 | | <0.1 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 8,6 | 4,4 | 20 | 22 | 21 | 6,6 | 7,3 | -10 |
| PCB (7) | 460 | | <10 | 15 | 8 | 1600 | 420 | 1010 | 650 | 810 | 730 | 619,5 | 460 | 35 |
| Klasse | 4 | | 2 | 2 | | 4 | 4 | | 4 | 4 | | | | |

## T2000 Geschikheidsprotocol

### Petroleumhaven Amsterdam

| | Uitgangs | Oversize | Grove fractie (2mm-500 µm) | | | Grof zand (500µm-63µm) | | | Zand (2 mm-63 µm) | | Fijn zand (45-63µm) | | | Slib + waswater (< 63µ) | | | Slib + waswater (< 45µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2 8 mm | No 1 | No 2 | Gem | No 1 | No 2 | Gemidd | Berekend | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2 0 mm | | | | | | | | | | | | | | | | Berekend !! | | | | | |
| Massa | 100 | 1.52 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 43.2 | 43.2 | 43.2 | 44.9 | | 4.4 | | 4.4 | 55.1 | 55.1 | 55.1 | 50.7 | 50.7 | 50.7 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | | *) | | | 100 | | 100 | 100 | | *) | | | 100 | 100 | 100 | | | | | | |
| <210 | 68 | | *) | | | 52 | | 52 | 52 | | *) | | | 32 | 53 | 42.5 | | | | 46.7655 | 68 | -31 |
| <63 | 36 | | *) | | | <2 0 | | 0 | 0 | | *) | | | 31 | 51 | 41 | | | | 22.591 | 36 | -37 |
| <50 | 35 | | *) | | | <2 0 | | 0 | 0 | | *) | | | 30 | 49 | 39.5 | | | | 21.7645 | 35 | -38 |
| <15 | 32 | | *) | | | <2 0 | | 0 | 0 | | *) | | | 27 | 44 | 35.5 | | | | 19.5605 | 32 | -39 |
| <2 | 24 | | *) | | | <2 0 | | 0 | 0 | | *) | | | 21 | 33 | 27 | | | | 14.877 | 24 | -38 |
| org. stof | 9.9 | | 1 **) | | 1 | 1.7 | | 1.7 | 1.7 | | 6.8 **) | | 6.8 | 11.6 | 14.4 | 13 | 14 ***) | | 14 | 7.9 | 9.9 | -20 |
| chroom | 43 | | 52 **) | | 52 | <10 | | 5 | 7 | | 29 **) | | 29 | 69 | 96 | 82.5 | 87 ***) | | 87 | 48.5 | 43 | 13 |
| nikkel | 26 | | 26 **) | | 26 | 7.7 | | 7.7 | 8 | | 22 **) | | 22 | 37 | 64 | 50.5 | 53 ***) | | 53 | 31.6 | 26 | 22 |
| koper | 105 | | 70 **) | | 70 | 17 | | 17 | 19 | | 77 **) | | 77 | 200 | 280 | 240 | 254 ***) | | 254 | 140.8 | 105 | 34 |
| zink | 460 | | 820 **) | | 820 | 64 | | 64 | 93 | | 310 **) | | 310 | 730 | 980 | 855 | 902 ***) | | 902 | 512.7 | 460 | 11 |
| cadmium | 2.1 | | 1.3 **) | | 1.3 | <0.2 | | 0.1 | 0 | | 0.8 **) | | 0.8 | <3.6 | <4.4 | 4 | 4 ***) | | 4 | 2.3 | 2.1 | 8 |
| lood | 220 | | 760 **) | | 760 | 39 | | 39 | 66 | | 140 **) | | 140 | 310 | 440 | 375 | 395 ***) | | 395 | 236.4 | 220 | 7 |
| arseen | 24 | | 27 **) | | 27 | <10 | | 5 | 6 | | 14 **) | | 14 | 39 | 58 | 48.5 | 51 ***) | | 51 | 29.3 | 24 | 22 |
| kwik | 8.7 | | 7.3 **) | | 7.3 | 0.3 | | 0.3 | 0.6 | | 1.6 **) | | 1.6 | 6.1 | 9 | 7.55 | 8 ***) | | 8 | 4.4 | 8.7 | -49 |
| PAK (10) | 240 | | 50 **) | | 50 | 175 | | 175 | 170 | | 185 **) | | 185 | 220 | 220 | 220 | 223 ***) | | 223 | 197.7 | 240 | 18 |
| olie (GC) | 3800 | | 1000 **) | | 1000 | 3500 | | 3500 | 3405 | | 2600 **) | | 2600 | 3500 | 4400 | 3950 | 4067 ***) | | 4067 | 3705.5 | 3800 | -2 |
| Klasse | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | |

*) niet geanalyseerd, te weinig monster voor korrelgrootteverdeling (alleen metalen, PAK en olie)
**) niet genoeg materiaal voorhanden om de duplo uit te voeren
***) berekend uit (vracht <63µm) - (vracht fractie 45-63µm)

### Stadsgrachten Amersfoort

| | Uitgangs | Oversize | Grove fractie (2mm-500 µm) | | | Grof zand (500µm-63µm) | | | Zand (2 mm-63 µm) | | Fijn zand (20-63µm) | | | Slib + waswater (< 63µ) | | | Slib + waswater (< 20µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2 8 mm | No 1 | No 2 | Gem | No 1 | No 2 | Gemidd | Berekend | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2 0 mm | | | | | | | | | | | | | | | | Berekend !! | | | | | |
| Massa | 100 | 7.88 | 12.9 | 12.9 | 12.9 | 59.4 | 59.4 | 59.4 | 72.3 | | 21 | 21 | 21 | 27.7 | 27.7 | 27.7 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | *) | | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| <1000 | 99 | | 90 | | 90 | 100 | | 100 | 98 | | *) | | | | | | | | | | 99 | |
| <500 | 94 | | 49 | | 49 | 100 | | 100 | 91 | | *) | | | | | | | | | | 94 | |
| <250 | 71 | | 12.5 | | 12.5 | 64 | | 64 | 55 | | *) | | | | | | | | | | 71 | |
| <125 | 34 | | 3.1 | | 3.1 | 23 | | 23 | 19 | | *) | | | | | | | | | | 34 | |
| <63 | 22 | | <2.0 | | 0 | 4.8 | | 4.8 | 4 | | *) | | | | | | | | | | 22 | |
| <50 | 20 | | <2.0 | | 0 | 4.2 | | 4.2 | 3 | | *) | | | | | | | | | | 20 | |
| <32 | 17.5 | | <2.0 | | 0 | 2.9 | | 2.9 | 2 | | *) | | | | | | | | | | 17.5 | |
| <16 | 14 | | <2.0 | <2.0 | 0 | 2.2 | 2 | 2.2 | 2 | | *) | | | 55 | 76 | 65.5 | | | | 19.5 | 14 | 39 |
| <2 | 7.6 | | <2.0 | <2.0 | 0 | <2.0 | <2.0 | 0 | 0 | | *) | | | 29 | 41 | 35 | | | | 9.7 | 7.6 | 28 |
| org. stof | 9.9 | | 11.4 | 16.4 | 13.9 | 5 | 5.9 | 1 | 3 | | 23.5 | | 23.5 | 22.7 | 24.7 | 23.7 | 20 | 28 | 24 | 9.0 | 9.9 | -10 |
| chroom | 19 | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 5 | | 27 | | 27 | 49 | 55 | 52 | 118 | 143 | 130 | 18.0 | 19 | -5 |
| nikkel | 11.5 | | 8.3 | 8 | 8.15 | 5.7 | <5.0 | 2.85 | 4 | | 18.5 | | 18.5 | 32 | 35 | 33.5 | 74 | 87 | 81 | 12.0 | 11.5 | 5 |
| koper | 115 | | 71 | 370 | 220.5 | 41 | 60 | 50.5 | 81 | | 155 | | 155 | 330 | 370 | 350 | 679 | 1044 | 961 | 155.4 | 115 | 35 |
| zink | 530 | | 270 | 390 | 330 | 140 | 145 | 142.5 | 176 | | 600 | | 600 | 1450 | 1700 | 1575 | 4114 | 5148 | 4631 | 563.5 | 530 | 6 |
| cadmium | 1.6 | | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | | 0.05 | | 0.05 | 4 | 5 | 4.5 | 16 | 21 | 18 | 1.5 | 1.6 | -7 |
| lood | 590 | | 2000 | 710 | 1355 | 300 | 240 | 270 | 494 | | 770 | | 770 | 1300 | 1450 | 1375 | 2961 | 3581 | 3271 | 716.1 | 590 | 21 |
| arseen | 16 | | <10 | 11 | 8 | <10 | <10 | 8 | 8 | | 15 | | 15 | 37 | 43 | 40 | 106 | 131 | 118 | 16.9 | 16 | 5 |
| kwik | 3.5 | | 1.2 | 0.9 | 1.05 | 1.3 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | | 8.9 | | 8.9 | 12.5 | 14 | 13.25 | 24 | 30 | 27 | 4.6 | 3.5 | 32 |
| Klasse | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

