

Tussenrapportage Sanering Ketelmeer

20 december 2005

Tussenrapportage Sanering Ketelmeer

20 december 2005

AKWA-werkdocument 05.007
RIZA-werkdocument 2005.178X

.....

Colofon

Uitgegeven door: AKWA

Informatie: Leonard Osté (RIZA) en Hans Otten (BWD)
Telefoon: 0320 298456 en 030 2858530
Fax:

Opdrachtgever: Wytze van der Herberg (RWS-IJG) t/m 2004
Hans Vos (RWS-IJG) vanaf 2005

Datum: 20 december 2005

Status: definitief

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
Samenvatting	5
1 Aanleiding	7
2 Aanpak	9
3 Beschrijving van de uitgevoerde sanering.	11
3.1 Het gebied Ketelmeer-Oost	11
3.2 Metingen	11
3.3 Berekenings- en beoordelingsmethoden	12
3.4 Oordeel over de ernst en urgentie:	12
3.5 Formulering van de saneringsdoelstelling beleidsmatig niveau	14
3.6 Beoordeling saneringsalternatieven	15
3.7 Formulering van de saneringsdoelstelling op operationeel niveau	15
3.8 Genomen saneringsmaatregelen	16
3.9 Resultaat van de saneringsmaatregelen	18
3.9.1 Methode voor vaststelling van het verwijderingsrendement	18
3.9.2 Het opgeleverde verwijderingsrendement	20
3.9.3 Metingen ter beoordeling van de reductie van risico's	21
3.10 Evaluatie van de doelstelling op operationeel en beleidsmatig niveau	23
3.11 Omgaan met achtergebleven verontreinigingen	25
4 Conclusies	26
5 Aanbevelingen voor de sanering Ketelmeer fase 2	27
6 Referenties	29
Bijlage I: samenvatting ISK	31
Bijlage II: Evaluatie op basis van oorspronkelijke meetgegevens en huidige beoordelingsmethoden	37
Bijlage III: Beoordeling op basis van huidige meet- en beoordelingmethoden	43

Samenvatting

In 1994 werd besloten het Ketelmeer te saneren. De sanering had tot doel: de waterbodem van het Ketelmeer in een zodanige toestand te brengen, dat verdere verspreiding van de verontreiniging via oppervlaktewater en grondwater wordt voorkomen, herstel van de (gebruiks)functies en het ecosysteem mogelijk is en randvoorwaarden voor verdere ontwikkeling van het Ketelmeer gecreëerd worden

Om deze doelstelling te behalen is gekozen voor het wegbaggeren van de verontreinigde waterbodem in het hele Ketelmeer, uitgezonderd de voormalige zandwinputten. Het volledig wegbaggeren van alle verontreinigde specie bleek onmogelijk zonder zeer veel schoon materiaal mee te baggeren, hetgeen de sanering ook veel duurder zou maken. Daarom werd gezocht naar een optimum hetgeen resulteerde in een verwijderingsdoelstelling van 95% in erosiegebieden en van 91% in sedimentatiegebieden.

Voor de realisatie is een digitaal terreinmodel (DTM) ontwikkeld, dat de te baggeren diepte aangaf. Dit betekende dat de beoogde saneringsdoelstelling zou worden gehaald, als tijdens de oplevering werd voldaan aan de diepte van het DTM. Volgens het voorgeschreven DTM diende in totaal 6,16 miljoen m³ gebaggerd te worden. Binnen de voorgeschreven marges is er 1,7 % (105 duizend m³) sediment achtergebleven boven de voorgeschreven diepte volgens het DTM. Aan de andere kant is 2,7% extra gebaggerd onder het DTM. Theoretisch is dit schoon materiaal, maar vanwege de heterogeniteit zal ook deels vuil materiaal gebaggerd zijn, hetgeen het verwijderingsrendement verhoogt. Verder is tijdens de uitvoering besloten niet 12 maar 19 meter uit de kant te blijven in verband met de stabiliteit van dijken. Als gevolg van die beslissing is 0,5% minder gebaggerd. Bovengenoemde getallen leiden tot de conclusie dat de verwijderingsdoelstelling vrijwel zeker is gehaald.

Als het resultaat wordt bekeken vanuit een risicoperspectief, valt het volgende op te merken: de opgeleverde waterbodem bevat aan het oppervlak een dunne, vlekkerige toplaag die nog verontreinigd materiaal bevat. De toplaag is voor ecologische risico's en verspreiding via het oppervlaktewater van groot belang. Aangezien de toplaag niet schoon is, kunnen de risico's niet volledig uitgesloten worden. Juist omdat de toplaag van groot belang is. Hoewel dunne lagen sneller mengen met vers sediment, hebben ze een relatief groot contactoppervlak. Het volume van de niet-gebaggerde dunne lagen is gering (ca. 1%), maar het oppervlak bedraagt ongeveer 10% van het gebied. Dat neemt niet weg dat een deel van de waterbodem in Ketelmeer-Oost schoon is en dat in het hele gebied de dikte van de verontreinigde laag sterk is afgenomen. Dit laatste vermindert de risico(duur) voor grondwaterverontreiniging, hoewel nog nader onderzocht moet worden in hoeverre de doorlatendheid is veranderd en daarmee de transportsnelheid van verontreinigingen. De sanering heeft er verder voor gezorgd dat het meer dieper is geworden,

waardoor er minder opwerveling plaatsvindt, hetgeen de evt. verspreiding van achterbleven verontreiniging via het oppervlaktewater vermindert en de sedimentatiesnelheid kan verhogen.

Bij de beoordeling van de alternatieven in het saneringsonderzoek is geen rekening gehouden met het feit dat er een restverontreiniging zou achterblijven, dat er dicht bij de dijk niet gebaggerd kon worden en dat ca. 100 ha met een laag < 10 cm niet gebaggerd zou worden. Er is aangenomen dat de top laag na verwijdering geen verontreinigd materiaal meer bevat. Deze aannames zijn in de praktijk niet haalbaar gebleken. Dit geldt niet alleen voor baggeren als saneringmaatregel, maar ook voor afdekking wordt verondersteld dat de risico's voorgoed tot nul gereduceerd zijn.

Aanvankelijk bevatte dit rapport ook 2 hoofdstukken over risicobeoordeling volgens de huidige inzichten. Omdat deze hoofdstukken strikt genomen niet in de tussenrapportage hoeven, zijn ze toegevoegd als bijlagen II en III.

1 Aanleiding

De Directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat heeft bij brief nummer PAW 5426 van 22 april 2003 verzocht om een tussenrapportage op te stellen voor van de waterbodemsanering in het oostelijk Ketelmeer. De inhoud van dit rapport dient te worden opgesteld zoals bepaald is in de beschikking Wet bodembescherming.

De strekking van het tussenrapport na de sanering van Ketelmeer-Oost wordt bepaald in paragraaf 4.6.1. van de beschikking:

Uiterlijk vier maanden voor de aanvang van de uitvoering van de tweede saneringsfase en na de afronding van de saneringswerken van deelgebied E, dient er een tussenrapportage te worden opgesteld waarin op grond van tussentijdse conclusies, aanbevelingen worden gedaan voor de uitvoering van de tweede fase. Het tussenrapport maakt deel uit van het uitvoeringsplan en dient ter goedkeuring aan de directeur-generaal te worden overlegd.

In het saneringsplan wordt in hoofdstuk 7, *Evaluatie en nazorg*, in 7.1 aangegeven dat na afloop van de sanering een evaluatierapport zal worden opgesteld en na afloop van de eerste fase een tussenrapport met dezelfde strekking als genoemd in de beschikking. In paragraaf 7.1.1 wordt gesteld dat uit de evaluatie van de verwijderingdoelstelling een aanbeveling kan voortvloeien voor aanpassing van deze doelstelling voor fase twee, de sanering van Ketelmeer West. In de uiteindelijke evaluatie van de sanering van heel het Ketelmeer dient volgens paragraaf 4.13 van de beschikking ten minste worden voorzien in de volgende onderwerpen:

1. een overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden;
2. een overzicht van de meetresultaten;
3. een evaluatie van de verwijderingdoelstelling;
4. een evaluatie van de risicovermindering (herstel van functies);
5. inzicht in de wijze waarop wordt omgegaan met achtergebleven verontreiniging.

Ad.1: hierin zal beschreven worden welke werkzaamheden zijn uitgevoerd en hoe er op de uitvoering is toegezien.

Ad.2: de baggerwerkzaamheden moesten voldoen aan een bepaald rendement. Er is gedetailleerd gemeten of dit rendement is gehaald.

Ad.3: op basis van de gebaggerde hoeveelheid en de hoeveelheid achtergebleven sediment zal worden beoordeeld in hoeverre de gewenste verwijderingsdoelstelling is gehaald.

Ad 4: In het saneringsplan worden de volgende aspecten genoemd m.b.t. risicovermindering:

- afname van verspreidingsrisico's via grondwater en oppervlaktewater;
- mate van herstel van het ecosysteem;

-
- mate van herstel van gebruiksfuncties (ontwikkeling havens, recreatie, natuurbouw).

Ad. 5: Binnen het gebied dat is aangewezen voor fase 1 is op de volgende plaatsen verontreinigd materiaal achtergebleven:

- gebieden met lagen dunner dan 10 cm;
- voormalige zandwinputten;
- verontreinigd materiaal beneden de gedefinieerde baggerdiepte;
- verontreinigd sediment dichter dan 19 meter vanaf de waterlijn aan de dijk in verband met de civieltechnische constructie.
- 1 cm mors in het hele gebied (onafhankelijk van de dikte van de verontreinigde laag).

De saneringsvisie die ten grondslag ligt aan de uitgevoerde werken in Schokkerhaven en Ketelmeer Oost is dezelfde, evenals de wijze van uitvoering. De rapporten zijn daarom in samenhang opgesteld, hetgeen efficiencyvoordelen biedt. De gevraagde registratie van feitelijkheden zal wel voor elk werk specifiek zijn. Over de sanering Schokkerhaven is in februari 2004 een evaluatierapport verschenen die door Bevoegd Gezag op 4 mei 2005 is geaccepteerd¹. Daarmee kan het project conform de terminologie uit het Saneringsprogramma Waterbodem Rijkswateren worden geschaard onder "Uitgevoerde saneringen".

¹ Brief van 4 mei 2005, kenmerk BEM 3743, Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, Directie Beheer en Exploitatie, onderafdeling Handhaving.

2 Aanpak

In het Nader onderzoek (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a) en het saneringsonderzoek (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992b) is onderbouwd waarom het Ketelmeer gesaneerd moest worden en welke saneringsvariant gekozen is. Na het besluit van de Minister van Verkeer en Waterstaat (Tweede Kamer, 1994) om tot sanering over te gaan, is een saneringsplan (Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, 1998) geschreven waarin het gekozen saneringsalternatief verder is uitgewerkt. Het project is opgedeeld in 2 fasen. Fase 1 omvat de sanering van het oostelijk deel van het Ketelmeer en Ketelhaven. Fase 2 omvat het westelijk deel van het Ketelmeer. Inmiddels is fase 1 voltooid. De sanering van de Ketelhaven is voor de zomer van 2005 opgeleverd. Over deze sanering zal medio 2006 separaat een tussenrapportage verschijnen. De resultaten worden meegenomen in evaluatie van de sanering Ketelmeer.

De vijf punten, die zijn voorgeschreven voor de eindevaluatie (zie inleiding) zijn ook de ingrediënten voor deze rapportage. Omdat fase 2 van de sanering niet voor 2007 zal starten is er voor gekozen om de nu beschikbare informatie met betrekking tot de evaluatie van fase 1 vast te leggen. Na uitvoering van fase 2 en de dan beschikbare resultaten van de monitoring vormt deze informatie de basis voor de eindevaluatie volgens de beschikking. In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de sanering is uitgevoerd. De informatie omtrent keuzes en metingen in het voortraject is voornamelijk afkomstig uit het nader onderzoek en het saneringsonderzoek. De resultaten van het baggerwerk betreft recent uitgevoerd werk. Aan het einde van hoofdstuk 3 wordt de verwijderingsdoelstelling besproken.

Inmiddels zijn de inzichten voortgeschreden. In deze evaluatie zal daarom teruggekeken worden op de doelstelling en onderbouwing van de sanering met de kennis van nu. Dit is op twee manieren gedaan:

1. De gegevens, zoals ze in 1994 beschikbaar waren, worden opnieuw beoordeeld op basis van de huidige inzichten (bijlage II).
2. Niet alleen de huidige beoordelingsmethoden worden gebruikt, maar ook de huidige meetmethoden (bijlage III). Nu is het uiteraard moeilijk om te bepalen wat de resultaten in 1994 waren geweest als de huidige meetmethoden waren gebruikt. Om deze inschatting te onderbouwen, kan gebruik gemaakt worden van het project 'Leereffecten Sanering Ketelmeer (LSK)' (Postma et al., 2004). Voor LSK is in 1998 en 1999 een groot opgezette meetcampagne gehouden om de toestand van het Ketelmeer vlak vóór sanering in kaart te brengen. Niet alleen totaalgehalten zijn gemeten, maar ook 'beschikbare' gehalten, bioassays en ecologische waarnemingen.

In hoofdstuk 3 wordt de uitgevoerde sanering beschreven aan de hand van de volgende punten:

1. gebiedsbeschrijving;

-
2. metingen;
 3. berekenings- en beoordelingsmethoden;
 4. oordeel over ernst en urgentie;
 5. formulering van de saneringsdoelstelling op beleidsmatig niveau;
 6. beoordeling van saneringsalternatieven;
 7. formulering van de saneringsdoelstelling op operationeel niveau;
 8. genomen saneringsmaatregelen;
 9. resultaat van de saneringsmaatregelen;
 10. evaluatie van de doelstelling op operationeel en beleidsmatig niveau;
 11. omgaan met achtergebleven verontreinigingen.

De bijlagen II en III zullen alleen ingaan op de metingen, de berekenings- en beoordelingsmethoden en het oordeel over ernst en urgentie.

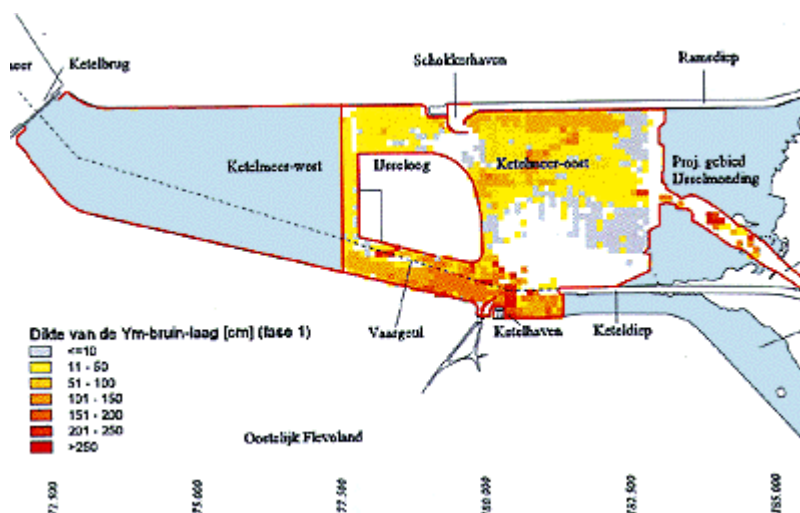
Dit project is gestart met een workshop van AKWA-deskundigen. Zij zijn in 4 groepen verdeeld, waarbij elke groep zich concentreerde op 1 risicopad. Op basis van de resultaten van deze workshop is aanvullende informatie verzameld. Dit betrof zowel nadere gesprekken met deskundigen alsmede literatuuronderzoek. Alle activiteiten hebben uiteindelijk geresulteerd in dit rapport.

3 Beschrijving van de uitgevoerde sanering.

In dit hoofdstuk worden stapsgewijs de uitgevoerde werkzaamheden beschreven. Startpunt is het Nader Onderzoek (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a). Na een beschrijving van het gebied, wordt in de paragrafen 3.2 t/m 3.7 het voortraject van de sanering behandeld. Meer details zijn terug te vinden in de diverse rapporten (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a & b; Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, 1998). In paragraaf 3.8 wordt de uitvoering van de sanering beschreven. Zowel de uitvoering als het gehele saneringstraject worden geëvalueerd in 3.9 en 3.10. Tenslotte wordt in 3.11 de omgang met achtergebleven verontreinigingen toegelicht. Hoewel onderstaande tekst in de tegenwoordige tijd is geschreven, handelt de tekst over de beoordeling van begin jaren '90 van de vorige eeuw.

3.1 Het gebied Ketelmeer-Oost

Figuur 3.1 geeft overzicht over de sanering van fase 1. Deze fase omvat het oostelijk deel van het Ketelmeer, exclusief Schokkerhaven (dat een apart geval is), de bouwlocatie IJseloog en het gebied IJsselmonding, maar inclusief het Kattendiep. De westelijke grens wordt gevormd door de noord-zuidraai op km 178000. Dit evaluatierapport behandelt alle in fase 1 geplande gebieden, behalve Ketelhaven.



Figuur 3.1: overzichtskartaal van het saneringsgebied in het Ketelmeer

3.2 Metingen

Voor het nader onderzoek zijn rond 1990 de volgende parameters gemeten:

- waterdiepte;
- debieten;
- stijghoogten;
- polderpeilen;
- bodemopbouw;

-
- dikte en ruimtelijke spreiding van de IJm-laag;
 - zwevend stof (< 50 µm)
 - chemische analyse van verontreinigingen in de waterbodem;
 - chemische analyse van het oppervlaktewater, inclusief zwevend stof, op diverse plaatsen (in elk geval in de IJsselmonding en de uitstroming naar het IJsselmeer;
 - 16 grondwatermonsters vlak onder de holocene afdekkende laag op ongeveer 25 meter diepte;
 - verontreinigingen in consumptie-aal;
 - PCB's en DDT-derivaten in vis;
 - bioassays: voortplanting van wormachtigen in Ketelmeersediment; ontwikkeling eieren en larven van forellen blootgesteld aan Ketelmeersediment; overleving van watervlooien, muggenlarven en vissen in poriewater geëxtraheerd uit Ketelmeersediment.

Er zijn geen specifieke metingen uitgevoerd in driehoeksmosselen in het Ketelmeer, ook al wordt in het Nader Onderzoek wel vastgesteld dat deze zeer belangrijk zijn in voedselweb. Wel heeft onderzoek in het IJsselmeergebied aangetoond dat cadmium en koper in lever en nieren van duikenden accumuleren.

3.3 Berekenings- en beoordelingsmethoden

Voor het nader onderzoek zijn de volgende methoden gebruikt:

- Toetsing van chemische parameters volgens NW3;
- interpretatie bioassays door vergelijking met schoon sediment;
- toetsing van verontreinigingen in aal aan consumptienormen
- interpretatie ecologische veldwaarnemingen;
- het bepalen van de slibbalans met het model STRESS;
- het modelleren van opname via de huid;
- het modelleren van de opname van verontreinigingen door kinderen via de mond;
- het schatten van de opname door vissers en baggeraars
- het gebruik van de gidsverontreinigingen cadmium (Cd), kwik (Hg), benz(a)pyreen (BaP) en PCB-153 voor de volgende doeleinden:
 - o bepalen van de algemene milieukwaliteit (AMK);
 - o het berekenen van de kwaliteit van nieuw sediment vanaf de Rijn met de modellen HORIZON & IMPAQT;
 - o het berekenen van de accumulatie in driehoeksmosselen met het model CHEOPS. Hierbij zijn alleen Cd en PCB-153 gebruikt; voor de andere gidsstoffen is het effect gering;
 - o het modelleren van de grondwaterstroming met MODFLOW, waarbij het relatief mobiele dichloorbenzeen (DCB) als gidsparameter is gebruikt. Er is geen rekening gehouden met afbraak;
- bij de berekening van de herverontreinigingskwaliteit is uitgegaan van de doelstellingen in het Rijn Actie Plan (R.A.P.) met betrekking tot zwevend stof.

3.4 Oordeel over de ernst en urgentie:

In 1992 werd gesteld (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a) dat het Ketelmeer een ernstig geval van verontreiniging was, omdat:

-
1. in grote gebieden de signaleringswaarden NW3 worden overschreden, met name voor som 6 PCB's. Verder is het sediment klasse 3 voor veel andere parameters;
 2. verspreiding via grond- en oppervlaktewater mogelijk is;
 3. de verontreinigende stoffen mogelijk biobeschikbaar zijn.
- Sanering van de waterbodem van het Ketelmeer is urgent, omdat:
1. de natuurfunctie is aangetast;
 2. de ontwikkeling van het gebied wordt belemmerd;
 3. de verspreiding van de verontreiniging vanuit het Ketelmeer een belangrijk aandeel levert in de totale belasting van het IJsselmeer;
 4. de nalevering naar IJsselmeer en via het grondwater in de toekomst doorgaan, hoewel de ecologische risico's zullen afnemen door natuurlijke afdekking.

De urgentie van de sanering van de voormalige zandwinputten wordt als laag beoordeeld (mits ze niet in de vaargeul liggen). De sliblaag van deze putten is goed geconsolideerd, waardoor het risico van verspreiding van de verontreiniging zeer beperkt is.

Een meer gedetailleerd oordeel over aanwezige risico's m.b.t. de 4 risicopaden:

Verspreiding via oppervlaktewater:

- Dit is beoordeeld op basis van slibtransport. 25% van het slib dat via het Ketelmeer in het IJsselmeer belandt, betreft opgewerkte verontreinigde waterbodem uit het Ketelmeer; 75% betreft 'vers' zwevend stof uit de IJssel of recent gesedimenteerd materiaal uit het Ketelmeer. Dit wordt bevestigd door de metingen, die aangeven dat de verontreinigingsgehalten in het zwevend stof nabij de Ketelbrug ca. 25% hoger liggen dan in de monding van de IJssel.

Verspreiding via grondwater

- 70% van de waterbodem bestaat uit zware zavel (midden en westelijk deel); het ondiepe oostelijke deel heeft een zandige bodem. Onder het hele ketelmeer liggen holocene klei- en veenlagen en daaronder pleistoceen zand. In de putten is het profiel verstoord.
- De gemeten concentraties aan verontreinigingen in het watervoerende pakket onder de holocene deklaag wijzen niet op vervuiling vanuit de waterbodem (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a). Mogelijk kan inzijgend oppervlaktewater zorgen voor verhoogde metaalconcentraties (Cr) in het zandige Oostelijke deel en bij voormalige zandwinputten. Verder zijn in de bodemonsters vlak onder de IJm-laag verhoogde concentratie di- en trichloorbenzeen gevonden.
- De berekeningen geven aan dat DCB na 300 jaar voor het eerst verhoogde concentraties in het kwelwater vertoont, hetgeen leidt tot overschrijding van de referentiewaarde en plaatselijk ook van de toetsingswaarde (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992a).

Ecologie

- Bioassays wijzen uit dat het sediment effecten veroorzaakt op de voortplanting van wormachtigen en de ontwikkeling van eieren en larven van forellen. Verder werd verhoogde sterfte van

watervlooiën, muggenlarven en vissen geconstateerd in poriewater uit Ketelmeersediment.

- Veldinventarisaties laten zien dat er lage aantallen muggenlarven voorkomen in het Ketelmeer en dat ze relatief veel kaakafwijkingen hebben. Deze effecten kunnen worden verklaard door hoge concentraties zware metalen.
- Het Ketelmeer is als onderdeel van de IJsseldelta en van de grote wateren van het IJsselmeergebied een belangrijk natuurgebied, vooral voor overwinterende vogels. Verder was het oostelijk gebied gepland voor natuurontwikkeling. Voor de gebruiksfunctie natuur vormt de verontreinigde waterbodem van het Ketelmeer een beperking.

Humaan

- Blootstelling via de huid en mond (kinderen) wordt verwaarloosbaar geacht. Ook de blootstelling voor vissers wordt niet relevant geacht omdat zij korte tijd in aanraking komen met sediment. Baggersaars wordt, omdat zij directer en langer met verontreinigde baggerspecie in aanraking komen, geadviseerd preventieve maatregelen te nemen.
- Voorgaande leidt tot de conclusie dat er voor de recreatie geen gezondheidsrisico's te verwachten zijn, al is het voor de ontwikkeling van recreatie niet positief dat de waterbodem verontreinigd is. Voor de ontwikkeling van haventjes, eilanden en strandjes vormt de verontreinigde bodem altijd een extra kostenpost.
- De vis voldoet vanaf eind tachtigerjaren aan de normen voor consumptie.

Bij het bepalen van de eindkwaliteit is rekening gehouden met het effect van herverontreiniging (autonome ontwikkeling). IMPAQT voorspelde dat de kwaliteit van zwevend stof vanaf 1995 klasse 2 zou zijn, maar dat klasse 1 voor 2010 in elk geval niet gehaald zou worden. Met name voor BaP en PCB153 blijkt klasse 1 niet haalbaar. Dit geldt overigens niet voor het hele Ketelmeer, want door geringe sedimentatie en relatief veel opwerveling vanwege scheepvaart blijft vooral in de vaargeulen verontreinigd materiaal aan het oppervlak liggen.

Op basis van de gegevens omtrent herverontreiniging concludeert het nader onderzoek dat de waterbodem na sanering niet schoner hoeft te zijn dan klasse 2.

3.5 Formulering van de saneringsdoelstelling beleidsmatig niveau

De waterbodem van het Ketelmeer dient in een zodanige toestand te komen, c.q. te worden gebracht, dat verdere verspreiding van de verontreiniging via oppervlaktewater en grondwater wordt voorkomen, herstel van de (gebruiks)functies en het ecosysteem mogelijk is en randvoorwaarden voor verdere ontwikkeling van het Ketelmeer gecreëerd worden (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992b; paragraaf 4.1).

3.6 Beoordeling saneringsalternatieven

De meegenomen alternatieven waren (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992b):

- afdekking (waarbij ingeval van haven, randen en vaargeul kunstmatig afgedekt zou worden en de rest natuurlijk),
- verwijderen verontreinigde waterbodem Schokker- en Ketelhaven,
- verwijderen verontreinigde waterbodem havens en vaargeulen,
- verwijderen verontreinigde waterbodem randen,
- verwijderen verontreinigde waterbodem hele ketelmeer behalve zandwinputten en oostelijk deel,
- verwijderen verontreinigde waterbodem hele Ketelmeer en oostelijk deel.

De saneringsalternatieven zijn vergeleken aan de hand van de criteria in het nader onderzoek (aard en omvang, risico's voor volksgezondheid of milieu, verspreidingsrisico's en aantasting van gebruiksfuncties), maar ook beheersbaarheid en controleerbaarheid en de kosten worden als criterium meegenomen. De verschillende alternatieven zijn beoordeeld in een multi-criteria-evaluatie (MCE).

Opvallend is dat afdekking een zeer dure optie is, vooral vanwege de hoge kosten die een vaarwegbeperking met zich meeneemt. In de tekst (saneringsplan par. 5.4 wordt nog wel toegelicht dat er gekozen kon worden voor het verwijderen van de verontreinigde waterbodem in de geulen en afdekken van de rest. Dan nog zou deze variant niet als beste uit de bus komen, omdat kunstmatige afdekking (met zand) ook niet zo goedkoop is. Qua effectiviteit steken de verwijdering (in- en exclusief putten) met kop en schouders boven de rest uit. De kosten van het leegbaggeren van de putten zijn relatief hoog.

3.7 Formulering van de saneringsdoelstelling op operationeel niveau

In het saneringonderzoek (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1992b) wordt geconcludeerd dat het wegbaggeren van de verontreinigde waterbodem in het hele Ketelmeer, uitgezonderd de voormalige zandwinputten, de meest gunstige oplossing is.

Uit analyses bleek dat vooral de IJm-bruinlaag ernstig verontreinigd was en de onderliggende IJm-grijslaag niet. Daarom is de verontreiniging gelijkgesteld aan de IJm-bruinlaag. De positie van de IJm-bruinlaag is beschreven met behulp van een digitaal terreinmodel (DTM), dat was toegevoegd aan het bestek. Het DTM gaf, op elke locatie, te baggeren diepte aan. Deze diepte was gebaseerd op het door het bevoegd gezag goedgekeurde verwijderingsrendement. Dit betekent dat de beoogde saneringsdoelstelling wordt gehaald, als tijdens de oplevering wordt voldaan aan de diepte van het DTM.

3.8 Genomen saneringsmaatregelen

Op 17 februari 2000 is bestek IJW 2049 aanbesteed. Het bestek is gegund aan de Combinatie Sanering Ketelmeer bestaande uit HAM-VOW b.v, Boskalis b.v. en van Oord ACZ. De aanneemsom bedroeg €46 miljoen (Fl 102 miljoen). In de periode tussen mei 2000 en augustus 2002 is ca. 6 miljoen m³ saneringsspecie verwijderd en geborgen in het depot IJsseloog.