### Kattendiep Kampen

| | Uitgangs | Oversize | Grove fractie (2mm-500 µm) | | | Grof zand (500µm-63µm) | | | Zand (2 mm-63 µm) | | Fijn zand (20-63µm) | | | Slib + waswater (< 63µ) | | | Slib + waswater (< 20µ) | | | Totaal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >2 8 mm | No 1 | No 2 | Gem | No 1 | No 2 | Gemidd | Berekend | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | No 1 | No 2 | Gemidd | berekend | analyse | Afwijking (%) |
| | Zonder >2 0 mm | | | | | | | | | | | | | | | | Berekend !! | | | | | |
| Massa | 100 | 0.78 | 33.6 | 33.6 | 33.6 | 33.7 | 33.7 | 33.7 | 67.3 | | 23 | 23 | 23 | 32.7 | 32.7 | 32.7 | 9.7 | 9.7 | 9.7 | 100 | 100 | 0 |
| <2000 | 100 | | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 **) | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100.0 | 100 | 0 |
| <1000 | 86 | | 89 | | 89 | 100 | | 100 | 95 | | | | | | | | | | | | 96 | |
| <500 | 68 | | 14 | | 14 | 100 | | 100 | 57 | | | | | | | | | | | | 68 | |
| <250 | 42 | | <2.0 | | 0 | 39 | | 39 | 20 | | 30 **) | | 30 | 54 | 63 | 58.5 | 100 | | 100 | 29.7 | 42 | -29 |
| <125 | 32 | | <2.0 | | 0 | 12 | | 12 | 6 | | | | | | | | | | | | 32 | |
| <63 | 27 | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 0 | | 21 **) | | 21 | 47 | 62 | 54.5 | 100 | | 100 | 14.5 | 27 | -46 |
| <50 | 26 | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 0 | | 19 **) | | 19 | 46 | 61 | 53.5 | 100 | | 100 | 14.1 | 26 | -46 |
| <32 | 25 | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | 25 | |
| <16 | 22 | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 0 | | 6.1 **) | | 6.1 | 39 | 51 | 45 | 100 | | 100 | 11.1 | 22 | -50 |
| <2 | 12.5 | | <2.0 | | 0 | <2.0 | | 0 | 0 | | 3.8 **) | | 3.8 | 23 | 29 | 26 | 69 | | 69 | 7.5 | 12.5 | -40 |
| org. stof | 5.4 | | <1 | <1 | 0.5 | 2.2 | 3.8 | 3 | 2 | | 6.6 **) | | 6.6 | 12.7 | 10.4 | 11.55 | 27 | | 27 | 5.3 | 5.4 | -1 |
| chroom | 180 | | <10 | <10 | 5 | 30 | 29 | 29.5 | 17 | | 150 **) | | 150 | 560 | 450 | 505 | 1532 | | 1532 | 194.7 | 180 | 8 |
| nikkel | 27 | | <5 | <5 | 2.5 | 12 | 11 | 11.5 | 7 | | 39 **) | | 39 | 82 | 64 | 73 | 184 | | 184 | 31.5 | 27 | 17 |
| koper | 115 | | <5 | <5 | 2.5 | 20 | 21 | 20.5 | 12 | | 125 **) | | 125 | 430 | 360 | 395 | 1153 | | 1153 | 148.4 | 115 | 29 |
| zink | 670 | | 53 | 26 | 39.5 | 180 | 180 | 180 | 110 | | 680 **) | | 680 | 1650 | 1450 | 1650 | 4624 | | 4624 | 678.9 | 670 | 1 |
| cadmium | 11 | | <0 2 | <0 2 | 0.1 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 1.1 | | 9.2 **) | | 9.2 | 34 | 27 | 30.5 | 93 | | 93 | 11.9 | 11 | 8 |
| lood | 155 | | <10 | <10 | 5 | 33 | 23 | 28 | 17 | | 150 **) | | 150 | 490 | 410 | 450 | 1296 | | 1296 | 171.3 | 155 | 11 |
| arseen | 23 | | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 5 | | 25 **) | | 25 | 66 | 56 | 61 | 163 | | 163 | 24.9 | 23 | 8 |
| kwik | 3 | | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.9 | 2 | 1.95 | 1.1 | | 3.1 **) | | 3.1 | 14.5 | 11 | 12.75 | 42 | | 42 | 5.5 | 3 | 82 |
| PCB (7) | 320 | | 12 | 8.3 | 10.15 | 120 | 130 | 125 | 68 | | 420 **) | | 420 | 630 | 540 | 585 | 1128 | | 1128 | 251.5 | 320 | -21 |
| Klasse | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

## T2000 Geschikheidsprotocol

### Dichtheidsscheiding Grachten Amersfoort

| Grof zand (500-63µm) | Scrub (500-63µm) | | | | Licht (500-63µm) | Midden (500-63µm) | Zwaar (500-63µm) | Totaal (500-63µm) | Afwijking % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No 1 | No.1 | No 2 | | Gemidd | No 1&2 | No 1 | | | |
| 43.2 | 43.2 | 43.2 | | 43.2 | 4.6 | 38.6 | 0 | 43.2 | 0 |
| 100 | 100 | 100 | | 100.0 | | 100 | | | |
| 52 | 61.0 | 54 | | 57.5 | | 59 | | | |
| <2.0 | 3.2 | 2.2 | | 2.7 | | <2.0 | | | |
| <2.0 | 2.9 | 2.2 | | 2.6 | | <2.0 | | | |
| <2.0 | 2.7 | 2 | | 2.4 | | <2.0 | | | |
| <2.0 | <2.0 | <2.0 | <2.0 | | | <2.0 | | | |
| 1.7 | 1.0 | 1.5 | | 1.3 | 11.6 | 0.5 | | 2 | -1 |
| <10 | 29.0 | 42 | | 35.5 | 35 | 5 | | 8 | |
| 7.7 | 6.5 | 7.8 | | 7.2 | 26 | 5.1 | | 7 | -5 |
| 17 | 11.0 | 19.5 | | 15.3 | 92 | 12 | | 21 | 21 |
| 64 | 51.0 | 73 | | 62.0 | 380 | 45 | | 61 | 26 |
| <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | 0.9 | 0.1 | | 0 | |
| 39 | 31.0 | 45 | | 38.0 | 210 | 21 | | 41 | 5 |
| <10 | <10 | <10 | <10 | | 14 | 5 | | 6 | |
| 0.3 | 0.6 | <0.1 | | 0.3 | 2.6 | 0.9 | | 1 | 260 |
| 175 | 73.0 | 13.5 | | 43.3 | 1700 | 15 | | 194 | 11 |
| 3500 | 1500.0 | 1850 | | 1675.0 | 32000 | 660 | | 3967 | 14 |

### Dichtheidsscheiding Grachten Amersfoort

| Grof zand (500-63µm) | Scrub (500-63µm) | Licht (500-63µm) | | | Midden fractie (500-63µm) | | | Zwaar (500-63µm) | Totaal (500-63µm) | Afwijking % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No 1 | No 1&2 | No.1 | No 2 | Gemidd | No.1 | No 2 | Gemidd | | | |
| 59.4 | 59.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 47.5 | 47.5 | 47.5 | 0.5 | 59.4 | 0 |
| 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | 99.2 | -1 |
| 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | 99.2 | -1 |
| 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | 99.2 | -1 |
| 64 | 63 | 89 | | 89 | 63 | | 63 | | 67.5 | 5 |
| 23 | 15 | 54 | | 54 | 17 | | 17 | | 24.0 | 4 |
| 4.8 | 4.2 | 16 | | 16 | <2.0 | | 0 | | 3.1 | -36 |
| 4.2 | 3.9 | 16 | | 16 | <2.0 | | 0 | | 3.0 | -29 |
| 2.9 | 2.5 | 13 | | 13 | <2.0 | | 0 | | 2.5 | -14 |
| 2.2 | 2 | 11 | | 11 | <2.0 | <2.0 | 0 | | 2.0 | -8 |
| 0 | 0 | 8 | | 8 | <2.0 | <2.0 | 0 | | 1.5 | |
| 1 | 2.6 | 20 | 21 | 20 | <1 | <1 | 1 | | 4.3 | 330 |
| <10 | 28.5 | 27 | 17 | 22 | <10 | <10 | 5 | 44 | 8.6 | |
| 5 | 5 | 17 | 12 | 15 | <5 | <5 | 3 | 47 | 5.2 | 4 |
| 50.5 | 30 | 135 | 95 | 115 | 12 | 13 | 12 | 1000 | 40.1 | -21 |
| 142.5 | 91 | 520 | 350 | 435 | 33 | 41 | 37 | 930 | 120.9 | -15 |
| 0.3 | 0.2 | 2 | 1 | 1 | <0 2 | <0 2 | 0 | 1.1 | 0.3 | 3 |
| 270 | 160 | 560 | 480 | 520 | 38 | 38 | 38 | 10000 | 214.4 | -21 |
| 8 | <10 | <10 | <10 | 5 | <10 | <10 | 5 | 16 | 5.1 | 0 |
| 1.4 | 1.45 | 5 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 10 | 1.7 | 24 |

### Dichtheidsscheiding Kattendiep

| Grof zand (500-63µm) | Scrub (500-63µm) | Licht (500-63µ | Midden fractie (500-53µm) | | | Zwaar (500-63µm) | Totaal (500-63µm) | Afwijking % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No 1 | | | No.1 | No 2 | Gemidd | | | |
| 33.7 | 33.7 | 2.5 | 30.4 | 30.4 | 30.4 | 0.6 | 33.7 | 0 |
| 100 | 100 | | 100 | | 100 | | | |
| 100 | 100 | | 100 | | 100 | | | |
| 100 | 100 | | 99 | | 99 | | | |
| 39 | 45 | | 39 | | 39 | | | |
| 12 | 13.5 | | 12 | | 12 | | | |
| 0 | 2.9 | | 2 | | 2 | | | |
| 0 | 2.9 | | 2 | | 2 | | | |
| 0 | 2.6 | | 0 | | 0 | | | |
| 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | | |
| 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | | |
| 3 | 1.4 | ? | <1 | <1 | 1 | | | |
| 29.5 | 29 | 135 | 18 | 19 | 19 | 120 | 30 | 0 |
| 11.5 | 9.4 | 33 | 6 | 7 | 7 | 50 | 10 | -11 |
| 20.5 | 11.5 | 115 | 12 | 12 | 12 | 40 | 20 | -1 |
| 180 | 135 | 630 | 130 | 125 | 128 | 450 | 172 | -4 |
| 2.1 | 1.4 | 10.5 | 2 | 1 | 1 | 2.6 | 2 | 3 |
| 28 | 16 | 85 | 13 | <10 | 7 | 41 | 13 | -53 |
| <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | |
| 1.95 | 0.6 | 4.6 | 0 | 2 | 1 | 0.6 | 1 | -36 |
| 125 | 70 | 970 | 25 | 24 | 25 | | | |