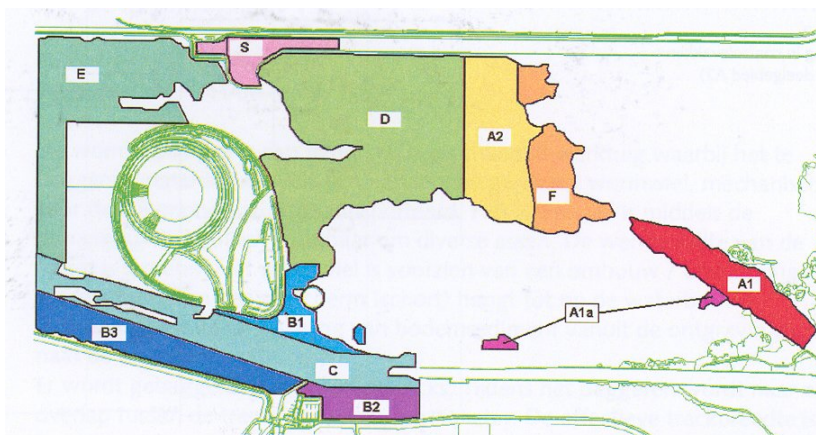
Het werk is uitgevoerd als een nauwkeurig baggerwerk op basis van een DTM. Het theoretisch DTM uit het saneringsplan, ter bepaling van de grens IJm-bruin/IJm-grijs, is ook gebruikt voor de uitvoering. Hierin is niets gewijzigd. In het saneringsplan wordt voorgeschreven dat het baggerwerk in erosiegebieden (15,5% van het oppervlak) moet resulteren in een verwijderingspercentage van 94-96%, terwijl voor sedimentatiegebieden (84,5% van het oppervlak) 90-92% geldt. Het verwijderingspercentage wordt beïnvloed door de maaknauwkeurigheid van de baggertechniek, de betrouwbaarheid van het DTM en de mors. Om het gewenste verwijderingspercentage te halen, dient met een zekere overdiepte gebaggerd te worden. Het theoretisch profiel dat de baggeraar moet baggeren komt tot stand door het DTM met de benodigde overdiepte te superponeren.

Het DTM is aangeleverd in een raster met 1 diepte per 25 m² (5x5 meter). Het werk is onderverdeeld in 10 deelgebieden (figuur 3.2). De volgende gebieden zijn om uiteenlopende redenen niet gebaggerd:

- De verontreinigde lagen dunner dan 10 cm (betreft vooral de randen), omdat:
 - dunnere lagen in het algemeen minder ernstig verontreinigd zijn;
 - het relatief dure m³ betreft;
 - bij het verwijderen van dunne lagen verhoudingsgewijs veel schoon materiaal wordt verwijderd, omdat de minimaal te baggeren laagdikte 20-30 cm bedraagt. In de vergunning van IJsseloog is opgenomen dat maximaal 25% van het aangeleverde materiaal mag bestaan uit meegebaggerd materiaal schoner dan klasse 3;
 - de hoeveelheid verontreinigde baggerspecie in lagen dunner dan 10 cm minder dan 1% van het totaal is, hetgeen binnen de marge van het beoogde verwijderingspercentage valt;
 - een dunne laag zich door resuspensie en bioturbatie relatief snel mengt met nieuw aangevoerd schoner sediment.
- De voormalige zandwinputten. Aanvankelijk werd gedacht dat alleen in het westelijk deel van het Ketelmeer voormalige zandwinputten aanwezig waren. Later werden ook in het oostelijk deel putten gevonden. Deze zijn aangepakt zoals gepland in het westelijk deel, namelijk door het waterbodenniveau gelijk te houden met de omliggende (gebaggerde) bodem. Indien een voormalige zandwinput in een nog te baggeren vaargeul ligt, wordt de verontreiniging over het volledige oppervlak van de put tot 50 cm onder het niveau van de vaargeul (6,5 m – NAP) gebaggerd. Dit voorkomt dat tijdens onderhoud, waarbij een overdiepte wordt

toegepast) opnieuw klasse 3 en 4 wordt ontgraven. De put wordt over de hele oppervlakte ontgraven om te voorkomen dat klasse 3 of 4 materiaal zich vanuit de taluds kan verspreiden in de vaargeul. Het uitgraven van de putten maakt de sanering ca. 50% duurder en geeft een geringe verbetering van milieueffecten, waardoor het milieurendement (in het saneringsonderzoek gedefinieerd als: de verhouding tussen milieueffectiviteit en kosten) afneemt.

- In verband met de stabiliteit van de dijken is dichtbij de dijken niet gebaggerd. Deze afstand tot de dijken was gepland op 12 meter, maar bij de uitvoering van de sanering is besloten om 7 meter verder uit de dijk te stoppen met saneren.

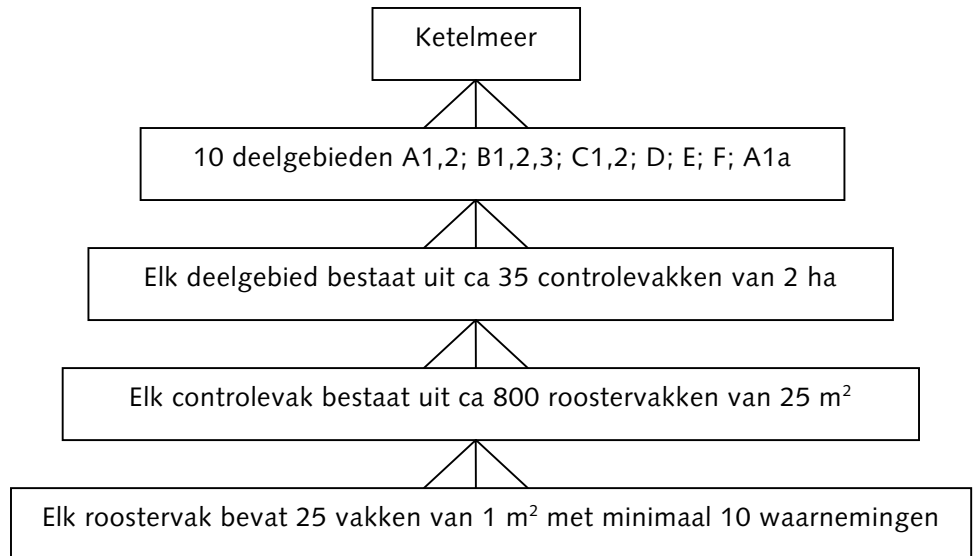


Per deelgebied is in Tabel 1 een karakterisering gemaakt van het type bodem en het theoretisch profiel.

Deel gebied	Bodemtype	Gem. NAP diepte theoretisch DTM	Profiel theoretisch DTM
A1	Zand / slib	-4.993	Vlakke bodem, aan de randen talud 1:2 tot ca NAP -0.50 m
A2	Zanderig slib	-3.063	Vlakke bodem, kleine taluds aan de randen
B1	Slib	-4.025	Bodem met taluds
B2	Slib	-3.454	Bodem met taluds
B3	Slib	-3.869	Vlakke bodem
C1	Slib	-4.984	Bodem met taluds
C2	Slib	-4.318	Bodem met taluds
D	Slib	-3.611	Overwegend vlakke bodem
E	Slib	-3.936	Vlakke bodem
F	Zand	-2.801	Vlakke bodem
S1	Slib	-4.878	Vlakke bodem
S2	Slib	-4.249	Vlakke bodem, aan de randen talud 1:3 tot ca NAP -0.50 m

Figuur 3.2: Overzichtskartaal van de deelgebieden in Ketelmeer-Oost

Aan de rand van de deelgebieden loopt het DTM over in de waterbodem die niet gebaggerd hoeft te worden. Als de waterbodem buiten het baggergebied echter hoger ligt dan het originele DTM (door extra sedimentatie), ontstaat na het baggeren een hoogteverschil. In die gevallen is een talud gemaakt van 1 : 2 als overgang.



Figuur 3.3: indeling van het Ketelmeer voor het baggerwerk

Figuur 3.3 geeft een overzicht van de indeling van het saneringsgebied. Alle deelgebieden zijn verdeeld in controlevakken, met een afmeting van 2 hectare plus of min 10% en een lengte/breedte verhouding van maximaal 3/1. Uitgangspunt voor de kwaliteitscontrole is het resultaat per controlevak. De grootte van een controlevak werd gelimiteerd door de volgende eigenschappen:

- Er wordt per controlevak betaald, hetgeen moet resulteren in redelijke betalingseenheden
- Een vak moet binnen 24 uur te baggeren zijn, ter beperking van risico's van bodemrijzing.
- Een vak moet binnen 24 uur te baggeren zijn, ter beperking van "stuurcorrecties", op basis van tussen peilingen. Met "stuurcorrecties" wordt bedoeld dat als de baggeraar in de eerste helft van het vak iets te diep heeft gebaggerd, hij in de tweede helft iets minder kan baggeren. Dit is ongewenst, omdat er te veel verontreinigd materiaal achterblijft. Het vaststellen van te diep baggeren en bijsturen van het baggerwerktuig vraagt echter enige tijd en is dus in kleinere vakken moeilijker te realiseren.

Na het ontgraven van een controlevak is de kwaliteit van het opgeleverde profiel vastgesteld. De vereiste kwaliteit is gedefinieerd door het theoretisch DTM met de bijbehorende toleranties.

3.9 Resultaat van de saneringsmaatregelen

3.9.1 Methode voor vaststelling van het verwijderingsrendement

De controle van het DTM gebeurt in roostervakken van 5x5 meter. Per roostervak geldt één te ontgraven NAP-diepte, die wordt verkregen door middeling van de peilingen. In de praktijk is dit door een tweetrapsmiddeling gedaan, waarbij eerst de waarnemingen in vakken van 1x1 m (minimaal 10) zijn uitgemiddeld, waarna steeds het

gemiddelde van 25 vakken is gebruikt om tot een representatieve waarde per 25m² (roostervak) te komen.

In het saneringsplan zijn de te baggeren hoeveelheden gebaseerd op basis van het verschil tussen twee berekende DTM's. Voor alle boorpunten is zowel de bovenkant van de waterbodem als de scheiding IJm-bruin/grijs in een NAP maat in de diepte bepaald. Hiervan zijn twee DTM's gemaakt (één voor hoogteligging waterbodem, ook wel inpeiling genoemd en één voor de te baggeren diepte, ook wel theoretisch DTM genoemd). Het DTM was zo ontworpen, dat ook indien het sediment in de niet-gebaggerde delen (taluds, dunne lagen, etc.) wordt meegeteld, toch het vereiste verwijderingspercentage wordt gehaald. In de vaargeul werd een verwijderingsrendement gehaald van 92% (zoals voorgeschreven). In het overige gebied werd ca. 96% verwijderd. In de erosiegebieden was dit voorgeschreven, maar voor sedimentatiegebieden was 92% voorgeschreven en werd dus meer weggehaald dan vereist. Die volumes zijn als compensatie meegeteld voor gebieden waar niet gebaggerd werd. De werkelijk te baggeren hoeveelheid is tijdens de uitvoering bepaald aan de hand van de inpeiling. Bij de werkelijke inpeiling is het verschil berekend tussen de actuele bodemligging en de eerder bepaalde scheiding IJm bruin/grijs.

Het bestek kent 2 soorten toleranties, de macro- en microtolerantie. De microtolerantie is de baggertolerantie in een enkel roostervak. Dit is het gemiddelde van alle waarnemingen in een roostervak van 5x5 meter met een punt dichtheid van tenminste 10 waarnemingen per vierkante meter. Toegestaan is een maximale afwijking ten opzichte van het ontgravingsprofiel van 0,10 meter. De macrotolerantie is de baggertolerantie in het gehele controlevak. Deze wordt berekend uit het verschil tussen de gemiddelde waarden van alle gepeilde roostervakken binnen een controlevak en het DTM. Als het ene roostervak dus te diep en het andere te ondiep is gebaggerd, valt dit in het controlevak tegen elkaar weg. Daarom is macro-tolerantie scherper: als criterium geldt hierbij een maximaal gemiddeld te ondiepe ontgraving van 0,015 m en een maximaal gemiddeld te diepe ontgraving van 0,035 m. Zowel de micro- als de macrotolerantie worden afgerekend per controlevak. Ter compensatie van een eventuele invloed van meetfouten in het resultaat geldt per controlevak een aanvullende tolerantie van 300 m³ buiten de microtolerantie. Bij overschrijding van deze aanvullende tolerantie gelden alle m³ 's buiten de tolerantie voor de boete bepaling/afkeuring.

Alle peilingen, zowel de in- als uitpeiling, zijn door de opdrachtgever en opdrachtnemer gezamenlijk uitgevoerd, echter wel met hun eigen software. Daarna hebben ze onafhankelijk van elkaar de data uitgewerkt ook met eigen software. Dit had tot gevolg dat er kleine verschillen konden ontstaan. Als de resultaten van beide partijen binnen de van tevoren opgestelde norm vallen, wordt voor de besteksadministratie de uitwerking van de opdrachtnemer maatgevend. Ten aanzien van de verrekening van de gebaggerde hoeveelheid geldt het verschil

tussen de inpeiling en het theoretisch profiel (DTM). De uitpeiling wordt gezien als de kwaliteitstoets voor het opgeleverde baggerwerk.

Bij de beoordeling van de uitpeiling is per roostervak aangenomen dat alles wat dieper is opgeleverd dan het DTM, grond betreft wat ten onrechte is gebaggerd, ook de hoeveelheid die binnen de tolerantie is opgeleverd. Alles wat boven het DTM is achtergebleven wordt beschouwd als vervuilde grond, ook de hoeveelheid binnen de toegestane tolerantie. Buiten de negatieve tolerantie is niets achtergebleven omdat in dit geval herbewerking heeft plaatsgevonden.

Voor de beschouwing van het behaalde saneringsresultaat wordt enkel gebruik gemaakt van de resultaten van de metingen uitgevoerd door de opdrachtgever, omdat deze informatie digitaal zowel in ruwe als bewerkte vorm aanwezig is. Daardoor kunnen kleine verschillen ontstaan in vergelijking met de gegevens uit de besteksadministratie.

3.9.2 Het opgeleverde verwijderingsrendement

Alle controlevakken voldoen aan het beoogde rendement, want het vak is opnieuw gebaggerd als niet werd voldaan aan de negatieve tolerantie. Indien de positieve tolerantie werd overschreden – dus te diep ontgraven – kon uiteraard geen materiaal worden teruggebracht, maar werd een boete opgelegd.

Tabel 3.1: overzicht van de gebaggerde hoeveelheden boven en onder het theoretisch DTM

Deel gebied	te baggeren (boven DTM)		gebaggerd totaal volume m3	achter gebleven				dieper gebaggerd			
	theor. Vol boven DTM m3	theor. Opp. boven DTM m2		volume boven DTM m3	opp. boven DTM m2	dikte in m	in %	volume beneden DTM m3	opp. beneden DTM m2	dikte in m	in %
A 1	960.248	488.059	967.586	9.360	199.909	0,019	0,97	16.698	288.150	0,034	1,74
A 2	349.454	917.505	356.496	7.148	355.754	0,008	2,05	14.190	561.751	0,015	4,06
B 1	219.943	176.647	218.073	7.801	162.709	0,044	3,55	5.932	13.938	0,034	2,7
B 2	393.725	300.975	392.049	7.676	170.586	0,026	1,95	5.999	130.389	0,020	1,52
B 3	718.191	703.015	725.561	8.354	255.439	0,012	1,16	15.724	447.576	0,022	2,19
C 1	625.157	340.853	623.692	9.161	191.030	0,027	1,47	7.696	149.823	0,023	1,23
C 2	740.167	764.268	744.954	13.595	341.552	0,018	1,84	18.381	422.716	0,024	2,48
D	1.469.515	2.761.937	1.486.250	25.186	1.129.484	0,009	1,71	41.921	1.632.453	0,015	2,85
E	356.462	1.470.300	370.424	8.133	462.429	0,006	2,28	22.096	1.007.871	0,015	6,2
F	290.737	583.695	293.913	6.137	233.289	0,011	2,11	9.313	350.406	0,016	3,2
A1a	41.332	64.989	45.947	2.180	22.095	0,034	5,27	6.795	42.894	0,105	16,44
Totaal	6.164.932	8.572.242	6.224.945	104.731	3.524.275	0,012	1,7	164.745	5.047.968	0,019	2,67
in %	100	100	100,97	1,7	41,11			2,67	58,89		
laagdikte in meters		0,719	0,726	gemiddeld	0,03			gemiddeld	0,033		

Tabel 3.1 geeft de resultaten weer op het niveau van de deelgebieden. Deze tabel is gemaakt door Willie Daane (RWS NZ), die tijdens de uitvoering was gedetacheerd bij RWS IJG en in die hoedanigheid directievoerder was namens de opdrachtgever. Door de gehanteerde controlemethode en acceptatiewijze is een vak van 5x5 meter het meest gedetailleerde niveau. Binnen zo'n vak worden delen die te diep zijn ontgraven gecompenseerd door delen die te ondiep zijn ontgraven, uiteraard binnen de tolerantie van 0,10 meter. Op basis van de tabel wordt geconcludeerd dat van de totaal te baggeren 6,16 miljoen m³ slechts 1,7 % (105 duizend m³) is achtergebleven.

3.9.3 Metingen ter beoordeling van de reductie van risico's

In 3.9.2 zijn de metingen gepresenteerd die het de operationele doelstelling onderbouwen. Ook de meer beleidsmatige doelstellingen (zie hoofdstuk 1) kunnen deels met metingen onderbouwd worden. Dit geldt met name voor de ecologische risico's en de kwaliteit van de toplaag. Met die laatste kan verspreiding naar grond- en oppervlaktewater worden ingeschat. Daarbij wordt opgemerkt dat voor oppervlaktewater geldt dat het verspreiding naar het IJsselmeer sterk bepaald wordt door processen in het Westelijk deel en dat de effecten op de ecologie pas op langere termijn goed kunnen worden ingeschat. Pas aan het einde van de totale sanering (of eigenlijk enige jaren daarna) kunnen definitieve uitspraken worden gedaan. Momenteel is er nog geen gebiedsdekkend beeld van toplaagkwaliteit en ecologie. Wel zijn er twee studies die een goede indicatie geven van het effect in Ketelmeer-Oost. Het gaat om het project 'Innovatieve saneringstechnieken Ketelmeer' en een beperkte monitoring die in 2003 is uitgevoerd.

Monitoring 2003

In 2003 is er in het kader van ESK (Evaluatie sanering ketelmeer) gestart met de monitoring van Ketelmeer-Oost na sanering. In verband met de toenmalige budgetten is er in de monsters het volgende gemeten: Zn, macrofauna, nematoden en bioassays. De bemonsteringen zijn uitgevoerd door de meetdienst van RDII op 15,16 en 17 april 2003.

Voor selectie van geschikte monsters voor bioassays zijn de 30 monsters geanalyseerd op zink. De gehalten variëren van (gestandaardiseerd) 75 mg/kg tot 570 mg/kg met een gemiddelde van 200 mg/kg. Dat ligt beduidend lager dan de gehalten die in het Nader onderzoek zijn gerapporteerd. Die lagen op ca. 1300 mg/kg in de toenmalige toplaag en zelfs op ca. 2000 in de IJm-bruinlaag. In de NW4-klassensystematiek wordt een gehalte van 200 mg/kg ingedeeld in klasse 1. Overige parameters zijn echter niet gemeten in dit onderzoek.

Er zijn bioassays uitgevoerd in 16 enkelvoudige en 7 mengmonsters. In 2 enkelvoudige en 2 mengmonsters werd geen effect in bioassays waargenomen. In alle overige monsters werden in één of meer bioassays matige tot ernstige effecten waargenomen. Dit geeft aan dat de sanering nog niet heeft geleid tot een voor bioassays optimale

situatie. De interpretatie van nematoden en macrofauna is dat de fauna op het moment van bemonstering nog niet hersteld is van de saneringsingreep.

Innovatieve Saneringstechnieken Ketelmeer

Voor de Sanering van Ketelmeer-Oost is gekozen voor verwijdering van 92% (of 96%) van de verontreinigde specie. Tijdens de sanering is echter ook een onderzoek uitgevoerd dat deze variant (standaard) heeft vergeleken met 4 andere varianten, nl: put (dieper baggeren, maar met IJm-bruin aan het oppervlak), overdiepte baggeren (2^e baggerslag 40 cm dieper dan standaard), randgebied (hier wordt vanwege de dunne laag niet gebaggerd) en mengen (in het lab is schoon en vies sediment in bepaalde verhoudingen onderzocht).

Tabel 3.2: Samenvatting van de waargenomen resultaten tijdens de twee bemonsteringcampagnes.

	Randgebied	Standaard gesaneerd		Put	overdiepte
Campagne 1					
aantal boringen	4	8		4	4
gestandaardiseerde zinkgehalte (mg/kg ds)	397-440	44-330		1597-3339	55-90
Homogeniteit bodem op basis van zinkanalyses (geen mors)	Homogeen	Heterogeen		Homogeen	Homogeen
geschatte morslaag (cm)	nvt	2		1-2	2
NW4 Klasse morslaag	-	2		4	2
Campagne 2					
Gem aanwas loding (cm)	nvt	0.3		4	3.2
Gem aanwas sedimentval (cm)	nvt	11		8	9
Gem aanwas visueel (boxcorer) (cm)	nvt	1-2		3-4	4-5
NW4 Klasse sedimentval	nvt	2		2	2
Ecotoxicologie					
		Schoon monster	Vuil monster		
kwaliteitsbeoordeling o.b.v. bioassays	matig	matig	matig	slecht	matig
ranking (binnen categorie matig)	(4)*	(1)*	(3)*	-	(2)*
NW4-toetsing klasse sediment	2	2	4	4	2
verklaarbaarheid gevonden effecten	-	-	-	ja	-

* 1 betekent de beste kwaliteit, 4 betekent de minste kwaliteit.

Bovenstaande tabel laat zien dat het standaardgesaneerde gebied grote variatie vertoont in verontreinigingsgraad, maar aanzienlijke betere resultaten geeft dan de oorspronkelijke concentraties midden in de IJm-bruinlaag. Sanering met overdiepte kan de concentraties aanzienlijk omlaag brengen, maar geeft geen significant beter resultaat in een bioassay. Een samenvatting van het rapport ISK is opgenomen als bijlage I.

3.10 Evaluatie van de doelstelling op operationeel en beleidsmatig niveau

Operationele saneringsdoelstelling

De operationele saneringsdoelstelling is vertaald in een verwijderingsdoelstelling. Het theoretisch baggerprofiel is zodanig gedefinieerd dat het vereiste rendement (94-96% in erosiegebieden en 90-92% rendement in sedimentatiegebieden) zou worden gehaald.

Daarbij is verondersteld dat:

- de mors 1 cm geconsolideerd materiaal bedraagt;
- de maaknauwkeurigheid 10 cm is (uit de baggerproeven in het Ketelmeer blijkt dat $\sigma=2,5$ cm; $\mu \pm 2\sigma$ omvat een 95%-betrouwbaarheidsinterval);
- de standaardafwijking van het DTM varieert tussen de 8 en 20 cm, afhankelijk van de heterogeniteit van het gebied.

Voor het baggeren zijn de tolerantiegrenzen hierboven beschreven. Uit tabel 3.1 blijkt dat slechts 1,7% van het te baggeren materiaal is blijven liggen. Tegelijkertijd is 2,7% extra gebaggerd. Daarmee kan zo goed als zeker worden vastgesteld dat het verwijderingsrendement is gehaald. Maar bij het verwijderingsrendement moeten ook de niet gebaggerde gebieden worden inbegrepen. Met de gebieden genoemd in paragraaf 3.7 – de lagen minder dan 10 cm (60.000 m³), de randen langs de dijken (35.000 m³) – is in het DTM rekening gehouden, op een uitzondering na: tijdens de uitvoering is besloten om bij de randen niet 12 maar 19 meter vanaf de waterlijn voor het eerst gebaggerd vanwege de stabiliteit van dijken. Daardoor is niet 35.000 maar 61.000 m³ blijven liggen (pers. med. L. Hazelhoff). Dit betekent dat er 0,5% minder is gebaggerd dan vooraf gepland. Het zou kunnen dat dit gecompenseerd is door (2,7-1,7 =) 1% meer te baggeren en de relatief hoge mors van 1 cm, maar dit is op basis van bovenstaande cijfers niet met zekerheid vast te stellen.

De aanpak resulteert in een opgeleverde waterbodem die aan het oppervlak deels verontreinigd en deels schoon is. Deze logica wordt ondersteund door ISK, waar in het standaard gesaneerde vak inderdaad een heterogene bodem wordt aangetoond. Daarbij moet wel aangetekend worden dat het om dunne lagen gaat, waardoor de toplaag sneller gemengd wordt met schoner materiaal dat in de toekomst zal sedimenteren. Tevens is de kans groot dat de sedimentatiesnelheid iets hoger zal liggen, om dat het Ketelmeer dieper is geworden. ISK laat zien dat de sedimentatiesnelheid hoger ligt in de in de dieper gesaneerde delen (zoals de putten). Verder is bekend dat in diepere wateren minder opwerveling van gesedimenteed materiaal plaatsvindt.

Beleidsmatige saneringsdoelstelling

De saneringsdoelstelling kent 4 aspecten: het voorkomen van verspreiding naar grondwater en oppervlaktewater en het herstel van het ecosysteem en (gebruiks)functies. Verspreiding van verontreiniging via het oppervlaktewater vindt vooral plaats via opwervelend sediment uit de toplaag. Ook voor ecologische risico's geldt dat de toplaag van groot belang is. Bij de beoordeling van de alternatieven is geen

rekening gehouden met het feit dat er een restverontreiniging zou achterblijven, dat er dicht bij de dijk niet gebaggerd kon worden en dat ca. 100² ha met een laag < 10 cm niet gebaggerd zou worden. Er is aangenomen dat de toplaag in de verwijderingsvariant een concentratie 0 bevat voor alle verontreinigingen. Bij de afdekkingsvariant wordt een groot deel natuurlijk afgedekt, hetgeen enige tijd vraag, waardoor in het begin hoge concentraties aan het oppervlak blijven liggen.

Omdat in de operationele saneringsdoelstelling niet 100% wordt verwijderd kan met zekerheid gezegd worden dat er een deels verontreinigde toplaag achterblijft. ISK bevestigt dat. Opwervend sediment zal dus deels verontreinigd zijn en deels schoon. Er mag dus een gemiddeld betere kwaliteit van opgewerveld sediment worden verwacht. Sedimentvallen laten zien dat de kwaliteit klasse 2 is (tabel 3.2), maar het zwevend stof bestaat niet alleen uit opgewerveld materiaal, maar ook uit vers aangevoerd materiaal. In ISK en in de monitoring van 2003 zijn ook bioassays uitgevoerd. Slechts een enkel monsters geeft na sanering een goede kwaliteit. Vaak worden matige effecten gevonden. Het is niet eenvoudig te vergelijken, maar er lijkt niet veel verschil te zijn ten opzichte van de situatie voor sanering in 1998 en 1999 (Postma et al., 2000). Dit geldt overigens niet alleen voor het standaard gesaneerde vak, maar ook voor het vak dat met overdiepte gesaneerd is. Ook daar worden nog matige effecten gevonden. Voor ecologische veldwaarnemingen was het in 2003 nog te vroeg.

Voor verspreiding naar het grondwater is niet de toplaag van belang, maar de onderlaag en de dikte van het pakket: de afdekkingsvariant in het saneringsonderzoek voorspelt een groot kwelgebied dat verontreinigd wordt op basis van berekeningen met DCB. Verwijdering exclusief het baggeren van putten scoort aanzienlijk beter. Verwijdering inclusief baggeren van putten geeft een nog positiever effect. Door de sanering is de dikte van het verontreinigde pakket afgenomen, maar de dikte van de weerstandbiedende laag ook. De inschatting is dat de sanering een reductie van grondwaterrisico's heeft opgeleverd, maar er zijn meer metingen en berekeningen nodig om dit goed te onderbouwen.

Tenslotte is er gesaneerd om de gebruiksfuncties van het Ketelmeer veilig te stellen. Het gaat om het gebruik als: natuur, recreatiegebied, visserijgebied, scheepvaartroute en zandwinlocatie. Voor deze functies is onderscheid gemaakt tussen de tijdelijke hinder en de definitieve ontwikkelingsmogelijkheden. Afdekking heeft met name beperkingen in gebieden waar nog graafwerkzaamheden moeten plaatsvinden, bijvoorbeeld voor recreatie (jachthavens, aanlegplaatsen, strandjes) en scheepvaart. De verwijdering van de IJm-bruinlaag heeft voor deze werkzaamheden een gunstig effect. Als er nog verontreinigd materiaal achterblijft gaat het om veel kleinere hoeveelheden.

Achteraf gezien is er een gedegen afweging gemaakt tussen de saneringsvarianten. Alle functies en risico's zijn daarin betrokken. De

² Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde laagdikte van 6 cm.

definitie van de varianten en daarmee de verwachte resultaten van de saneringsmaatregelen, is echter nogal theoretisch geweest, met name met betrekking tot de verwijderingsvariant. Daarnaast zijn alleen varianten meegenomen waarin een enkelvoudige aanpak voor het hele Ketelmeer wordt voorgesteld. Het indelen in meer kleinere delen, die elk hun eigen aanpak kennen, is buiten beschouwing gebleven. Juist deze twee aspecten – de veronderstelling van 100% verwijdering en 1 saneringsmaatregel voor het hele gebied – hebben tot gevolg gehad dat er in de uitvoering geen onderscheid is gemaakt in deelgebieden. Als op de ene plek niet gebaggerd werd kon dat gecompenseerd met extra baggeren op een andere plek; als het percentage aan het eind maar klopte.

3.11 Omgaan met achtergebleven verontreinigingen

In de voorgaande paragrafen is reeds uitgelegd, dat niet alle verontreinigde waterbodems verwijderd. Sommige delen, zoals de voormalige zandwinputten, vielen buiten de saneringsmaatregelen. In andere delen zou het weghalen van 100% tot extreme baggervolumes leiden. Vooral nog is de beheersvisie van de beheerder van het Ketelmeer dat de verontreinigde waterbodem gesaneerd is en dat de ontwikkeling niet meer belemmerd wordt door verontreinigingen. Het creëren van eilanden of andere bouwwerken kan dus zonder problemen plaatsvinden. Indien materiaal wordt ontgraven en afgevoerd, moet echter wel een partijkeuring plaatsvinden om de kwaliteit te toetsen. In die gevallen zou het kunnen dat er nog wat verontreinigd materiaal vrijkomt.