# BIJLAGE 2 VERGELIJKING VAN HET UITGANGSMATERIAAL

- (1 pagina)

# *Vergelijking van het uitgangsmateriaal*

## Petroleumhaven Amsterdam

**Uitgangsmateriaal**

| | Fingerprint-Biochem | Opstr.k. Biochem | T2000 Biochem | Gemidd. Biochem |
|---|---|---|---|---|
| Massa | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Oversize-% | 0.4 | 63.8 | 1.52 | 22 |
| <2000 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <210 | 69 | 70 | 68 | 69 |
| <63 | 37 | 40 | 36 | 38 |
| <50 | 36 | 40 | 35 | 37 |
| <16 | 34 | 39 | 32 | 35 |
| <2 | 28 | 35 | 24 | 29 |
| org. stof | 10.5 | 10.5 | 9.9 | 10.3 |
| chroom | <10 | 52 | 43 | 32 |
| nikkel | <5 | 27 | 26 | 18 |
| koper | 6.3 | 115 | 105 | 75 |
| zink | 33 | 530 | 460 | 341 |
| cadmium | <0.2 | 2.8 | 2.1 | 2 |
| lood | <10 | 210 | 220 | 143 |
| arseen | 10 | 28 | 24 | 21 |
| kwik | 1.4 | 4.3 | 8.7 | 5 |
| PAK (10) | 40 | 360 | 240 | 213 |
| olie (GC) | 1150 | 5600 | 3800 | 3517 |
| Klasse | 3 | 4 | 4 | |

## Stadsgrachten Amersfoort

**Uitgangsmateriaal**

| | Fingerprint-Biochem | Opstr.k. Biochem | T2000 Biochem | Gemidd. Biochem |
|---|---|---|---|---|
| Massa | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <2000 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <1000 | 99 | 98 | 99 | 99 |
| <500 | 92 | 89 | 94 | 92 |
| <250 | 71 | 63 | 71 | 68 |
| <125 | 38 | 24 | 34 | 32 |
| <63 | 26 | 11 | 22 | 20 |
| <50 | 24 | 9.7 | 20 | 18 |
| <32 | 22 | 7.8 | 17.5 | 16 |
| <16 | 19.5 | 6.4 | 14 | 13 |
| <2 | 13.5 | 3 | 7.6 | 8 |
| org. stof | 12 | 7.1 | 9.9 | 10 |
| chroom | 20 | 13 | 19 | 17 |
| nikkel | 8.5 | 8.5 | 11.5 | 10 |
| koper | 97 | 83 | 115 | 98 |
| zink | 730 | 410 | 530 | 557 |
| cadmium | 1.7 | 1.1 | 1.6 | 1 |
| lood | 500 | 390 | 590 | 493 |
| arseen | 13 | <d | 16 | 10 |
| kwik | 3.2 | 3.8 | 3.5 | 3.5 |
| Klasse | 4 | 4 | 4 | |

## Kattendiep Kampen

Uitgangsmateriaal

| | Fingerprint-Biochem | Opstr.k. Biochem | T2000 Biochem | Gemidd. Biochem |
|---|---|---|---|---|
| Massa | 100 | 100 | 100 | |
| <2000 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <1000 | 95 | 99 | 96 | 97 |
| <500 | 69 | 86 | 68 | 74 |
| <250 | 47 | 62 | 42 | 50 |
| <125 | 38 | 54 | 32 | 41 |
| <63 | 34 | 46 | 27 | 36 |
| <50 | 32 | 42 | 26 | 33 |
| <32 | 29 | 37 | 25 | 30 |
| <16 | 26 | 32 | 22 | 27 |
| <2 | 15 | 19.5 | 12.5 | 16 |
| org. stof | <1.0 | 7.8 | 5.4 | 4 |
| chroom | 260 | 290 | 180 | 243 |
| nikkel | 33 | 42 | 27 | 34 |
| koper | 170 | 190 | 115 | 158 |
| zink | 980 | 970 | 670 | 873 |
| cadmium | 14.5 | 16 | 11 | 14 |
| lood | 220 | 240 | 155 | 205 |
| arseen | 33 | 35 | 23 | 30 |
| kwik | 5.4 | 7.3 | 3 | 5 |
| PCB (7) | 380 | 460 | 320 | 387 |
| Klasse | 4 | 4 | 4 | |

# BIJLAGE 3 MASSA- EN KORRELGROOTTEVERDELINGEN

- Vergelijking tussen de massabalansen na karakterisatie (1 pagina)
- Cumulatieve deeltjesgrootteverdelingen van de 3 species (3 pagina's)

# Vergelijking Massabalansen Fractioneringsmethoden

## Petroleumhaven Amsterdam

| | Korrelgrootteverdelingen | | | | Karakterisatiemethode | | | | Korrelgr.verdeling |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Uitgangsmateriaal** |
| | Biochem | Biochem | Biochem | Biochem | Serasea | TAUW | TAUW | DHV | Biochem |
| Gemeten | | | | | | | | | |
| <16µm | 34 | 39 | 32 | 35 | 49,6 | 42,1 | 5,3 | 40,3 | 33 |
| 16-63µm | 3 | 1 | 4 | 2,7 | 27,7 | 55,1 | 41,3 | 9 | 2 |
| >63µm | nb | nb | nb | nb | 22,3 | 19,7 | 40,4 | 50,7 | nb |
| Som | 37 | 40 | 36 | 37,7 | 99,6 | 116,9 | 87 | 100 | 35 |
| <63µm | 37 | 40 | 36 | 37,7 | 77,3 | 97,2 | 46,6 | 55,1 | 35 |
| Gecorrigeerd | | | | | | | | | |
| <16µm | 34 | 39 | 32 | 35 | 49,8 | 36 | 6,1 | 40,3 | 33 |
| 16-63µm | 3 | 1 | 4 | 2,7 | 27,8 | 47,1 | 47,5 | 9 | 2 |
| >63µm | 63 | 60 | 64 | 62,3 | 22,4 | 16,9 | 46,4 | 50,7 | 65 |
| Som | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <63µm | 37 | 40 | 36 | 37,7 | 77,6 | 83,1 | 53,6 | 49,3 | 35 |

*): fractie 50-63 niet bepaald

## Stadsgrachten Amersfoort

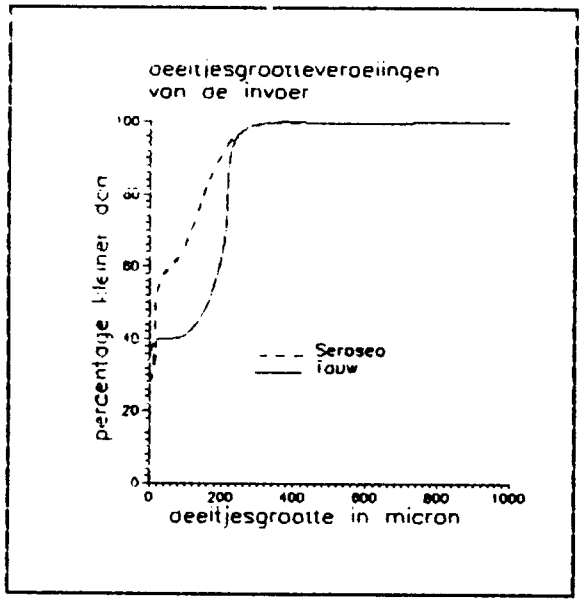
| | Korrelgrootteverdelingen | | | | Karakterisatiemethode | | | | Korrelgr.verdeling |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Uitgangsmateriaal** |
| | Biochem | Biochem | Biochem | Biochem | Serasea | TAUW | TAUW | DHV | Biochem |
| Gemeten | | | | | | | | | |
| <16µm | 19,5 | 6,4 | 14 | 13,3 | 12,9 | 14,2 | 10 | 6,7 | 21 |
| 16-63µm | 5,5 | 4,6 | 8 | 6 | 21,8 | 15,4 | 36,2 | 32,4 | 4 |
| >63µm | 75 | 89 | 78 | 80,7 | 38,5 | 67,4 | 64,9 | 60,9 | nb |
| Som | 100 | 100 | 100 | 100 | 73,2 | 97 | 111,1 | 100 | 25 |
| <63µm | 25 | 11 | 22 | 19,3 | 34,7 | 29,6 | 46,2 | 39,1 | 25 |
| Gecorrigeerd | | | | | | | | | |
| <16µm | 19,5 | 6,4 | 14 | 13,3 | 17,6 | 14,6 | 9 | 6,7 | 21 |
| 16-63µm | 5,5 | 4,6 | 8 | 6 | 29,8 | 15,9 | 32,6 | 32,4 | 4 |
| >63µm | 75 | 89 | 78 | 80,7 | 52,6 | 69,5 | 58,4 | 60,9 | 75 |
| Som | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <63µm | 25 | 11 | 22 | 19,3 | 47,4 | 30,5 | 41,6 | 39,1 | 25 |