4 Conclusies

De sanering van het Ketelmeer heeft tot doel de waterbodem van het Ketelmeer in een zodanige toestand te brengen, dat verdere verspreiding van de verontreiniging via oppervlaktewater en grondwater wordt voorkomen, herstel van de (gebruiks)functies en het ecosysteem mogelijk is en randvoorwaarden voor verdere ontwikkeling van het Ketelmeer gecreëerd worden. Om deze doelstelling te behalen is gekozen voor één saneringsmaatregel voor het hele Ketelmeer: het wegbaggeren van de verontreinigde waterbodem, uitgezonderd de voormalige zandwinputten en het oostelijk deel. Dit werd vertaald naar een verwijderingsdoelstelling van 95% in erosiegebieden en van 91% in sedimentatiegebieden. De verwijderingsdoelstelling zou worden gehaald, als werd voldaan aan het DTM.

Over de uitvoering van de op deze wijze opgezette sanering van Ketelmeer-Oost kan nu het volgende worden gezegd:

- Bij de verwijderingsdoelstelling is geen ruimtelijk onderscheid gemaakt. Dit maakte het mogelijk om relatief kleine volumes, maar grote oppervlakken, te laten liggen als ergens anders op een eenvoudige manier meer gebaggerd kon worden.
- Er is 1,7% (105 duizend m³) achtergebleven boven het theoretisch DTM, maar er is ook 2,7% extra gebaggerd onder het theoretisch DTM. Er is 0,5% minder gebaggerd, omdat tijdens de uitvoering is besloten niet 12 maar 19 meter uit de kant te blijven in verband met de stabiliteit van dijken. Dit leidt tot de conclusie de verwijderingsdoelstelling zo goed als zeker is gehaald.
- De opgeleverde waterbodem bevat aan het oppervlak een dunne, vlekkerige toplaag die nog verontreinigd materiaal bevat.
- Het volume van de niet-gebaggerde dunne lagen is gering (ca. 1%), maar het oppervlak bedraagt ongeveer 10% van het gebied.
- Een beperkte monitoring in 2003 en het project ISK geven een beeld dat er een vlekkerige laag is achtergebleven, deels schoon, deels vuil, maar dat de zinkconcentraties aanzienlijk lager zijn dan voor sanering.
- De bioassays na sanering nog steeds effecten en laten in het project ISK geen duidelijke kwaliteitsverbetering zien ten opzichte van het niet gesaneerde randgebied.
- Bij de beoordeling van de alternatieven in het saneringsonderzoek is geen rekening gehouden met het feit dat er een restverontreiniging zou achterblijven, dat er dicht bij de dijk niet gebaggerd kon worden en dat ca. 100 ha met een verontreinigde laag < 10 cm niet gebaggerd zou worden. Een 100% sanering blijkt in de praktijk niet haalbaar, noch voor baggeren als saneringsmaatregel, noch voor afdekking mag worden verondersteld dat de risico's voorgoed tot nul gereduceerd zullen zijn.

5 Aanbevelingen voor de sanering Ketelmeer fase 2

De leerpunten van de sanering van Ketelmeer-Oost kunnen worden gebruikt bij de sanering van Ketelmeer-West. Hieronder wordt aangegeven op welke punten actualisatie wel of niet zinvol zou zijn.

1. De indeling van het gebied.

Hoe nauwkeuriger de gebiedsindeling hoe specifiek de saneringsmaatregelen gekozen kunnen worden. De eigenschappen van het gebied, bijvoorbeeld ten aanzien van de aanwasselheid van het sediment, kunnen in hoge mate invloed hebben op deze maatregelen. Dit kan bijvoorbeeld bepalen of natuurlijke afdekking een mogelijke keuze is. Ook de lokale deelfunctie (bijv. foerageergebied) kan reden zijn om de saneringsmaatregelen lokaal anders te kiezen.

Tevens kan een nauwkeurige gebiedsindeling het onderzoek goedkoper maken. In grote delen van het Ketelmeer zal een uitgebreide beoordeling van risico's noodzakelijk zijn, maar dat hoeft niet voor elke deellocatie het geval te zijn. Door zorgvuldig deellocaties te benoemen kan dus bespaard worden.

Tenslotte kan een nauwkeurige gebiedsindeling voorkomen dat sediment met verschillende eigenschappen in het Ketelmeer uitwisselbaar is.

2. Chemische kwaliteit

In het project LSK is voorafgaand aan de sanering zowel in het oostelijk als in het westelijk deel gemeten. In bijlage III is al geconstateerd dat de metingen in het oostelijk deel nog voornamelijk klasse 4 aangeven.

Voor het westelijk deel geldt dat 5 van de 6 toplaagmonsters nu klasse 2 of lager zijn. Door de sedimentatie van minder verontreinigd zwevend stof in de jaren na 1992 is een afdeklaag ontstaan die een positief effect zou kunnen hebben op de uitkomst van de risicobeoordeling. Overigens zal de sedimentatiesnelheid in Ketelmeer-West tijdelijk beïnvloed zijn door aanpassingen aan de aanleg van IJsseloo en door de sanering, c.q. verdieping, van Ketelmeer-Oost. Voor de toplaag mag gelden dat het chemisch geen saneringsspecie betreft, de diepere lagen zijn waarschijnlijk onveranderd ernstig verontreinigd. Deze zijn in het kader van LSK in Ketelmeer-West niet bemonsterd.

3. Metingen

Afhankelijk van de indeling van de gebieden, zoals besproken in aanbeveling 1, is het zinvol om voor Ketelmeer-West aanvullende metingen te verrichten om tot een definitieve aanpak te komen. In ieder geval met betrekking tot de hydrologie en het afdekproces (zowel kwaliteit als kwantiteit). Gezien de verminderde verontreiniging in de toplaag zijn ook aanvullende ecologische metingen zinvol, maar die moeten selectief worden ingezet. Met betrekking tot humane risico's zijn aanvullende metingen niet nodig.

4. Risicobeoordeling

Voor de beoordeling van verspreiding via het grondwater vraagt aandacht. De methodiek is zeer sterk veranderd ten opzichte van het

uitgevoerde onderzoek uit 1992. Voor verspreiding via oppervlaktewater geldt dit in mindere mate. Met name de effecten van de aanleg van depot IJsseloog en de sanering van Ketelmeer-Oost zullen invloed hebben op het erosie- en sedimentatiegedrag in het Ketelmeer. Het kan zijn dat daardoor het verspreidingspatroon naar het IJsselmeer is veranderd. Voor humane en ecotoxicologische risico's geven de deskundigen aan dat met de nu mogelijke beoordelingsmethoden niet echt wezenlijke verschillen zijn te verwachten in vergelijking met de beoordeling in 1994. Wel zorgt de daarna opgetreden en nog doorgaande sedimentatie voor een verlaging van de risico's.

5. Beoordeling van saneringsmaatregelen

Houd bij de beoordeling van saneringsmaatregelen rekening met wat in de praktijk mogelijk is. Tevens moet voor een goede rendementsbeoordeling van de sanering het resultaat van de ingreep in de tijd worden bepaald: 5 jaar na de ingreep kan een heel ander resultaat laten zien dan 25 jaar.

6. Beleidsontwikkelingen

Houd voor zover mogelijk rekening met beleidsveranderingen zonder de uitvoering te laten belemmeren. Belangrijke projecten om rekening met te houden zijn Beleidskader bodem, Athene (functiegerichte sanering) en de EU-kaderrichtlijn water (KRW).

6 Referenties

Elswijk, M. Van e.a. (2001). Richtlijn Nader Onderzoek voor Waterbodems. AKWA-rapport 01.005. AKWA/RIZA. Lelystad.

Noort, P. van en M. Wilkens, 2002. Leereffecten Sanering Ketelmeer (LSK), Deelrapport: Zware metalen in sediment en poriewater. RIZA-werkdocument 2000.143X, AKWA/RIZA, Lelystad.

Postma, J.F., C.M. Keijzers en C. van de Guchte, 2000. Leereffecten Sanering Ketelmeer (LSK), Deelrapport: Ecotoxicologie. RIZA-werkdocument 2000.144X, AKWA/RIZA, Lelystad

Postma, J.F., J.M. Lourens, C. van de Guchte en C.J. Otten, 2004. Leereffecten Sanering Ketelmeer (LSK), Het beoordelen van ecologische risico's in verontreinigde sedimenten. AKWA-rapport 04.007, AKWA, Utrecht

Rijkswaterstaat, AKWA/RIZA,(2004), Evaluatierapport sanering Schokkerhaven. Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1992a). Integraal waterbeheer Ketelmeer: Nader onderzoek waterbodem Ketelmeer. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1992b). Integraal waterbeheer Ketelmeer: Saneringsonderzoek waterbodem Ketelmeer. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1998). Integraal waterbeheer Ketelmeer: Saneringsplan waterbodem Ketelmeer. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Schmidt, C.A. e.a. (2003). Bepaling actueel risico van verspreiding via grondwater. AKWA-rapport 02.005, RIZA-rapport 2002.025. AKWA/RIZA, Lelystad.

Winkels, H. en A. van Diem, (1991). Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat Directie Flevoland (RWS, FL), Lelystad.

Tweede Kamer der Staten-Generaal (1994). Saneringsprogramma waterbodem Rijkswateren 1993-2010. Brief van de Minister van Verkeer en Waterstaat van 11 januari 1994.

Bijlage I: samenvatting ISK

Aanleiding en doelstellingen

De eerste grootschalige waterbodemsanering in Nederland, Ketelmeer-Oost, heeft van 1999 tot en met 2002 plaats gevonden. De sanering van het Ketelmeer beoogt de volgende effecten [1]:

- Terugdringen van de verspreiding van de verontreinigingen naar het IJsselmeer
- Voorkomen van verontreiniging van de ondergrond en de omliggende polders
- Herstel van (gebruik)functies en het ecosysteem

Om deze effecten te bereiken is de bron van de verspreiding, de verontreinigde sliblaag, zo goed mogelijk verwijderd, volgens het saneringsprincipe van vrachtverwijdering. De verontreinigde laag is in kaart gebracht door boringen waarna m.b.v. geostatistiek een Digitaal Terrein Model (DTM) is gemaakt. Intussen is aangetoond dat het mogelijk is om met grote nauwkeurigheid een DTM te baggeren. Vanuit dat oogpunt is de sanering geslaagd. Onduidelijk is het nog wat nu de winst voor het milieu is.

In het najaar van 2001 is een apart project opgestart onder de naam Innovatieve Saneringstechnieken Ketelmeer (ISK). In overleg met de waterbeheerder en opdrachtgever (RDIJ) van de sanering in het Ketelmeer, is begonnen met een inventarisatie om voor de afronding van de sanering van Ketelmeer-Oost nog tot het uitvoeren en onderzoeken van een aantal aanvullende maatregelen te komen. Centraal in dit onderzoek staat het aantonen van verschillen in kwaliteit tussen vier verschillende opgeleverde bodems.

De saneringsvarianten zijn:

- Standaard: De huidige wijze van saneren in Ketelmeer-Oost waarbij gestuurd wordt op verwijderingspercentage van minimaal 90%.
- Put: Zandwinputten die in de jaren 70-tig en 80-tig zijn volgelopen met sterk verontreinigd sediment, zogeheten IJm-bruin. Deze putten worden dieper uit gebaggerd dan de omgeving, waarna het resterende IJm-bruin aan de oppervlakte komt te liggen.
- Overdiepte: Na een standaard sanering wordt er nog eens 40 cm. extra weggehaald voor een theoretisch volledig opgeschoonde bodem zonder restanten IJm-bruin en met een schonere morslaag.
- Randgebied: Verontreinigde lagen < 10 cm. dik. Deze worden niet gesaneerd omdat dit niet kosteneffectief geacht wordt.

In plaats van het opschonen van de bodem is een andere, mogelijk kansrijke, aanvullende maatregel de bovenste 10 cm te ploegen om daarmee de invloed van de verontreinigde morslaag weg te nemen. Vanwege eventuele milieubelastende factoren, zoals vertroebeling en verspreiding, is besloten om deze maatregel voorsnog als proef na te bootsen in een laboratorium, in deze rapportage verder benoemd als mengproef.

De onderzoeken richten zich op de invloed van eventuele restverontreiniging inclusief de morslaag in het gesaneerde gebied en het aantonen van verschil in beschikbaarheid en effecten van verontreinigingen in vier saneringsvarianten. Naast chemische analyses worden ook bioassays ingezet, om daarmee de vraag te beantwoorden of verschillen in verontreinigingsgraad ook relevant zijn voor het bodemecosysteem.

In dit onderzoek is er voor gekozen om te beoordelen met een zo groot mogelijk aantal verschillende bioassays, en de kwaliteit van het sediment uit te drukken op basis van het percentage bioassays dat significant effect geeft ten opzichte van de referentie. Voor prioritering binnen de kwaliteitsklasse is gebruik gemaakt van het aantal bioassays met een significant effect en de mate van de overige gevonden effecten. Aanvullend heeft een laboratoriumproef plaatsgevonden waar de ecotoxicologische effecten van het kunstmatig opmengen van de toplaag zijn onderzocht. Het onderzoek kan een bijdrage leveren aan de milieutechnische beoordeling van de huidige saneringsmethode. Tevens kan Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied (RDIJ) de resultaten mee laten wegen in de beoordeling of de huidige aanpak wenselijk is voor de sanering van Ketelmeer-West of dat een andere aanpak of

aanvullende maatregelen tot een beter resultaat leidt in termen van effecten en biologische beschikbaarheid van verontreinigingen.



Figuur I.1: Overzicht van de baggervakken in Ketelmeer-Oost met proefvakken rood gekleurd.

Onderzoekopzet en monsternamen

De keuze van de proefvakken (zie figuur I.1) is in hoge mate bepaald door uitvoeringsaspecten. Een aantal randvoorwaarden waaraan de proefvakken bij voorkeur moeten voldoen zijn:

- Beschut tegen resuspensie door westelijke winden
- Gelegen buiten scheepvaartroutes
- In elkaars nabijheid gelegen
- Grote betrouwbaarheid DTM, zodat bij overdiepte een verwijderingspercentage van nagenoeg 100% wordt gehaald.

Monstercampagne 1

In de eerste monstercampagne in het voorjaar 2002 is door middel van boringen de homogeniteit van de vakken onderzocht. Dit is vastgesteld door visuele waarnemingen en zink analyses. Tijdens het boren met een de vrijwitboor is de morslaag geschat. Tevens zijn in het putgebied en het overdiepte gebied monsters genomen voor de uitvoering van de mengproef. In de proefvakken put, overdiepte en standaard gesaneerd zijn in het midden van de vakken sedimentvallen geplaatst. Direct na het baggeren van de vakken zijn deze uitgepeild met een multibeam echolood.