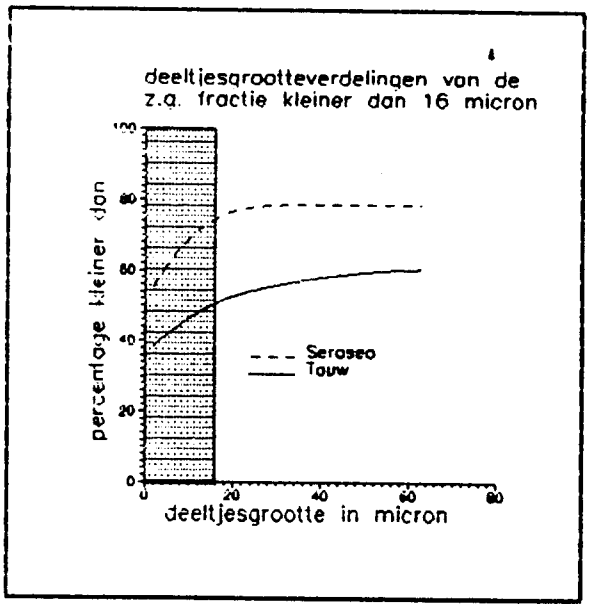
Bij T200 is fractie 20-63µm bepaald

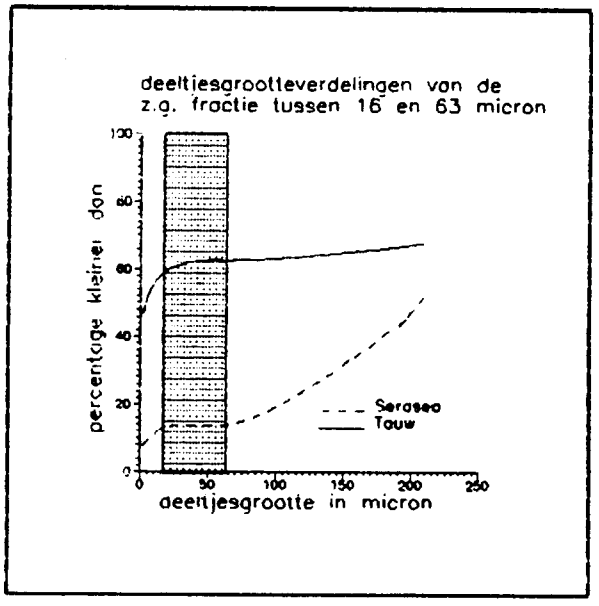
## Kattendiep Kampen

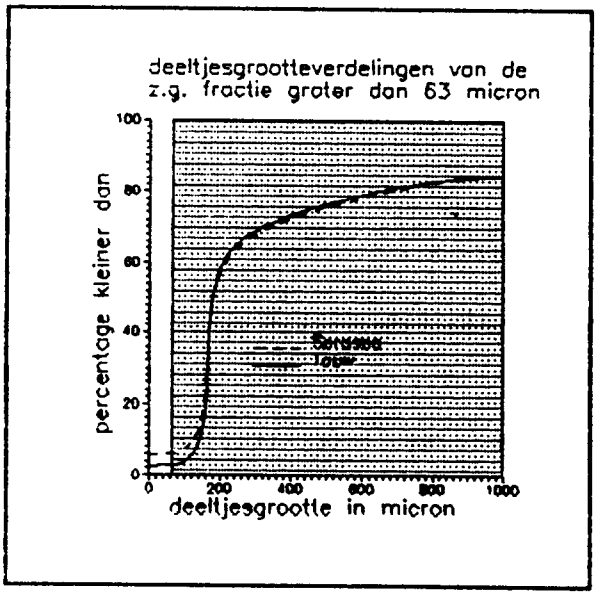
| | Korrelgrootteverdelingen | | | | Karakterisatiemethode | | | | Korrelgr.verdeling |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Fingerprint** | **Opstroom 1** | **Opstroom 2** | **T2000** | **Uitgangsmateriaal** |
| | Biochem | Biochem | Biochem | Biochem | Serasea | TAUW | TAUW | DHV | Biochem |
| Gemeten | | | | | | | | | |
| <16µm | 26 | 32 | 22 | 26,7 | 27,2 | 22,8 | 5,8 | 9,7 | 38 |
| 16-63µm | 8 | 14 | 5 | 9 | 7,1 | 50 | 26,7 | 25,5 | 4 |
| >63µm | 66 | 54 | 73 | 64,3 | 65 | 36 | 67,3 | 64,8 | nb |
| Som | 100 | 100 | 100 | 100 | 99,3 | 108,8 | 99,8 | 100 | 42 |
| <63µm | 34 | 46 | 27 | 35,7 | 34,3 | 72,8 | 32,5 | 35,2 | 42 |
| Gecorrigeerd | | | | | | | | | |
| <16µm | 26 | 32 | 22 | 26,7 | 27,4 | 21 | 5,8 | 9,7 | 38 |
| 16-63µm | 8 | 14 | 5 | 9 | 7,2 | 46 | 26,8 | 25,5 | 4 |
| >63µm | 66 | 54 | 73 | 64,3 | 65,4 | 33 | 67,4 | 64,8 | 58 |
| Som | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <63µm | 34 | 46 | 27 | 35,7 | 34,6 | 67 | 32,6 | 35,2 | 42 |

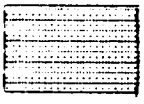
Bij T200 is fractie 20-63µm bepaald



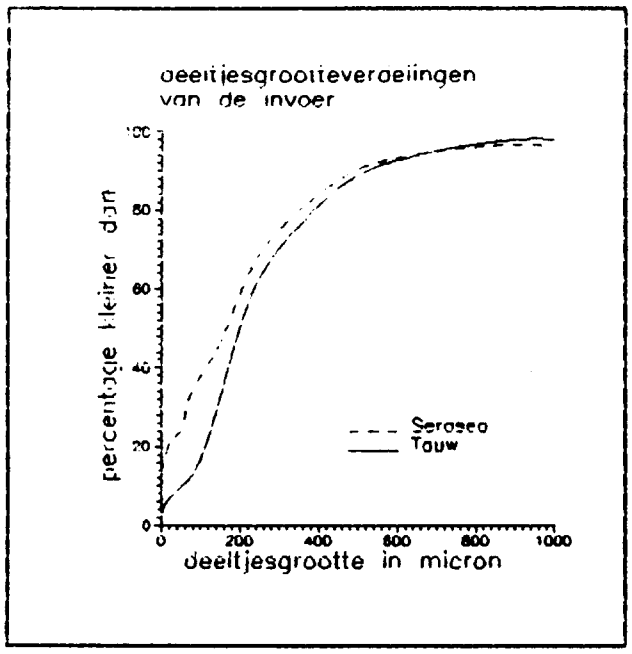



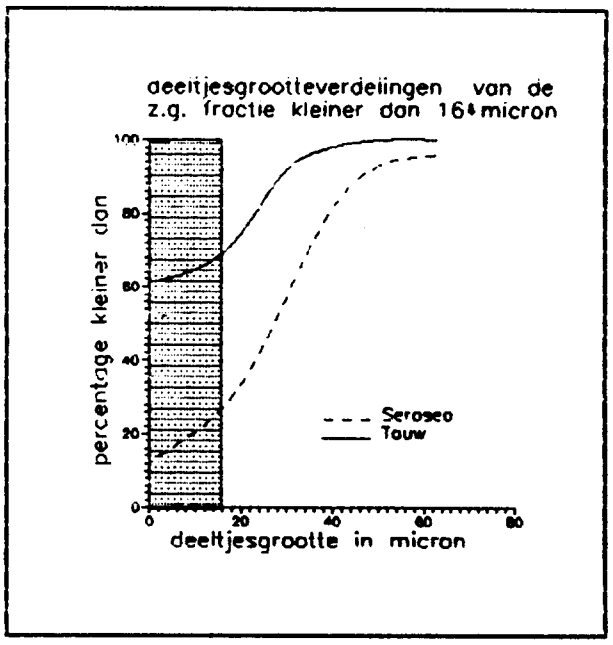



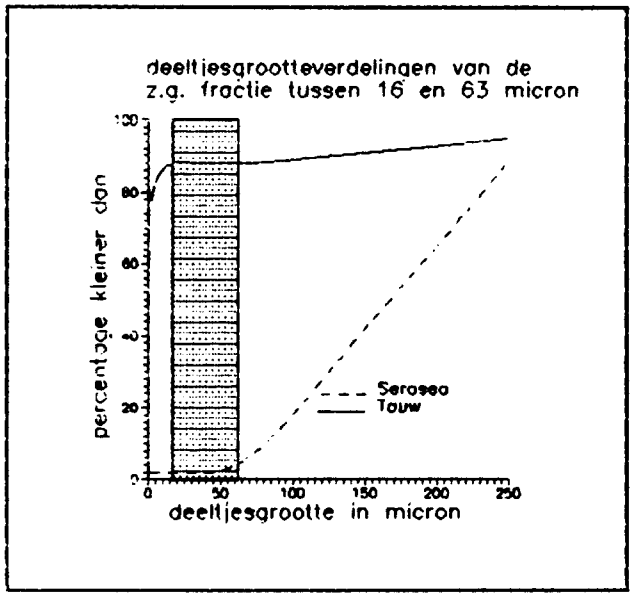



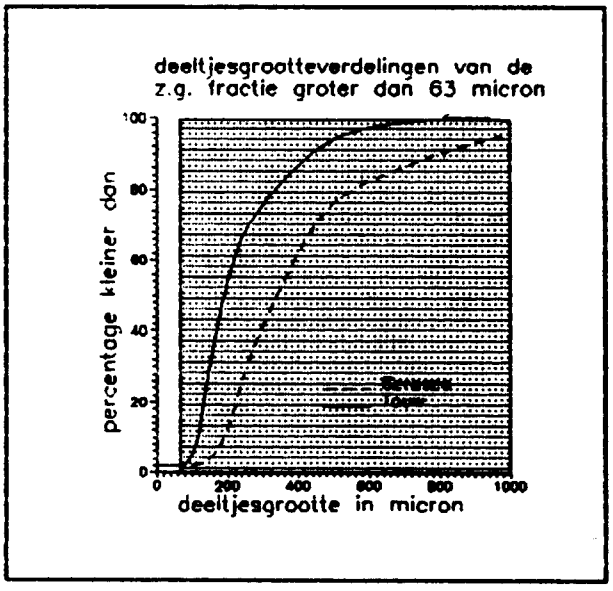
Beoogde fractie

Vergelijking van de cumulatieve deeltjesgrootteverdelingen per opgegeven fractie van het sediment uit de Petroleumhaven in Amsterdam.



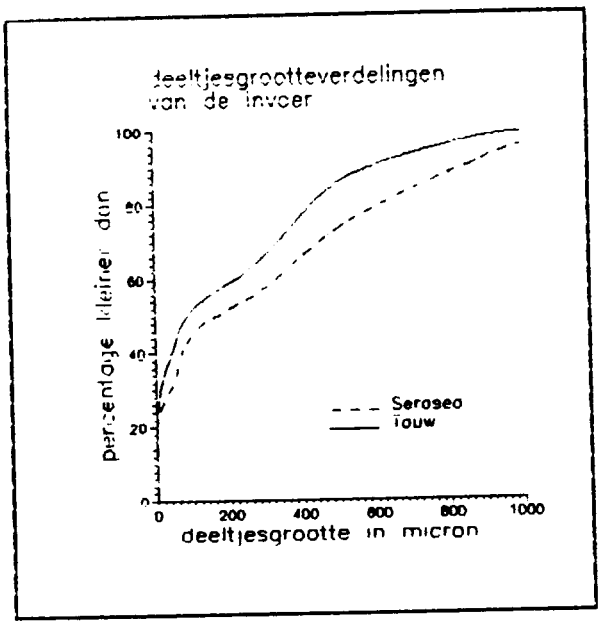



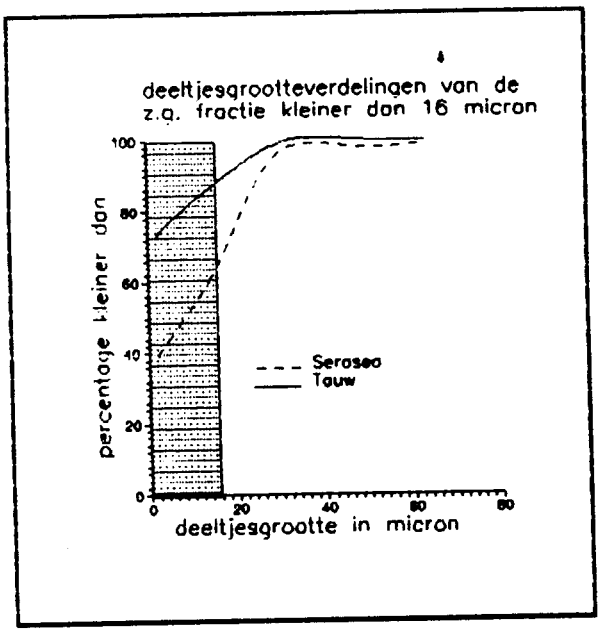



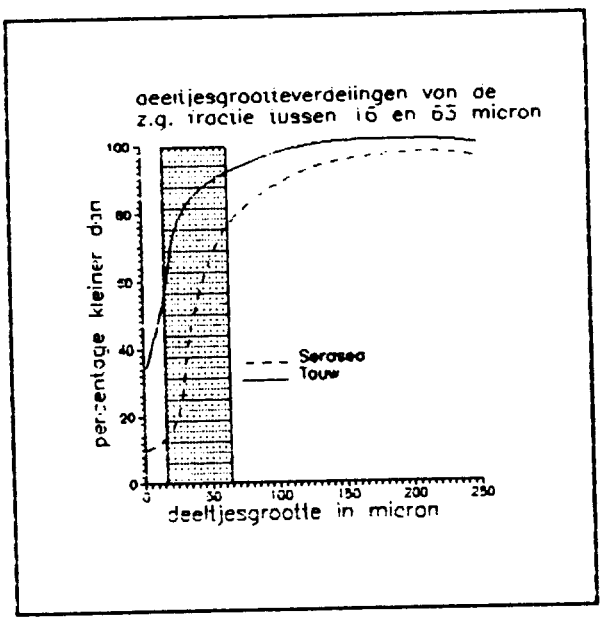



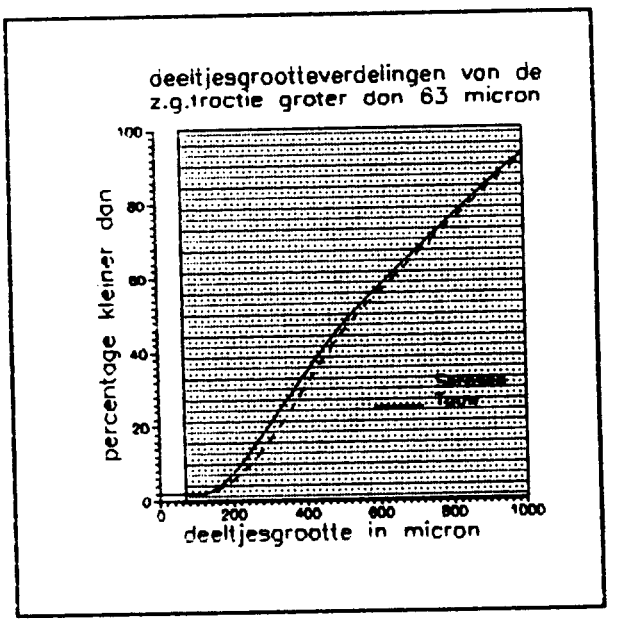

Beoogde fractie

**Vergelijking van de cumulatieve deeltjesgrootteverdelingen per opgegeven fractie van het sediment uit de grachten van Amersfoort.**




Beoogde fractie

**Vergelijking van de cumulatieve deeltjesgrootteverdelingen per opgegeven fractie van het sediment uit het Kattendiep te Kampen.**

# BIJLAGE 4 VERGELIJKING VAN DE SPECIES (INCL. TOETSING AAN ENW)

- Analyse- en toetsingsresultaten van de species (4 pagina's)

## Grachten Amersfoort

### Fingerprintmethode Grachten Amersfoort

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor baggeren mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 52.6 | | 52.6 | | 52.6 | 29.8 | | 29.8 | | 29.8 | 17.6 | | 17.6 | | 17.6 | 100 | 100 | 0 |
| <250 µm | | | 71 | | 29 | | | | 29 | 89 | | | | 89 | 100 | | | | 100 | 59 | 71 | -16 |
| <210 µm | 59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <63 µm | 25 | | 26 | | <2 | | | | <2 | 4.5 | | | | 4.5 | 96 | | | | 96 | 18 | 26 | -30 |
| <50 µm | 25 | | 24 | | <2 | | | | <2 | 2.3 | | | | 2.3 | 93 | | | | 93 | 17 | 24 | -29 |
| <32 µm | | | 22 | | <2 | | | | <2 | <2 | | | | 2.1 | 90 | | | | 90 | 16 | 22 | -25 |
| <16 µm | 21 | | 19.5 | | <2 | | <2 | | <2 | <2 | | 4.1 | | 2.05 | 17 | | 37 | | 27 | 5 | 19.5 | -72 |
| <2 µm | 16 | | 13.5 | | <2 | | <2 | | <2 | <2 | | 4 | | 2 | 12.5 | | 15 | | 13.75 | 3 | 13.5 | -78 |
| droge stof | 35.6 | | 41.2 | | 84.3 | | 80.2 | | 82.25 | 78 | | 79.4 | | 78.7 | 16.9 | | 17.3 | | 17.1 | 70 | 41.2 | 69 |
| o.s | 13 | | 12 | | <1 | | <1 | | 0.5 | 1.6 | | 1.6 | | 1.6 | 31 | | 30 | | 30.5 | 6.1 | 12 | -49.0 |
| chroom | 60 | 0 | 20 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 64 | 1 | 71 | 0 | 67.5 | 16.0 | 20 | -19.9 |
| nikkel | 35 | 3 | 8.5 | 0 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | 37 | 3 | 37 | 2 | 37 | 8.6 | 8.5 | 0.9 |
| koper | 470 | (>s) 4 | 97 | 3 | <5 | 0 | 10 | 0 | 5 | 13.5 | 0 | 26 | 2 | 19.75 | 260 | 4 | 290 | 4 | 275 | 57.0 | 97 | -41.3 |
| zink | 1850 | 4 | 730 | 4 | 29 | 0 | 40 | 0 | 34.5 | 85 | 1 | 84 | 1 | 84.5 | 1550 | 4 | 1750 | 4 | 1650 | 334.1 | 730 | -54.2 |
| cadmium | 4.8 | 2 | 1.7 | 1 | <0,2 | 0 | <0,2 | 0 | 0.1 | <0,2 | 0 | <0,2 | 0 | 0.1 | 3.7 | 2 | 4.2 | 2 | 3.95 | 0.8 | 1.7 | -54.2 |
| lood | 2100 | (>s) 4 | 500 | 4 | 67 | 1 | 100 | 1 | 83.5 | 100 | 1 | 160 | 1 | 130 | 1350 | (>s) 4 | 1400 | (>s) 4 | 1375 | 324.9 | 500 | -35.0 |
| arseen | 53 | 4 | 13 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 35 | 1 | 41 | 1 | 38 | 10.8 | 13 | -16.8 |
| kwik | <d | 0 | 3.2 | 3 | 0.6 | 2 | 0.6 | 2 | 0.6 | 0.5 | 2 | 1 | 2 | 0.75 | 9.7 | 4 | 13 | 4 | 11.35 | 2.5 | 3.2 | -20.7 |
| PAK (10) | 1.5 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAK (16) | 2.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OCB (tot) | 18 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 21 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Totaal | | 4 | | 4 | | 2 | | 2 | | | 1 | | 1 | | | 4 | | 4 | | | | |