Monstercampagne 2

De tweede monstercampagne heeft plaats gevonden in het najaar van 2002 zodat de bodem een rustperiode van enige maanden heeft gehad. Tijdens deze monstercampagne zijn ook de sedimentvallen opgehaald en beoordeeld. Voor het vaststellen van de netto aanwas van het sediment worden de

proefvakken gepeild en vergeleken met de uitpeiling direct na de sanering. Tevens worden er visuele waarnemingen verricht. Uit elk proefvak wordt sediment verzameld voor het uitvoeren van de bioassays.

Waarnemingen en resultaten

Op basis van de gevonden heterogeniteit in de eerste monstercampagne is besloten om in de tweede campagne de monsters wederom op zink te analyseren. De sedimentmonsters met de laagste zinkgehalten en de sedimenten met de hoogste zinkgehalten worden apart getest. Deze gegevens worden als verschillende saneringsresultaten (standaard gesaneerd "schoon" en "vuil") van dezelfde variant meegenomen.

Tabel I.1: Samenvatting van de resultaten tijdens de twee bemonsteringcampagnes.

	Randgebied	Standaard gesaneerd	Put	overdiepte
Campagne 1				
aantal boringen	4	8	4	4
gestandaardiseerde zinkgehalte (mg/kg ds)	397-440	44-330	1597-3339	55-90
Homogeniteit bodem op basis van zinkanalyses (geen mors)	Homogeen	Heterogeen	Homogeen	Homogeen
geschatte morslaag (cm)	nvt	2	1-2	2
NW4 Klasse morslaag	-	2	4	2
Campagne 2				
Gem aanwas loding (cm)	nvt	0.3	4	3.2
Gem aanwas sedimentval (cm)	nvt	11	8	9
Gem. aanwas visueel (boxcorer) (cm)	nvt	1-2	3-4	4-5
NW4 Klasse sedimentval	nvt	2	2	2

Ecotoxicologisch onderzoek

Het ecotoxicologisch onderzoek bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel richt zich op de restverontreiniging van het standaard gesaneerd gebied inclusief mors. Om de invloed van de verontreinigde morslaag weg te nemen is als aanvullende maatregel voorgesteld de bovenste 10 cm. van de waterbodem om te ploegen. Vanwege vertroebeling en verspreidingsrisico's is besloten om de proef op laboratoriumschaal uit te voeren. Als schoon sediment is gebruik gemaakt van sediment afkomstig uit de Zuiderzeelaag, voor sterk verontreinigd sediment is het zogeheten IJm-bruin sediment uit de putten gebruikt. Deze sedimenten zijn in verschillende verhoudingen gemengd aan de hand van voorspelde en waargenomen dikte van de morslaag. Op de nieuw ontstane sedimenten zijn verschillende bioassays en chemische analyses uitgevoerd.

Het tweede onderdeel richt zich op het aantonen van verschil in toxiciteit en biologische beschikbaarheid van de aanwezige verontreinigingen voor de verschillende saneringsvarianten. Voor het aantonen van de toxiciteit zijn zoveel mogelijk bioassays ingezet om een zo goed mogelijk onderscheidend vermogen te krijgen. Het bepalen van de biologische beschikbaarheid van de aanwezige verontreinigingen gebeurt door middel van een 1 punts TENAX-extractie voor de organisch verontreinigingen en een CaCl₂-extractie voor de zware metalen.

Tabel I.2: Overzicht van de uitgevoerde bioassays in dit onderzoek.

<i>Chironomus riparius</i> (muggenlarf)
<i>Hyalella azteca</i> (amphipode)
<i>Ephoron virgo</i> (haft)
<i>Plectus acuminatus</i> / <i>Caenorhabditis elegans</i> (nematode)
<i>Chydorus sphaericus</i> (watervlo)
<i>Vibrio fisheri</i> (bacterië)
<i>Daphnia magna</i> (watervlo)

De beoordeling van de kwaliteit van de sedimenten bestaat uit twee onderdelen. De eerste beoordeling deelt de sedimenten in kwaliteitsklassen (goed, matig en slecht), op basis van het percentage bioassays die een significant afwijkend effect geven ten opzichte van het referentie (Drontermeer) sediment.

Het tweede onderdeel maakt een prioritering binnen de gevonden kwaliteitsklasse uit de eerste beoordeling (5.1.4). De prioritering gebeurt door eerst te kijken naar het aantal bioassays met een significant effect en dan naar de ranking-score van de gevonden effecten per parameter (o.a. sterfte, groei). Een voorwaarde hierbij is wel dat de gevonden effecten hoger zijn dan de gestelde grenswaarden voor de geldigheid van de bioassays. Een hoge waarde (ranking-score) geeft aan dat er een verhoging van gevonden effecten op de organismen is. Zowel de significante als de niet-significante effecten worden in de ranking meegenomen. De ranking-score binnen een sedimentkwaliteitsklasse wordt aangegeven door een nummering vermeld tussen haakjes. Een hoger getal staat voor een slechtere sedimentkwaliteit.

1) Voor het eerste onderdeel in de beoordeling zijn de volgende criteria grenzen door ons vastgesteld:

- Criterium 1: > 25% van de geteste bioassays geeft significant effect
- Criterium 2: > 50% van de geteste bioassays geeft significant effect

1^{ste} beoordeling klassen

 goede kwaliteit
criterium 1-----
 matige kwaliteit
criterium 2-----
 slechte kwaliteit

2) Rangschikken binnen kwaliteitsklasse naar aantal bioassays met significant effect.

3) Rangschikken aan de hand van de gevonden ranking-score.

Na toepassing van deze beoordelingsmethode worden de sedimenten uit de mengproef als volgt in gedeeld. ZY 1-0 (0% vuil) is van een goede sedimentkwaliteit; ZY 9-1 (10% vuil) is van een matige sedimentkwaliteit; ZY 3-1 (25% vuil) en ZY 0-1 (100% vuil) zijn van een slechte sedimentkwaliteit, waarbij ZY 0-1 slechter scoort in de ranking-score van de gevonden effecten.

Na de beoordeling van de sedimenten van de verschillende saneringsvarianten worden zowel overdiepte gesaneerd, standaard gesaneerd schoon, standaard gesaneerd "vuil" en het randgebied ingedeeld in een matige sedimentkwaliteit. Zowel standaard gesaneerd "schoon" als het overdiepte gesaneerde sediment geven in even veel bioassays een significant effect en ook de ranking-score was gelijk. Uiteindelijk is het onderscheidt gemaakt op het aantal parameters waarbij significante effecten zijn gevonden. Standaard gesaneerd "vuil" en het randgebied geven ook in even veel bioassays een significant effect, maar één als in de bovenstaande saneringsvarianten. Hierbij is het onderscheidt gebaseerd op de ranking-score. De saneringsvariant put wordt in gedeeld in een slechte sedimentkwaliteit vanwege het hoge percentage bioassays met een significant effect.

Alle sedimenten zijn getoetst aan de normen volgens de 4^{de} Nota Waterhuishouding. Het minste verontreinigde sediment, op basis van totaal gehalten is afkomstig uit het overdiepte gesaneerde vak (monsters ZY 1-0 en overdiepte) wordt ingedeeld in klasse 2. Ook de sedimenten ZY 9-1 , randgebied en standaard gesaneerd schoon worden ingedeeld in klasse 2. Opvallend is dat sediment uit het standaard gesaneerde vak vuil klasse 4 scoort. Voor deze plekken levert de standaard sanering geen verbetering op.

Voor de verklaarbaarheid van de gevonden effecten zijn Toxic Unit analyses uitgevoerd. In de mengproef wordt een goede verklaarbaarheid voor de gevonden effecten in de bioassays aangetoond. Voor de

verschillende saneringsvarianten is alleen een verklaarbaarheid van de gevonden effecten in bioassays voor de put aangetoond.

Tabel I.3: Samenvatting van de resultaten van het ecotoxicologisch onderzoek

sedimenten	mengproef				saneringsvarianten				
	ZY 1-0	ZY 9-1	ZY 3-1	ZY 0-1	randgebied	put	overdiepte	standaard gesaneerd	
								schoon	vuil
kwaliteitsbeoordeling o.b.v. bioassays	goede	matige	slechte (1)	slechte (2)	matige (4)	slechte	matige (2)	matige (1)	matige (3)
NW4-toetsing klasse sediment	2	2	3	4	2	4	2	2	4
verklaarbaarheid gevonden effecten	-	ja	ja	ja	-	ja	-	-	-

(x) betekent de ranking binnen de categorie, waarbij 1 relatief de beste kwaliteit weergeeft.

Aan de sedimenten van de saneringsvarianten is de biologische beschikbare fractie bepaald. Voor de organisch microverontreinigingen is dit gebeurt met een 1 punts Tenax-extractie en voor de zware metalen met een calciumchloride-extractie. Beide methoden gaan er vanuit dat de verontreinigingen die door bodembewonende organismen opgenomen kunnen worden op deze manier chemisch beschikbaar worden gemaakt.

De totaal gehalten en de beschikbare gehalten aan verontreinigingen van saneringsvarianten overdiepte en standaard gesaneerd schoon zijn sterk afgenomen ten opzichte van het randgebied. De totaal gehalten en de beschikbare gehalten aan verontreinigingen in het standaard gesaneerde vak vuil geven een verhoging te zien ten opzichte van het randgebied. Door de ingreep is de vuilere afgedekte laag weer aan de oppervlakte gekomen. Voor alle saneringsvakken waar een ingreep is gepleegd is een verhoging van de beschikbare fractie van de verontreinigingen waar te nemen ten opzichte van het ongestoorde randgebied. Voor het overdiepte gebied zijn de stoffen arseen en zink verhoogd biologisch beschikbaar geworden. Indien er vanuit gegaan wordt dat de biologische beschikbare fractie voor de stoffen arseen en zink volledig in het bovenstaande water wordt opgelost dan wordt de MTR oppervlaktewater opgelost overschreden. Voor het randgebied en de put treedt er dan een overschrijding van de MTR voor de stof HCB op.

Conclusies en Aanbevelingen

- In dit project is aangetoond dat ecotoxicologische verschillen tussen de saneringsvarianten en in de mengproef, door het inzetten van een breed pakket bioassays kan worden gemeten. Hiermee zijn de ecotoxicologische doelstellingen in dit project gehaald.
- Uit dit onderzoek is gebleken dat in het proefvak "randgebied" de IJm-bruin laag ca. 25 cm. dik was in tegenstelling tot de verwachte laagdikte van maximaal 10 cm.
- In de mengproef is met de uitgevoerde bioassays een goed onderscheid in verontreinigingsgraad aan te tonen. Het mengen van een schone bodem met 10% verontreinigde bodem (IJm-bruin) geeft al een lichte toename van significante respons in effecten ten opzichte van het schone Zuiderzee sediment. Het mengen (ploegen) van een schone bodem met een verontreinigde bovenlaag heeft een afname in ecotoxicologische kwaliteit van de bodem tot gevolg. Het mengen van een schone bodem met 25% verontreinigde bodem (IJm-bruin) geeft een drastische afname in de ecotoxicologische kwaliteit van de bodem en komt nagenoeg overeen met het ernstig vervuilde IJm-bruin (100% vuil).
- Indien voor de toekomst zou worden overwogen om na saneren de morslaag weg te ploegen, moet rekening worden gehouden met (onbedoelde) negatieve bijeffecten. Door het ploegen zal de bodem

aerob gemaakt worden, wat tot gevolg kan hebben dat de biologische beschikbaarheid voor een aantal stoffen verhoogd wordt en er een verspreidingsrisico optreedt.

- Naar verwachting is de kwaliteit in de putten verslechterd ten opzichte van de situatie voor de sanering. Bioassays uitgevoerd op het sediment afkomstig uit de putten laten de hoogste significante respons in effecten zien en wordt in gedeeld in sedimentklasse slecht. Deze resultaten komen na verwachting overeen met de resultaten van het sediment IJm-bruin uit de mengproef.
- Ongeveer 6 maanden na de sanering wordt in het standaard gesaneerde gebied met een heterogene bodem nog steeds ecotoxicologische verschillen gemeten tussen standaard gesaneerd "schoon" (klasse 2) en standaard gesaneerd "vuil" (klasse 4). Beide worden beoordeeld als een matige sedimentkwaliteit, maar hierbij scoort standaard gesaneerd "schoon" laag in de ranking, terwijl standaard gesaneerd "vuil" hoog in de ranking scoort.
- Uit de analyses van de sedimentenvallen blijkt dat in de waterkolom afgevangen sediment kwalitatief overeen komt met de mors zoals aangetroffen in het standaard gesaneerde gebied en het nieuw aangevoerde zwevend stof door de IJssel.
- Het extra verdiepen van gesaneerde vakken, putten en overdiepte, levert een snellere afdekking van de bovenlaag dan in het standaard gesaneerde vak. Door de aangetoonde snelle sedimentatie zal er nauwelijks vermenging met de onderlaag optreden. Hierdoor zal de nieuwe leeflaag van dezelfde kwaliteit zijn als de mors en het recent aangevoerde zwevend stof.
- Bij de interpretatie van de waarnemingen in het overdiepte gesaneerde vak moet rekening gehouden worden met het feit dat de metingen hoogstwaarschijnlijk beïnvloed zijn door ca. 50% recent gesedimenteerd materiaal.
- De fracties beschikbare organische microverontreinigingen en zware metalen zijn in de gesaneerde gebieden sterk verhoogd ten opzichte van het randgebied, waar geen ingreep heeft plaatsgevonden.
- Het beschikbare gehalte van Hexachloorbenzeen in het randgebied en de put overschrijdt de gestelde MTR voor oppervlaktewater opgelost. In het overdiepte gesaneerde vak overschrijden de biologische beschikbare gehalten van arseen en zink de gestelde MTR oppervlaktewater opgelost voor deze stoffen.
- Het onderzoek geeft gemeten verschillen binnen een aantal saneringsvarianten. Het betreft echter een momentopname. Aanbevolen wordt om de resultaten en bevindingen uit dit onderzoek zoveel mogelijk te gebruiken in de lange termijn monitoring (Evaluatie Sanering Ketelmeer) die opgezet wordt door het RIZA. Afhankelijk van de tijdsduur dat er verschil is waar te nemen in bodemkwaliteit tussen de variant "overdiepte" en "standaard gesaneerd", zou besloten kunnen worden om de wijze van saneren in de toekomst aan te passen.

Bijlage II: Evaluatie op basis van oorspronkelijke meetgegevens en huidige beoordelingsmethoden

In dit hoofdstuk wordt gebruik gemaakt van de meetwaarden zoals die tijdens het Nader onderzoek waterbodem Ketelmeer uit 1992 zijn verzameld. In tegenstelling tot hoofdstuk 3 zijn de meetwaarden beoordeeld met de huidige kennis van zaken. Dit laatste is gebeurd op basis van expert judgement tijdens een workshop met AKWA-deskundigen.