### Opstroommethode Grachten Amersfoort

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor baggeren mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 69.5 | | 69.5 | | 69.5 | 15.9 | | 15.9 | | 15.9 | 14.6 | | 14.6 | | 14.6 | 100 | 100 | 0 |
| <250 µm | | | 63 | | 68 | | | | 68 | 95 | | | | 95 | 100 | | | | 100 | 77 | 63 | 22 |
| <210 µm | 59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <63 µm | 25 | | 11 | | <2 | | | | <2 | 88 | | | | 88 | 100 | | | | 100 | 29 | 11 | 160 |
| <50 µm | 25 | | 9.7 | | <2 | | | | <2 | 88 | | | | 88 | 100 | | | | 100 | 29 | 9.7 | 195 |
| <32 µm | | | 7.8 | | <2 | | | | <2 | 87 | | | | 88 | 94 | | | | 94 | 28 | 7.8 | 256 |
| <16 µm | 21 | | 6.4 | | <2 | | <2 | | <2 | 87 | | 89 | | 88 | 94 | | | | 94 | 28 | 6.4 | 333 |
| <2 µm | 16 | | 3 | | <2 | | <2 | | <2 | 86 | | 69 | | 77.5 | 81 | | | | 81 | 24 | 3 | 705 |
| droge stof | 35.6 | | 47.8 | | 76.9 | | 81.4 | | 79.15 | 9.7 | | 9.8 | | 9.75 | 11.9 | | 11.9 | | 11.9 | 58 | 47.8 | 22 |
| o.s. | 13 | | 7.1 | | 1.3 | | <1 | | <1 | 16.5 | | 14.5 | | 15.5 | 31 | | 31 | | 31 | 7.0 | 7.1 | -1.4 |
| chroom | 60 | 0 | 13 | | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 58 | 0 | 70 | | 5 | 70 | 0 | 64 | 0 | 67 | 14.1 | 13 | 8.3 |
| nikkel | 35 | 3 | 8.5 | | <5 | 0 | 7.6 | 0 | 2.5 | 28 | 0 | 30 | 0 | 2.5 | 43 | 0 | 41 | 0 | 42 | 8.3 | 8.5 | -2.6 |
| koper | 470 | (>s) 4 | 83 | | 16 | 0 | 16 | 0 | 16 | 130 | 2 | 130 | 2 | 130 | 330 | 4 | 340 | 4 | 335 | 80.8 | 83 | -2.7 |
| zink | 1850 | 4 | 410 | | 73 | 1 | 71 | 1 | 72 | 470 | 1 | 480 | 1 | 475 | 1600 | 4 | 1850 | 4 | 1725 | 378.0 | 410 | -7.8 |
| cadmium | 4.8 | 2 | 1.1 | | <0,2 | 0 | <0,2 | 0 | 0.1 | 2.6 | 1 | 2.5 | 1 | 0.1 | 6.1 | 2 | 6.2 | 2 | 6.15 | 1.0 | 1.1 | -10.4 |
| lood | 2100 | (>s) 4 | 390 | | 185 | 1 | 62 | 1 | 123.5 | 220 | 1 | 230 | 1 | 225 | 1300 | 4 | 1400 | 4 | 1350 | 319.2 | 390 | -18.2 |
| arseen | 53 | 4 | <10 | | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 23 | 0 | 24 | 0 | 5 | 34 | 0 | 34 | 0 | 34 | 9.2 | <10 | nvt |
| kwik | <d | 0 | 3.8 | | 0.4 | 2 | 0.1 | 0 | 0.25 | 3.2 | 3 | 3.3 | 3 | 3.25 | 9.1 | 3 | 8.5 | 3 | 8.8 | 2.0 | 3.8 | -47.9 |
| PAK (10) | 1.5 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAK (16) | 2.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OCB (tot) | 18 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 21 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Totaal | | 4 | | | | 1 | | 0 | | | 2 | | 2 | | | 4 | | 4 | | | | |

## Kattendiep Kampen

### Fingerprintmethode Kattendiep Kampen

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor bagger mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 65.5 | | 65.5 | | 55.5 | 7.2 | | 7.2 | | 7.2 | 27.4 | | 27.4 | | 27.4 | 100 | 100 | 0 |
| <250 µm | | | 47 | | 29 | | | | 29 | 96 | | | | 96 | 100 | | | | 100 | 53 | 47 | 13 |
| <210 µm | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <63 µm | 42 | | 34 | | <2 | | | | <2 | 76 | | | | 76 | 99 | | | | 96 | 32 | 34 | -7 |
| <50 µm | 42 | | 32 | | <2 | | | | <2 | 66 | | | | 66 | 98 | | | | 93 | 30 | 32 | -6 |
| <32 µm | | | 29 | | <2 | | | | <2 | 38 | | | | 38 | 98 | | | | 90 | 27 | 29 | -6 |
| <16 µm | 38 | | 26 | | <2 | | 2.4 | | <2 | 13.5 | | 30 | | 21.75 | 92 | | 39 | | 65.5 | 19 | 26 | -25 |
| <2 µm | 24 | | 15 | | <2 | | 2.3 | | <2 | 9.9 | | 23 | | 16.45 | 52 | | 27 | | 39.5 | 12 | 15 | -20 |
| droge stof | 62.8 | | 59.6 | | 80.3 | | 80 | | 80.15 | 70.3 | | 69.6 | | 69.95 | 30.2 | | 27.5 | | 28.85 | 65 | 59.6 | 10 |
| o.s. | 7.3 | | <1 | | <1 | | <1 | | 0.5 | 4.1 | | 3.4 | | 3.75 | 15 | | 15.5 | | 15.25 | 4.8 | 1 | 377 |
| chroom | 380 | 4 | 260 | 1 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 89 | 1 | 86 | 0 | 87.5 | 570 | 4 | 600 | 4 | 585 | 169.8 | 260 | -35 |
| nikkel | 47 | 3 | 33 | 3 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | 22 | 3 | 23 | 0 | 22.5 | 80 | 3 | 82 | 3 | 81 | 25.4 | 33 | -23 |
| koper | 210 | 4 | 170 | 4 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | 62 | 3 | 62 | 2 | 62 | 380 | 4 | 400 | 4 | 390 | 112.9 | 170 | -34 |
| zink | 1250 | 4 | 980 | 4 | 30 | 0 | 56 | 0 | 43 | 350 | 2 | 380 | 1 | 365 | 2100 | 4 | 2300 | 4 | 2200 | 656.9 | 980 | -33 |
| cadmium | 19.5 | 4 | 14.5 | 4 | <0.2 | 0 | <0.2 | 0 | 0.1 | 3.6 | 2 | 4.1 | 2 | 3.85 | 33 | 4 | 36 | 4 | 34.5 | 9.8 | 14.5 | -32 |
| lood | 290 | 1 | 220 | 1 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 73 | 1 | 86 | 1 | 79.5 | 470 | 1 | 510 | 1 | 490 | 143.2 | 220 | -35 |
| arseen | 55 | 4 | 33 | 1 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 11 | 0 | 13 | 0 | 10 | 74 | 4 | 82 | 4 | 78 | 25.4 | 33 | -23 |
| kwik | 9.8 | 4 | 5.4 | 3 | 0.7 | 2 | 1.9 | 3 | 1.3 | 1.9 | 3 | 1.6 | 3 | 1.75 | 11 | 3 | 15 | 4 | 13 | 4.5 | 5.4 | -16 |
| PAK (10) | 4.7 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAK (16) | 6.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OCB (tot) | 51 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 330 | 3 | 380 | 4 | <10 | 2 | <10 | 0 | | 125 | 3 | 125 | 3 | 125 | 960 | 3 | 710 | 3 | 785 | 224.0 | 380 | -41 |
| Totaal | | 4 | | 4 | | 2 | | 3 | | | 3 | | 3 | | | 4 | | 4 | | | | |

### Opstroommethode Kattendiep Kampen

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor bagger mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 33.1 | | 33.1 | | 33.1 | 46.0 | | 46.0 | | 46.0 | 21.0 | | 21.0 | | 21.0 | 100 | 100 | 0 |
| <250 µm | | | 62 | | 13.5 | | | | 68 | 100 | | | | 95 | 100 | | | | 100 | 87 | 62 | 41 |
| <210 µm | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <63 µm | 42 | | 46 | | <2 | | | | <2 | 92 | | | | 88 | 100 | | | | 100 | 61 | 46 | 33 |
| <50 µm | 42 | | 42 | | <2 | | | | <2 | 89 | | | | 88 | 100 | | | | 100 | 61 | 42 | 46 |
| <32 µm | | | 37 | | <2 | | | | <2 | 82 | | | | 88 | 100 | | | | 100 | 61 | 37 | 66 |
| <16 µm | 38 | | 32 | | <2 | | 14.5 | | <2 | 74 | | 39 | | 74 | 98 | | 79 | | 98 | 55 | 32 | 70 |
| <2 µm | 24 | | 19.5 | | <2 | | 13.5 | | <2 | 49 | | 19.5 | | 49 | 88 | | 59 | | 88 | 41 | 19.5 | 110 |
| droge stof | 62.8 | | 41.5 | | 82.7 | | 84.6 | | 83.65 | 9.9 | | 31.1 | | 20.5 | 10.9 | | 10.8 | | 10.85 | 39 | 41.5 | -5 |
| o.s. | 7.3 | | 7.8 | | <1 | | <1 | | 0.5 | 10.5 | | 12 | | 11.25 | 16.5 | | 16.5 | | 16.5 | 8.8 | 7.8 | 13 |
| chroom | 380 | 4 | 290 | 1 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 33 | 0 | 340 | 1 | 186.5 | 870 | 4 | 860 | 4 | 865 | 268.6 | 290 | -7 |
| nikkel | 47 | 3 | 42 | 3 | 6.5 | 0 | 7.2 | 0 | 6.85 | 35 | 2 | 61 | 3 | 48 | 92 | 3 | 93 | 3 | 92.5 | 43.7 | 42 | 4 |
| koper | 210 | 4 | 190 | 4 | <5 | 0 | 7.6 | 0 | 6 | 62 | 2 | 260 | 4 | 161 | 570 | 4 | 570 | 4 | 570 | 195.4 | 190 | 3 |
| zink | 1250 | 4 | 970 | 4 | 78 | 1 | 95 | 1 | 86.5 | 130 | 0 | 1200 | 4 | 665 | 2500 | 4 | 2500 | 4 | 2500 | 858.1 | 970 | -12 |
| cadmium | 19.5 | 4 | 16 | 4 | 0.3 | 0 | 0.4 | 0 | 0.35 | 0.8 | 1 | 20 | 4 | 10.4 | 48 | 4 | 48 | 4 | 48 | 15.0 | 16 | -7 |
| lood | 290 | 1 | 240 | 1 | <10 | 0 | 11 | 0 | 10.5 | 75 | 0 | 300 | 1 | 187.5 | 690 | 1 | 710 | 1 | 700 | 236.3 | 240 | -2 |
| arseen | 55 | 4 | 35 | 1 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 10 | 0 | 44 | 1 | 27 | 82 | 4 | 84 | 1 | 83 | 31.5 | 35 | -10 |
| kwik | 9.8 | 4 | 7.3 | 3 | <0.1 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0 | 8.6 | 3 | 4.4 | 20 | 4 | 22 | 4 | 21 | 6.5 | 7.3 | -12 |
| PAK (10) | 4.7 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAK (16) | 6.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OCB (tot) | 51 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 330 | 3 | 460 | 4 | <10 | 2 | 15 | 2 | 7.5 | 1600 | 4 | 420 | 3 | 1010 | 650 | 3 | 810 | 3 | 730 | 619.6 | 460 | 35 |
| Totaal | | 4 | | 4 | | 2 | | 2 | | | 4 | | 4 | | | 4 | | 4 | | | | |

## Petroleumhaven Amsterdam

### Fingerprintmethode Petroleumhaven Amsterdam

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor baggere mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 22.4 | | 22.4 | | 22.4 | 27.8 | | 27.8 | | 27.8 | 49.8 | | 49.8 | | 49.8 | 100 | 100 | 0 |
| <210 µm | 67 | | 69 | | 57 | | 62 | | 59.5 | 85 | | 19.5 | | 52.25 | 75 | | 84 | | 79.5 | 67 | 69 | -2 |
| <63 µm | 35 | | 37 | | <2 | | 12 | | 7 | 8 | | 19.5 | | 13.75 | 74 | | 83 | | 78.5 | 44 | 37 | 20 |
| <50 µm | 34 | | 36 | | <2 | | 12 | | 7 | 7.5 | | 19.5 | | 13.5 | 74 | | 83 | | 78.5 | 44 | 36 | 23 |
| <16 µm | 33 | | 34 | | <2 | | 11.5 | | 6.5 | 6.5 | | 18.5 | | 12.5 | 73 | | 76 | | 74.5 | 42 | 34 | 24 |
| <2 µm | 26 | | 28 | | <2 | | 11.5 | | 6.5 | <2 | | 15.5 | | 7.75 | 60 | | 51 | | 55.5 | 31 | 28 | 12 |
| droge stof | 33.6 | | 33.6 | | 83.1 | | 81.1 | | 82.1 | 81.4 | | 80.6 | | 81 | 18.2 | | 22.6 | | 20.4 | 51 | 33.6 | 52 |
| o.s | 10.5 | | 10.5 | | <1 | | <1 | | <1 | <1 | | <1 | | <1 | 17 | | 16 | | 16.5 | 8.2 | 10.5 | -21.7 |
| chroom | 51 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 27 | 0 | 66 | 0 | 46.5 | 25.7 | 10 | 156.7 |
| nikkel | 28 | 0 | <5 | 0 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | <5 | 0 | <5 | 0 | 2.5 | 17 | 0 | 38 | 0 | 27.5 | 14.9 | 5 | 199.0 |
| koper | 99 | 3 | 6.3 | 0 | <5 | 0 | 32 | 2 | 16 | 10.5 | 0 | 10.5 | 0 | 10.5 | 14 | 0 | 155 | 3 | 84.5 | 48.6 | 6.3 | 671.2 |
| zink | 490 | 1 | 33 | 0 | 55 | 0 | 49 | 0 | 52 | 72 | 1 | 58 | 0 | 65 | 76 | 0 | 720 | 1 | 398 | 227.9 | 33 | 590.7 |
| cadmium | 2.5 | 2 | <0,2 | 0 | <0,2 | 0 | <0,2 | 0 | 0.1 | <0.2 | 0 | <0.2 | 0 | 0.1 | 0.3 | 0 | 3.3 | 2 | 1.8 | 0.9 | 0.2 | 373.3 |
| lood | 180 | 1 | <10 | 0 | 23 | 0 | 20 | 0 | 21.5 | 40 | 0 | 25 | 0 | 32.5 | 27 | 0 | 290 | 1 | 158.5 | 92.8 | 10 | 827.8 |
| arseen | 26 | 0 | 10 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 11 | 0 | 39 | 0 | 25 | 15.0 | 10 | 49.6 |
| kwik | 2.4 | 3 | 1.4 | 2 | 0.8 | 2 | 1 | 2 | 0.9 | 0.6 | 2 | 0.4 | 1 | 0.5 | 1.1 | 2 | 4.1 | 3 | 2.6 | 1.6 | 1.4 | 16.8 |
| PAK (10) | 68 | 4 | 40 | 3 | 1.5 | 2 | 1.6 | 2 | 1.55 | 19 | 4 | 21 | 4 | 20 | 66 | 3 | 230 | 4 | 148 | 79.6 | 40 | 99.0 |
| PAK (16) | 99 | | 65 | | 2.1 | | 2.2 | | 2.15 | 28 | | 29 | | 28.5 | 110 | | 320 | | 215 | 115.5 | 65 | 77.7 |
| OCB (tot) | 28 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 195 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| olie GC | | | 1150 | 2 | <50 | 0 | <50 | 0 | 0 | 370 | 2 | 390 | 2 | 380 | 1550 | 1 | 2900 | 2 | 2225 | 1213.7 | 1150 | 5.5 |
| Totaal | | 4 | | 3 | | 2 | | 2 | | | 4 | | 4 | | | 3 | | 4 | | | | |

### Opstroommethode Petroleumhaven Amsterdam

| | Uitgangsmateriaal | | | | zand grof (> 63 µ) | | | | | zand fijn (16-63 µm) | | | | | slib (<16 µm) | | | | | Totaal som | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Voor baggere mg/kg ds | K | Na baggeren mg/kg ds | K | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd. mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Monster 1 mg/kg ds | K | Monster 2 mg/kg ds | K | Gemidd mg/kg ds | Berekend mg/kg ds | Werkelijk mg/kg ds | Afwijking tov uitgang na baggeren (%) |
| Massa % | 100 | | 100 | | 16.9 | | 16.9 | | 16.9 | 47.1 | | 47.1 | | 47.1 | 36.0 | | 36.0 | | 36.0 | 100 | 100 | 0 |
| <210 µm | 67 | | 70 | | 53 | | 68 | | 60.5 | 66 | | 70 | | 68 | 58 | | 78 | | 68 | 67 | 70 | -5 |
| <63 µm | 35 | | 40 | | 3 | | 2.2 | | 2.6 | 60 | | 65 | | 62.5 | 52 | | 69 | | 60.5 | 52 | 40 | 29 |
| <50 µm | 34 | | 40 | | 3 | | 2.2 | | 2.6 | 60 | | 65 | | 62.5 | 51 | | 68 | | 59.5 | 51 | 40 | 28 |
| <16 µm | 33 | | 39 | | 2.9 | | 2.1 | | 2.5 | 55 | | 62 | | 58.5 | 46 | | 55 | | 50.5 | 46 | 39 | 18 |
| <2 µm | 26 | | 35 | | 2.7 | | 2.1 | | 2.4 | 42 | | 52 | | 47 | 38 | | 39 | | 38.5 | 36 | 35 | 4 |
| droge stof | 33.6 | | 20.7 | | 80.7 | | 80.2 | | 80.45 | 14.1 | | 14.9 | | 14.5 | 17.1 | | 17 | | 17.05 | 27 | 20.7 | 28 |
| o.s | 10.5 | | 10.5 | | 2.1 | | 1.3 | | 1.7 | 12.5 | | 15.5 | | 14 | 21 | | 21 | | 21 | 14.4 | 10.5 | 37.6 |
| chroom | 51 | 0 | 52 | 0 | <10 | 0 | 11 | 0 | 10 | 76 | 0 | 77 | 0 | 76.5 | 65 | 0 | 62 | 0 | 63.5 | 61 | 52 | 16.6 |
| nikkel | 28 | 0 | 27 | 0 | <5 | 0 | 11 | 0 | 8 | 44 | 0 | 44 | 0 | 44 | 39 | 0 | 38 | 0 | 38.5 | 36 | 27 | 33.2 |
| koper | 99 | 3 | 115 | 3 | 41 | 2 | 26 | 2 | 33.5 | 190 | 3 | 210 | 3 | 200 | 270 | 4 | 270 | 4 | 270 | 197 | 115 | 71.4 |
| zink | 490 | 1 | 530 | 1 | 85 | 1 | 93 | 1 | 89 | 770 | 2 | 820 | 2 | 795 | 1250 | 4 | 1250 | 4 | 1250 | 840 | 530 | 58.5 |
| cadmium | 2.5 | 2 | 2.8 | 2 | <0.2 | 0 | <0.2 | 0 | 0.1 | 4.4 | 2 | 4.5 | 2 | 4.45 | 5.1 | 2 | 4.8 | 2 | 4.95 | 3.9 | 2.8 | 39.2 |
| lood | 180 | 1 | 210 | 1 | 125 | 1 | 230 | 1 | 177.5 | 310 | 1 | 320 | 1 | 315 | 1050 | 4 | 1050 | 4 | 1050 | 557 | 210 | 165.0 |
| arseen | 26 | 0 | 28 | 0 | <10 | 0 | <10 | 0 | 5 | 41 | 1 | 42 | 1 | 41.5 | 29 | 0 | 29 | 0 | 29 | 31 | 28 | 10.2 |
| kwik | 2.4 | 3 | 4.3 | 3 | 0.6 | 2 | 0.9 | 2 | 0.75 | 6.4 | 3 | 6 | 3 | 6.2 | 8.1 | 3 | 7.7 | 3 | 7.9 | 5.9 | 4.3 | 37.1 |
| PAK (10) | 68 | 4 | 360 | 4 | 2.3 | 3 | 66 | 4 | 34.15 | 320 | 4 | 310 | 4 | 315 | 14 | 2 | 6.2 | 2 | 10.1 | 158 | 360 | -56.1 |
| PAK (16) | 99 | | 510 | | 3.3 | | 89 | | 46.15 | 460 | | 430 | | 445 | 21 | | 9 | | 15 | 223 | 510 | -56.3 |
| OCB (tot) | 28 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCB (tot) | 140 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| olie GC | | | 5600 | 4 | 91 | 1 | 1250 | 4 | 670.5 | 5300 | 3 | 4800 | 3 | 5050 | 550 | 1 | <250 | 0 | 400 | 2637 | 5600 | -52.9 |
| Totaal | | 4 | | 4 | | 3 | | 4 | | | 4 | | 4 | | | 4 | | 4 | | | | |