Metingen

In deze invalshoek wordt gebruik gemaakt van de oorspronkelijke metingen. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.1

Berekenings- en beoordelingsmethoden

De huidige berekenings- en beoordelingsmethoden zijn voornamelijk beschreven in de richtlijn nader onderzoek waterbodems (rinowa) (Van Elswijk e.a., 2001). De rinowa gaat uit van 4 risicosporen: humane en ecotoxicologische risico's en verspreidingsrisico's naar grond- en oppervlaktewater. Er is voor elk risico een eenvoudige en een uitgebreide beoordeling. In de eenvoudige beoordeling kan volstaan worden met minder meetwerk. De uitgebreide beoordeling is nodig bij twijfel. Als er zeker wel of zeker geen risico wordt verwacht, kan volstaan worden met een eenvoudige toetsing. In dit stuk zullen, na een algemene paragraaf, de voorgestelde methoden per risicospoor steeds in 3 groepen worden verdeeld: eenvoudige beoordeling volgens de richtlijn nader onderzoek, uitgebreide beoordeling volgens de richtlijn nader onderzoek en aanvullende beoordelingsmethoden die (nog) niet in de richtlijn Nader onderzoek zijn opgenomen, maar wellicht in een groot geval van ernstige verontreiniging als het Ketelmeer tot een betere afweging kunnen leiden.

Methodieken voor bepaling van de ernst

Voor bepaling van de ernst van de verontreiniging worden de gehalten getoetst met Towabo, gebaseerd op NW4. Dit levert wel de nodige verschillen op ten opzichte van NW3. De normen voor organische contaminanten (PAK en PCB) waren strenger in NW3. De veranderingen voor metalen wisselen per metaal. Met name voor Cd en Zn is NW4 strenger.

Methodieken voor het bepalen de urgentie

Humane risico's

Eenvoudig: De totaalgehalten in het sediment dienen als invoergegevens in SEDISOIL, een computermodel waarmee de humane blootstelling berekend kan worden. Humane blootstelling door een verontreinigde waterbodem kan plaatsvinden via ingestie van de waterbodem of water met zwevend stof, dermale opname of consumptie van vis (evt. uit eigen vangst).

Uitgebreid: Ook in de uitgebreide beoordeling wordt gebruik gemaakt van SEDISOIL, maar de invoer is gedetailleerder doordat resultaten van extra metingen worden ingevoerd.

Extra: Er zijn andere beoordelingskaders die een indicatie kunnen geven van humane risico's zijn drinkwater- en (vis)consumptienormen (warenwet). Sedisoil berekent concentraties in water en vis, maar toetst niet expliciet aan deze normen.

Ecologische risico's

Eenvoudig: Voor de beoordeling van bioassays zijn standaarden ontwikkeld, die leiden tot een uitspraak over de ernst van de effecten. Daarnaast wordt beoordeeld of de ernst van de effecten verklaard kan worden door de chemische analyses, die daarvoor vertaald worden in Toxic Units (TU). Om het risico van doorvergiftiging uit te sluiten mogen accumulerende stoffen niet in verhoogde gehalten voorkomen. Als dat wel het geval is dient de uitgebreide toetsing te worden uitgevoerd.

Uitgebreid: De uitgebreide beoordeling van ecologische risico's is gebaseerd op de TRIADE-aanpak. Doorvergiftiging wordt op basis van accumulatiemetingen met wormen getoetst aan het $MTR_{\text{aquatische worm}}$.

Extra: Voor de bepaling van doorvergiftiging zou ook nog gebruik gemaakt kunnen worden van accumulatiemodellen.

Verspreiding via het grondwater stelling:

Eenvoudig: Indien er sprake is van continue kwel of indien er een weerstandbiedende laag van meer dan 3 meter dik aanwezig is zijn er geen grondwater risico's. Als dat niet het geval is wordt er beoordeeld of er verontreinigingen zijn die het $MTR_{\text{grondwater}}$ overschrijden (voor organische contaminanten MTR_{sediment}). Alleen de stoffen die het MTR overschrijden worden meegenomen in de verspreidingsberekeningen, behalve als ze extreem sterk binden aan de waterbodem (dit geldt m.n. voor PCB's en de hogere PAK's).

De verspreidingsberekeningen worden meestal uitgevoerd met een grondwatermodel. In het verleden is dit gedaan met MODFLOW. Dit is nog steeds een model waar veel mee gerekend wordt. Voor het berekenen van stroombanen en snelheden heeft het model beperkingen. In het recent verschenen rapport van Schmidt e.a.(2003) wordt geadviseerd een analytische oplossing te gebruiken. Met name het chemisch gedrag van stoffen en de dispersie kan hiermee beter worden beschreven.

Uitgebreid: De verspreidingsnelheid van stoffen wordt opnieuw berekend, maar nu met geavanceerdere methoden en extra gegevens verzameld in een tweede veldonderzoek. Zo wordt er aandacht besteed aan het vóórkomen van een hydrologische scheiding, waardoor het eerste watervoerende pakket bijna geheel wordt gevoed door de zone vlak bij de dijk. Dit kan voor het Ketelmeer relevant zijn.

Extra: Het weghalen van een sliblaag kan gevolgen hebben voor de doorlatendheid. Het is belangrijk dat ook het grondwater na baggeren

wordt gemodelleerd, maar dit aspect komt feitelijk pas aan de orde in het saneringsonderzoek, dus na vaststelling van de urgentie.

Verspreiding via het oppervlaktewater

Eenvoudig: Eerst worden de concentraties verontreinigingen in de toplaag getoetst aan het MTR_{sediment} . Alleen voor de stoffen die een overschrijding geven, wordt geschat of ze door erosie of diffusie van opgeloste verontreinigingen kunnen bijdragen aan verspreiding naar het oppervlaktewater. Erosie kan gemodelleerd worden met STRESS-2D. Dit is een goed model. De validatie is voor het laatst uitgevoerd in 1998, maar ook de nieuwe situatie in het Ketelmeer moet het model aankunnen. Het wordt wel aanbevolen om voor de berekeningen nieuwe metingen te gebruiken. Voor het bepalen van de meetlocaties kunnen STRESS-berekeningen met oude gegevens worden gebruikt. Het is mogelijk om, in plaats van 2D, 3D-modellen te gebruiken, maar dit vergt een veel grotere inspanning omdat er dan een golven-model, en zwevendstof-model en een waterstromingsmodel achter elkaar gebruikt moeten worden. Vooralsnog lijkt gebruik van STRESS-2D een goede keuze.

Voor verspreiding van opgeloste verontreinigingen in de waterfase geldt het MTR_{water} als toetsingswaarde. Via poriewatermetingen kan een inschatting gemaakt worden welke bijdrage de waterbodem kan leveren aan de concentraties in het oppervlaktewater.

Uitgebreid: De verspreidingssnelheid van stoffen wordt opnieuw berekend, maar nu met geavanceerdere methoden en extra gegevens verzameld in een tweede veldonderzoek.

Extra: geen.

Oordeel over ernst en urgentie

Ernst

Als Tabel 1 uit het Nader onderzoek waterbodem Ketelmeer nu getoetst zou worden is het sediment geen klasse 4 meer voor PCB's, maar klasse 3. Daarentegen is het sediment volgens NW4 wel klasse 4 voor Cd, Cu, Zn, Cr en As. De volumegrens van 25 m³ wordt ruimschoots overschreden.

Urgentie

Urgentie wordt gebaseerd op 1) actuele risico's en 2) milieuwinst. Hieronder wordt voorzichtig ingeschat hoe die beoordeling nu zou uitvallen. Deze inschatting is gemaakt op basis van expert-judgement (workshop 21 mei 2003 en aanvullende gesprekken).

Ad 1. Zijn er actuele risico's?

Humane risico's

Evenals in het bestaande nader onderzoek is geformuleerd, verwachten de experts geen humane risico's als met SEDISOIL zou worden gerekend.

Ecologische risico's

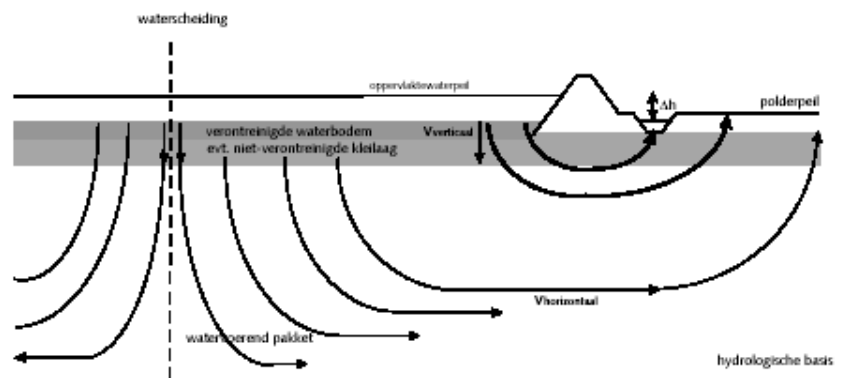
Voor ecologische risico's is vooral de toplaag belangrijk. De toplaag was aanzienlijk minder verontreinigd, vanwege de betere kwaliteit van

vers sediment. Echter ook in de toplaag zijn behoorlijke overschrijdingen van het huidige MTR_{sediment} geconstateerd voor Cu, Zn en PCB's.

De bioassays die destijds zijn uitgevoerd zijn deels verouderd. Toch verwachten de deelnemers aan de workshop niet dat de huidige bioassays een wezenlijk ander beeld geven zouden hebben. Wel zorgt doorgaande sedimentatie voor een verlaging van de risico's.

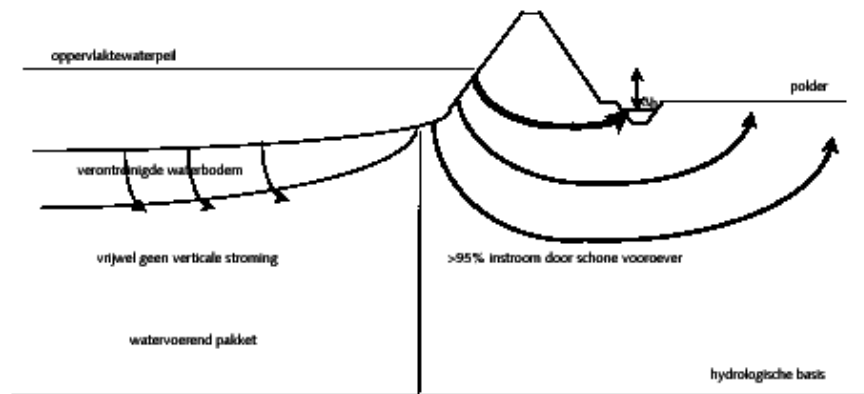
Verspreiding via het grondwater

De aanpak voor het berekenen van grondwaterrisico's is wellicht het meest veranderd ten opzichte van begin jaren '90. Figuur 4.1 geeft de situatie in het Ketelmeer weer. De verspreidingsnelheid is de cruciale factor in de bepaling van grondwaterrisico's. Dat heeft te maken met de adsorptiecapaciteit van de onderliggende bodem en de mate van inzijing. De richtlijn nader onderzoek waterbodems (Van Elswijk e.a., 2001) stelt dat er geen grondwaterrisico verondersteld wordt als er een weerstand-biedende laag van minimaal 3 meter aanwezig is. In het oostelijk deel zijn de klei- en veenpakketten ongeveer 2,5 meter, terwijl deze laag in het westelijk deel dikker dan 3 meter is. Echter, in het achtergronddocument over de bepaling van grondwaterrisico's (Schmidt e.a., 2003) wordt aangegeven dat de benodigde dikte afhankelijk is van het potentiaalverschil. Aangezien het potentiaalverschil (Δh in figuur 4.1) tussen het Ketelmeer en de IJsselmeerpolders extreem hoog is (ca. 5 m) is het onzeker of 3 meter voldoende is. Speciale aandacht moet worden gegeven aan de voormalige zandwinputten en de waterbodems dichtbij de waterkering. De zandwinputten zijn door het weerstandbiedende pakket heengegaan en hebben daarmee contact tussen het oppervlaktewater en de onderliggende zandlaag mogelijk gemaakt. Later zijn ze opgevuld met vers fijn sediment dat nu weer als weerstandbiedende laag functioneert. Het betreft echter wel een verontreinigde laag.



Figuur 4.1: hydrologische situatie in het Ketelmeer schematisch weergegeven (Schmidt e.a., 2003).

Dichtbij de dijken van Flevoland en de Noordoostpolder ligt de situatie anders. De inzijing vanuit het Ketelmeer is hier zeer sterk. Dit zou kunnen leiden tot een hydrologische scheiding (figuur 4.2). Als de weerstandbiedende laag dichtbij de oevers kleiner is, zal het overgrote deel van de inzijing door de oevers onder de dijk doorgaan. Aangezien de weerstandbiedende laag in het Ketelmeer voor het grootste deel is afgezet voor de aanleg van de IJsselmeerpolders, is het de vraag of die laag bij de dijken zoveel dunner is.



Figuur 4.2: schematische weergave van een hydrologische scheiding (Schmidt e.a., 2003).

De stofkeuze wordt bepaald door het MTR_{sediment} en $MTR_{\text{grondwater}}$. Voor grondwater is juist het diepere (zwaarder verontreinigde) deel van de Ketelmeerbodem van belang. MTR_{sediment} wordt overschreden voor: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, minerale olie en PCB's. Op basis van de K_{ow} -waarden kan echter uitgesloten worden dat PCB's een grondwater risico vormen.

Welke uitkomst de huidige beoordelings- en berekeningsmethoden zouden geven konden de deskundigen tijdens de workshop niet met zekerheid zeggen. Vermoedelijk zal het risico kleiner zijn dan op basis van de methoden begin jaren '90 is vastgesteld.

Verspreiding via het oppervlaktewater

De Rinowa stelt dat de verontreinigingsvracht door erosie van verontreinigd sediment niet meer mag bedragen dan 10% van de totale verontreinigingsvracht. In het Nader onderzoek uit 1992 is berekend dat het aandeel ouder (vuiler) bodemslib uit het Ketelmeer ca. 25% van het totaal is. Met name voor Cd was gemeten dat de totale vracht bij Ketelbrug hoger was dan in de IJsselmonding, terwijl de concentratie zwevend stof bij Ketelbrug lager was. Ook met de huidige beoordelingssystematiek (Rinowa) zou dit leiden tot een risico van verspreiding via oppervlaktewater.

Ad 2. Is er voldoende milieuwinst?

Herverontreiniging: de autonome ontwikkeling zorgt dat de bovenlaag bestaat uit vers sediment. In het Ketelmeer komt klasse 2 sediment binnen. In paragraaf 3.3 is reeds opgemerkt, dat de waterbodem na sanering niet schoner hoeft te zijn dan klasse 2. Dit zal dus op den duur gebeuren omdat het Ketelmeer een netto-sedimentatiegebied is. De richtlijn Nader Onderzoek geeft echter aan dat er dan binnen 10 jaar 30 cm vers sediment moet zijn. De netto sedimentatiesnelheid in het Ketelmeer is 1 cm per jaar, maar dit is een gemiddelde (Winkels en Van Diem, 1991).