# *T2000-geschikheidsprotocol*

## Petroleumhaven Amsterdam

| | ***Geanalyseerd:*** | | | | | ***Berekend:*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2mm-500u** | **500-63u 2-2,9 t/m3** | **63-45u** | **500-63u <2 t/m3** | **<63u** | 2mm-63u | 63-45u | <45u | totaal | uitgang | % t.o.v. uitgang |
| Massa | 1,7 | 38,6 | 4,4 | 4,6 | 55,1 | 40,3 | 9 | 50,7 | 100 | 100 | 0% |
| <2000 | | 100 | | | 100 | | | | | 100 | |
| <210 | | 59 | | | 42,5 | | | | | 68 | |
| <63 | | 0 | | | 41 | | | | | 36 | |
| <50 | | 0 | | | 39,5 | | | | | 35 | |
| <16 | | 0 | | | 35,5 | | | | | 32 | |
| <2 | | 0 | | | 27 | | | | | 24 | |
| o.s. | 1 | 0,5 | 6,8 | 11,6 | 13 | 0,52 | 9,3 | 13,5 | 7,9 | 9,9 | -20% |
| cr | 52 | 5 | 29 | 35 | 82,5 | 7,0 | 32 | 87 | 50 | 43 | 16% |
| ni | 26 | 5,1 | 22 | 26 | 50,5 | 6,0 | 24 | 53 | 31 | 26 | 21% |
| **cu** | 70 | 12 | 77 | 92 | 240 | 14,4 | 85 | 254 | 142 | 105 | 36% |
| zn | 820 | 45 | 310 | 380 | 855 | 78 | 346 | 902 | 520 | 460 | 13% |
| cd | 1,3 | 0,1 | 0,8 | 0,9 | 4 | 0,2 | 0,9 | 4,3 | 2,3 | 2,1 | 10% |
| **pb** | 760 | 21 | 140 | 210 | 375 | 52 | 176 | 395 | 237 | 220 | 8% |
| as | 27 | 5 | 14 | 14 | 48,5 | 5,9 | 14 | 51 | 30 | 24 | 24% |
| hg | 7,3 | 0,9 | 1,6 | 2,6 | 7,55 | 1,2 | 2,1 | 8,1 | 4,8 | 8,7 | -45% |
| pak | 50 | 15 | 185 | 1700 | 220 | 16 | 959 | 223 | 206 | 240 | -14% |
| olie | 1000 | 660 | 2600 | 32000 | 3950 | 674 | 17627 | 4067 | 3920 | 3800 | 3% |

## Stadgrachten Amersfoort

| | ***Geanalyseerd:*** | | | | | ***Berekend:*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2mm-500u** | **500-63u 2-2,9 t/m3** | **63-20u** | **500-63u <2 t/m3** | **<63u** | 2mm-63u | 63-20u | <20u | totaal | itgang | % t.o.v. uitgang |
| Massa | 12,9 | 48 | 21 | 11,4 | 27,7 | 60,9 | 32,4 | 6,7 | 10 | 100 | 0% |
| <2000 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | | | | 100 | |
| <1000 | 90 | 100 | | 100 | | 98 | | | | 99 | |
| <500 | 49 | 100 | | 100 | | 89 | | | | 94 | |
| <250 | 12,5 | 63 | | 89 | | 52 | | | | 71 | |
| <125 | 3,1 | 17 | | 54 | | 14 | | | | 34 | |
| <63 | 0 | 0 | | 16 | | 0 | | | | 22 | |
| <50 | 0 | 0 | | 16 | | 0 | | | | 20 | |
| <32 | 0 | 0 | | 13 | | 0 | | | | 17,5 | |
| <16 | 0 | 0 | | 11 | 65.5 | 0 | | | | 14 | |
| <2 | 0 | 0 | | 8 | 35 | 0 | | | | 7,6 | |
| o.s. | 13,9 | 1 | 23,5 | 20 | 23,7 | 3,73 | 22,3 | 24,3 | 11, | 9,9 | 12% |
| cr | 5 | 5 | 27 | 22 | 52 | 5,0 | 25 | 130 | 2 | 19 | 5% |
| ni | 8,15 | 3 | 18,5 | 15 | 33,5 | 4,1 | 17 | 81 | 1 | 11,5 | 17% |
| cu | 220,5 | 12 | 155 | 115 | 350 | 56,2 | 141 | 961 | 14 | 115 | 25% |
| zn | 330 | 37 | 600 | 435 | 1575 | 99 | 542 | 4631 | 54 | 530 | 3% |
| cd | 0,5 | 0 | 0,05 | 1 | 4,5 | 0,1 | 0,4 | 18,4 | 1, | 1,6 | -11% |
| pb | 1355 | 38 | 770 | 520 | 1375 | 317 | 682 | 3271 | 63 | 590 | 7% |
| as | 8 | 5 | 15 | 5 | 40 | 5,6 | 11 | 118 | 1 | 16 | -6% |
| hg | 1,05 | 1 | 8,9 | 4 | 13,25 | 1,0 | 7,2 | 26,9 | 4, | 3,5 | 35% |

## Kattendiep Kampen

| | ***Geanalyseerd:*** | | | | | ***Berekend:*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2mm-500u** | **500-63u 2-2,9 t/m3** | **63-20u** | **500-63u <2 t/m3** | **<63u** | 2mm-63u | 63-20u | <20u | totaal | uitgang | % t.o.v. uitgang |
| Massa | 33,6 | 31,2 | 23 | 2,5 | 32,7 | 64,8 | 25,5 | 9,7 | 100 | 100 | 0% |
| <2000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0% |
| <1000 | 89 | 100 | | | | 94 | | | | 96 | |
| <500 | 14 | 99 | | | | 55 | | | | 68 | |
| <250 | 0 | 39 | 30 | 39 | 58,5 | 19 | 31 | 100 | 30 | 42 | -29% |
| <125 | 0 | 12 | | | | 6 | | | | 32 | |
| <63 | 0 | 2 | 21 | 2 | 54,5 | 1,0 | 19 | 100 | 15 | 27 | -44% |
| <50 | 0 | 2 | 19 | 2 | 53,5 | 1,0 | 17 | 100 | 15 | 26 | -43% |
| <32 | 0 | 0 | | | | 0 | | | | 25 | |
| <16 | 0 | 0 | 6,1 | 0 | 45 | 0 | 6 | 90 | 10 | 22 | -54% |
| <2 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 26 | 0 | 3 | 79 | 9 | 12,5 | -32% |
| o.s. | 1 | 1 | 6,6 | 20 | 11,55 | 1,00 | 7,9 | 23,3 | 4,9 | 5,4 | -9% |
| cr | 5 | 19 | 150 | 135 | 505 | 11,7 | 149 | 1347 | 176 | 180 | -2% |
| ni | 2,5 | 7 | 39 | 33 | 73 | 4,7 | 38 | 154 | 28 | 27 | 3% |
| cu | 2,5 | 12 | 125 | 115 | 395 | 7,1 | 124 | 1035 | 137 | 115 | 19% |
| zn | 39,5 | 128 | 680 | 630 | 1650 | 82 | 675 | 3950 | 609 | 670 | -9% |
| cd | 0,1 | 1 | 9,2 | 10,5 | 30,5 | 0,5 | 9,3 | 81,0 | 10,6 | 11 | -4% |
| pb | 5 | 7 | 150 | 85 | 450 | 6 | 144 | 1161 | 153 | 155 | -1% |
| as | 5 | 5 | 25 | 5 | 61 | 5,0 | 23 | 146 | 23 | 23 | 1% |
| hg | 0,2 | 1 | 3,1 | 4,6 | 12,75 | 0,6 | 3 | 36 | 5 | 3 | 55% |
| PCB's | 10,15 | 25 | 420 | 970 | 585 | 17,3 | 473,9 | 976,2 | 226,8 | 320 | -29% |