Op basis van deze gegevens zou gesteld moeten worden dat het Ketelmeer vanuit het perspectief van herverontreiniging een locatie is, waarvan de sanering gemiddeld milieuwinst oplevert. Het beschrijven van een sedimentatiepatroon zou hierin meer inzicht kunnen geven.

Ook op basis van de huidige beoordelingsmethoden zou de conclusie luiden dat het Ketelmeer een urgent geval was in 1992. Dat geldt in ieder geval voor de ecologische risico's en de risico's voor verspreiding via het oppervlaktewater. Tevens is de sedimentatiesnelheid en sedimentkwaliteit zodanig dat er milieuwinst te halen is.

Bijlage III: Beoordeling op basis van huidige meet- en beoordelingmethoden

Nog meer dan bijlage II is dit een beschrijving op basis van niet-officiële gegevens en visies van deskundigen. Eigenlijk wordt de vraag gesteld: stel dat we nu van voor af aan beginnen, hoe zouden we met de locatie Ketelmeer omgaan. Veel deelnemers aan de workshop zijn ook betrokken geweest bij het project 'Leereffecten Sanering Ketelmeer' en hebben bij deze vraag gebruik gemaakt van hun kennis over dit project. Voor LSK is in 1998 en 1999 een uitgebreid meetprogramma uitgevoerd om een goede t_0 -situatie te creëren. Daarbij is gebruik gemaakt van de op dat moment meest actuele meetmethoden.

Metingen

De hoeveelheid en het type metingen worden vooral bepaald in het nader onderzoek. De rinowa gaat uit van 4 risicosporen: humane en ecotoxicologische risico's en verspreidingsrisico's naar grond- en oppervlaktewater. Er is voor elk risico een eenvoudige en een uitgebreide beoordeling. In de eenvoudige beoordeling kan volstaan worden met minder meetwerk. Naast de richtlijn nader onderzoek werden tijdens de workshop aanvullende, geavanceerde meettechnieken genoemd om risico's in kaart te brengen.

Algemeen

Het tijdstip van de bemonstering kan de meting sterk beïnvloeden. De tijdstippen voor metingen moeten zorgvuldig worden gekozen. Voor ecologie is voorgesteld: maart/april, maar ook voor verspreiding via oppervlakte water zal het seizoen invloed hebben. Indien niet van alle seizoenen gegevens beschikbaar zijn, moet hier bij de interpretatie rekening mee worden gehouden.

Een aantal parameters zal in alle risicosporen terugkomen. Dit betreft vooral het basisanalysepakket (Bijlage 5.3 richtlijn nader onderzoek). In het huidige nader onderzoek Ketelmeer zijn totaalgehalten van verontreinigingen gemeten. Het huidige analysepakket verschilt ten opzichte van het pakket zoals gebruikt voor het nader onderzoek Ketelmeer. Tegenwoordig worden ook organochloorverbindingen en EOX meegenomen in het basispakket (Rinowa, 2001). Verder wordt voor de bepaling van het organischestofgehalte het meten van elementaire koolstof geadviseerd in plaats van gloeiverlies. Voor het in kaart brengen van de situatie zou bekeken moeten worden in hoeverre het reguliere monitoringsprogramma van RWS bruikbare gegevens kan leveren (bijvoorbeeld concentraties in zwevend stof). Tevens zou bekeken kunnen worden of recent ontwikkelde methoden op basis van geavanceerde technieken (bijv. van Medusa of Stema) een rol zouden kunnen spelen bij het nauwkeurig in kaart brengen van de verontreiniging en de onderbouwing van het DTM.

Humane risico's

Eenvoudig: de eenvoudige beoordeling vraagt geen andere parameters dan in het bestaande nader onderzoek. Voor directe humane blootstelling is vooral de bovenste 10 tot 20 cm in recreatiegebieden van belang. Uiteraard moeten voor het onderzoek ook potentiële recreatiegebieden worden meegenomen.

Uitgebreid: metingen in de meest voorkomende eetbare vis.

Aanvullend: wordt voorgesteld de prioritare stoffen van de KRW en nieuwe stoffen (oestrogene stoffen) ook te meten. Verder de concentratie zwevend stof en verontreinigingen daaraan (i.v.m. met inname water tijdens zwemmen) of totaalconcentraties in de waterkolom.

Ecologisch risico's

Algemeen: Ecotoxicologische effecten ontstaan vooral door een verontreinigde leeflaag (5-30 cm). Deze zijn met name in de ondiepere delen (bijv. oevers) relevant, omdat die ecologisch gezien belangrijker zijn. De bemonstering zou daarom vooral gericht moeten zijn op deze locaties.

Eenvoudig: naast het basispakket chemische analyses wordt er nog een aantal stoffen gemeten die mogelijk een risico voor doorvergiftiging kunnen vormen. Het belangrijkste onderdeel wordt gevormd door 3 bioassays: watervlo, muggenlarve en microtox (de laatste is optioneel).

Uitgebreid: Directe effecten worden gemeten via een TRIADE-methodiek. Op basis van de resultaten in deze categorieën wordt bepaald of verder onderzoek noodzakelijk is. Dit kan bestaan uit: onderzoek naar chemische of biologische beschikbaarheid van verontreiniging, inzet van de Toxiciteits Identificatie Evaluatie, ofwel: TIE-methode, of onderzoek naar andere factoren dan verontreiniging. Voor de kans op doorvergiftiging worden de gehalten in lagere organismen getoetst aan de HC50 voor doorvergiftiging. De metingen in driehoeksmosselen, specifiek voor het Ketelmeer, kunnen eveneens bijdragen aan de inschatting op doorvergiftiging. Het model OMEGA berekent de effecten.

Om deze compleet te maken moeten aanvullende veldmetingen worden uitgevoerd (dichtheden en aantallen individuen; kaakmisvorming chironomiden). Voor de indirecte effecten (doorvergiftiging) worden de gehalten in wormen bepaald (oligochaeten).

Aanvullend kan er nog veel meer gemeten worden. Voor het Ketelmeer blijken driehoeksmosselen een belangrijke rol te spelen in de voedselketen. Daarom is het meten van verontreinigingsgehalten in driehoeksmosselen een essentiële aanvulling voor de ecologische risicoschatting. Verder kunnen organotinverbindingen (standaard gemeten in zoutwater) voor het Ketelmeer relevant zijn. Als ondersteuning voor de interpretatie is het aan te raden om een pH- en een redoxprofiel van de waterbodem te maken en in het poriewater kunnen DOC, nutriënten en metalen worden gemeten. Met zwakke extractie kan de beschikbaarheid van stoffen worden bepaald, maar er wordt getwijfeld over het nut, omdat een directe relatie met ecologische effecten zeker voor metalen moeilijk aantoonbaar is. Een Tenax-extractie voor organische contaminanten lijkt wel nuttig te zijn.

Verspreiding naar het grondwater

Eenvoudig: voor verspreiding naar het grondwater is de bodemopbouw en de hydrologie belangrijk. De bodemopbouw onder

de verontreinigde laag moet getypeerd worden (zand, klei, veen) en de dikte van die laag/lagen moet bekend zijn. Het 1^e en evt. 2^e watervoerende pakket moeten in kaart gebracht worden. Voor berekening van de verticale snelheid van het water moet de stijghoogte in het watervoerend pakket worden bepaald. Voor de horizontale grondwatersnelheid wordt in de eenvoudige toetsing alleen het polderpeil en het waterpeil gemeten. Andere waarden worden geschat. Voor de retardatiefactor is het organisch koolstofgehalte van belang. In de verontreinigde laag wordt de uitloogbaarheid van metalen geschat met een CaCl₂-extractie. Voor organische verontreinigingen kan worden volstaan met het meten van totaalgehalten.

Uitgebreid: er wordt vooral een intensievere onderbouwing van de berekeningen gemaakt. De lokale bodemopbouw wordt nader bestudeerd met waterspanningsondering; de stijghoogtegradiënten en horizontale stroomsnelheden worden gemeten; infiltratiesnelheden, aanwezigheid van waterscheidingen worden bepaald. Het gedrag van verontreinigingen wordt beter in beeld gebracht door concentraties in het poriewater te bepalen (m.n. voor metalen).

Aanvullend: kan de vastlegging in anaërobe lagen als onoplosbare metaalsulfides geschat worden met SEM/AVS. Anaërobie afbraak zou gemeten/geschat moeten worden. Mogelijk kan het meten van afbraakproducten hier iets over zeggen. Verder zou het effect van de sanering zelf op kwelvorming moeten worden onderzocht, m.n. als er sprake is van pleistocene opduikingen.

Verspreiding via het oppervlaktewater:

Eenvoudig: verontreinigingsgehaltenes in toplaag

Uitgebreid: concentraties zwevend stof, verontreinigingen aan het zwevend stof en opgelost in de waterfase, vaststellen van diepteveranderingen, ruimtelijke en temporele variatie.

Aanvullend is voorgesteld om met SOFIE de flux van verontreinigingen uit de waterbodem naar de waterkolom te meten. Vooraf zou wel moeten worden vastgesteld hoe groot de bijdrage van opgeloste verontreinigingen aan de totale vracht is. Het zwevend stof zou met remote-sensing continu gemeten kunnen worden. Verder is het meten van golfhoogten (met name in de winter), opwerveling t.g.v. scheepvaartbewegingen en orbitaalsnelheden van belang. Voor fase 2 is het zeker niet vanzelfsprekend dat de aangenomen verspreiding in de voor sanering van fase 1 nu nog gelden. De sanering van fase 1 kan zeker invloed hebben op slibtransport in het nog niet-gesaneerde Ketelmeer West.

Berekenings- en beoordelingsmethoden

In paragraaf 4.2 zijn de actuele berekenings- en beoordelingsmethoden op een rijtje gezet. Deze gelden ook voor dit hoofdstuk.

Oordeel over ernst en urgentie

Ernst

In de huidige systematiek wordt de ernst bepaald op basis van de chemische analyses. Zoals in het begin van dit hoofdstuk is opgemerkt, zijn de nieuwste schattingen over ernst en urgentie voornamelijk gebaseerd op het project LSK. Ruim 10 jaar na de analyses in het nader onderzoek blijkt dat in de toplaag nog steeds op een behoorlijk aantal plaatsen klasse 4 materiaal wordt aangetroffen. Vanwege het nieuwe beoordelingskader (NW4) bepalen niet PCB's de klasse, maar is op alle klasse-4-locaties zink de klassebepalende parameter. Het oostelijk deel van het Ketelmeer kon dus ook vlak voor de sanering nog als ernstig geval worden aangemerkt.

Urgentie

Zoals reeds is opgemerkt in 4.3.2 wordt de urgentie wordt gebaseerd op 1) actuele risico's en 2) milieuwinst. Ook voor deze inschatting is weer gebruik gemaakt van de workshop van 21 mei 2003.

Ad 1. Zijn er actuele risico's?

Humane risico's

SEDISOIL maakt gebruik van totaalgehalten. Deze zijn in de loop der jaren, door nieuw sediment en door transport naar het IJsselmeer, lager geworden. Het is niet aannemelijk dat er in de huidige situatie een humaan risico zou zijn. Wel zou nog berekend moeten worden of PCB-gehalten in vis nog een risico kunnen vormen.

Ecologische risico's

Er vindt grootschalige overschrijding van het MTR_{sediment} plaats, vooral voor PAK, PCB en OCB. Op basis van de uitgebreide beoordeling volgens de rinowa worden in de slibrijke toplaag actuele ecologische risico's geconstateerd, maar dit geldt niet voor de zandige toplaag. De oudere IJm-bruinafzettingen geven in alle gevallen effecten. Ook de risico's op doorvergiftiging zijn in veel gevallen verhoogd en soms ernstig.

Verspreiding via het grondwater

Aangezien er voor grondwater geen recente metingen zijn uitgevoerd, wijkt de redenering niet af van bijlage II. De zandwinputten en m.n. de delen dichtbij de dijken van Flevoland en de Noordoostpolder vragen specifieke aandacht, maar harde uitspraken kunnen hierover niet gedaan worden.

Verspreiding via het oppervlaktewater

De bijdrage via erosie is moeilijk te schatten, omdat de huidige toplaag van het Ketelmeer schoner is, maar het zwevend stof in de IJsselmonding ook. Vermoedelijk is de bijdrage van vuil Ketelmeersediment aan de totale vracht lager dan 25%, maar vermoedelijk niet lager dan 10%. Dit zou betekenen dat er nu ook een risico is.

De bijdrage van de waterbodem aan de verontreiniging van het oppervlaktewater wordt niet alleen bepaald via slibtransport, maar ook door uitwisseling tussen sediment en water. Dit verloopt via diffusie vanuit het poriewater. De gemeten metaalconcentraties in het poriewater tijdens LSK verschilden in de meeste gevallen niet significant van de concentraties in het oppervlaktewater (Van Noort en

Wilkens, 2002). Dit suggereert een evenwicht, hetgeen betekent dat er weinig diffusie plaatsvindt van het poriewater naar het oppervlaktewater.

Het erosie- en sedimentatiegedrag van het Ketelmeerslib kan beter in beeld gebracht worden met continue meettechnieken. Verder werd door de expert opgemerkt dat voor het bepalen van risico's meer naar de bedreigde objecten gekeken moet worden, zoals de Waddenzee en het waterinnamepunt Andijk.

Ad 2. Is er voldoende milieuwinst?

Herverontreiniging: In bijlage II is opgemerkt dat de gemiddelde sedimentatie in het Ketelmeer ca. 1 cm/jaar is. Dit zou nader onderzocht kunnen worden, maar belangrijker is het om een gedetailleerder beeld van het gebied te krijgen. Wellicht zijn er delen waar sedimentatie sneller verloopt zodat natuurlijke afdekking een serieuze optie is, terwijl in andere delen de sedimentatie dusdanig langzaam verloopt dat sanering wel degelijk tot milieuwinst kan leiden.

Aanvullend, momenteel nog niet opgenomen in de RINOWA, zou meer naar een functiegerichte aanpak gezocht kunnen worden. Voor de ecologie zou bijvoorbeeld extra aandacht aan de ondiepe delen (oevers, eilandjes) kunnen worden besteed.

Samenvattend kan gesteld worden dat in de zandige gebieden in Ketelmeer-Oost weinig ecologische effecten zijn vastgesteld vlak voor sanering. Over de verspreidingsrisico's durven de experts geen harde uitspraken te doen, maar het is niet ondenkbaar dat de zandige gebieden nu als niet urgent zouden zijn beoordeeld. Voor de gebieden met fijner materiaal werden vlak voor de sanering nog steeds ecologische risico's geconstateerd, hetgeen betekent dat er sprake is van een urgent geval. De mate van urgentie neemt echter af in de tijd.