



**Proefsanering Spijkerboor/
Nieuwe Merwede;
resultaten van het
abiotisch monitorings-
onderzoek**

RIZA werkdokument 2002.084X

Project nr 6100.014.015

Dordrecht, april 2002

Auteurs: E.J. Houwing en G.A. van den Berg
(RIZA-WST)

Inhoudsopgave

.....

Inhoudsopgave 3

Inleiding 5

1 Achtergrond en systeembeschrijving 7

1.1 Inleiding 7

1.2 Spijkerboor 8

1.3 Nieuwe Merwede 8

2 Proefsanering 11

2.1 Sanering 11

2.2 Inrichting proefvelden Spijkerboor 12

2.3 Inrichting proefvelden Nieuwe Merwede 14

3 Het abiotisch monitoringsprogramma 15

3.1 Inleiding 15

3.2 Metingen Spijkerboor 16

3.2.1 Bruto sedimentatie 16

3.2.2 Slibdikte 16

3.2.3 Bodemligging 18

3.2.4 Zwevend stof 18

3.2.5 Kwaliteit en samenstelling van zwevend stof en bodemslib 20

3.3 Metingen Nieuwe Merwede 21

4 Resultaten 23

4.1 Monitoring 23

4.1.1 Bruto sedimentatie 23

4.1.2 Slibdikte 23

4.1.3 Bodemligging 24

4.1.4 Zwevend stof 27

4.1.5 kwaliteit en samenstelling van zwevend stof en bodemslib 29

4.2 Kwaliteit waterbodem Nieuwe Merwede 34

5 Conclusies 39

Literatuur 42

Sinds de afsluiting van het Haringvliet in 1970 vindt in de Biesbosch sedimentatie plaats van door de Maas aangevoerd slib. Dit slib is in ernstige mate verontreinigd met organische microverontreinigingen en zware metalen. Om de negatieve effecten van deze verontreiniging van de waterbodem op het ecosysteem te verminderen worden momenteel verschillende ingrepen overwogen. De problematiek en de kosten verbonden aan eventuele ingrepen zijn van een zodanige omvang dat onderzoek vooraf belangrijk is. Daarom is bij Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland besloten tot de uitvoering van het Nader Onderzoek Zuidrand (NAOZ).

In het kader van het NAOZ is in de Biesbosch (het Spijkerboor) en in een kribvak in de Nieuwe Merwede een sanering uitgevoerd om het nut, de mogelijkheden en de effecten van een waterbodemsanering te onderzoeken. De resultaten van de proefsanering kunnen in de toekomst dienen als beleidskeuze-instrument bij de besluitvorming van de volgende saneringen in de Zuidrand. Als proeflocaties zijn het Spijkerboor en de Nieuwe Merwede gekozen omdat hier sprake is van ernstig verontreinigde waterbodems, zodat hier van een plaatselijke sanering de best meetbare resultaten kan worden verwacht.

Tijdens de saneringswerkzaamheden in het Spijkerboor zijn metingen verricht om de gevolgen van de baggeractiviteiten op de omgeving te bepalen. Het milieurendement van de proefsanering in het Spijkerboor en in de Nieuwe Merwede wordt beoordeeld op grond van de ecologische ontwikkeling van het gesaneerde gebied. Deze ontwikkeling werd tot en met vier jaar na de proefsanering (tot in 2001) gevolgd met een monitoringsprogramma, bestaande uit zowel een abiotisch als biotisch deel.

De metingen tijdens de sanering hebben als doel:

- te achterhalen of het baggeren tot onaanvaardbare hoge concentraties zwevend stof in het omliggende gebied leidt, en
- of tijdens het baggeren verspreiding van verontreinigd sediment optreedt.

Het abiotisch monitoringsprogramma heeft als doel om:

- een betere inschatting van de bodemaangroei en de kwaliteit na de sanering mogelijk te maken, ook op niet gesaneerde locaties,
- op basis van gegevens over de chemische samenstelling mogelijk de herkomst van het nieuw gesedimenteerd slib te bepalen. Mogelijk kan worden aangegeven in welke mate lokaal opgewerveld (verontreinigd) sediment bijdraagt aan het nieuwe bodemsediment, en
- inzicht te geven in het slibtransport in het Spijkerboor en in de kribvakken op de Nieuwe Merwede.

In het biotisch monitoringsprogramma wordt in de lokale waterbodem het herstel gevolgd van de kwaliteit en kwantiteit van flora en fauna. Met de resultaten van het abiotisch monitoringsprogramma kunnen de biomonitoringsresultaten beter worden begrepen.

De verkregen informatie en inzichten kunnen gebruikt worden om verdere sanering van het Spijkerboor in het bijzonder, en van de Biesbosch in het algemeen, en van de Nieuwe Merwede efficiënter uit te kunnen voeren.

In dit werkdocument worden de resultaten van het abiotisch monitoringsprogramma besproken welke tijdens en na de proefsanering is uitgevoerd. In hoofdstuk 2 wordt kort de historische ontwikkeling van het gebied geschetst en worden de beide locaties beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van verrichte werkzaamheden ten tijde en na de proefsanering. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de verschillende meettechnieken die voor dit monitoringsprogramma zijn gebruikt en in hoofdstuk 5 worden de resultaten van het programma weergegeven. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van het fysisch monitoringsprogramma gegeven.

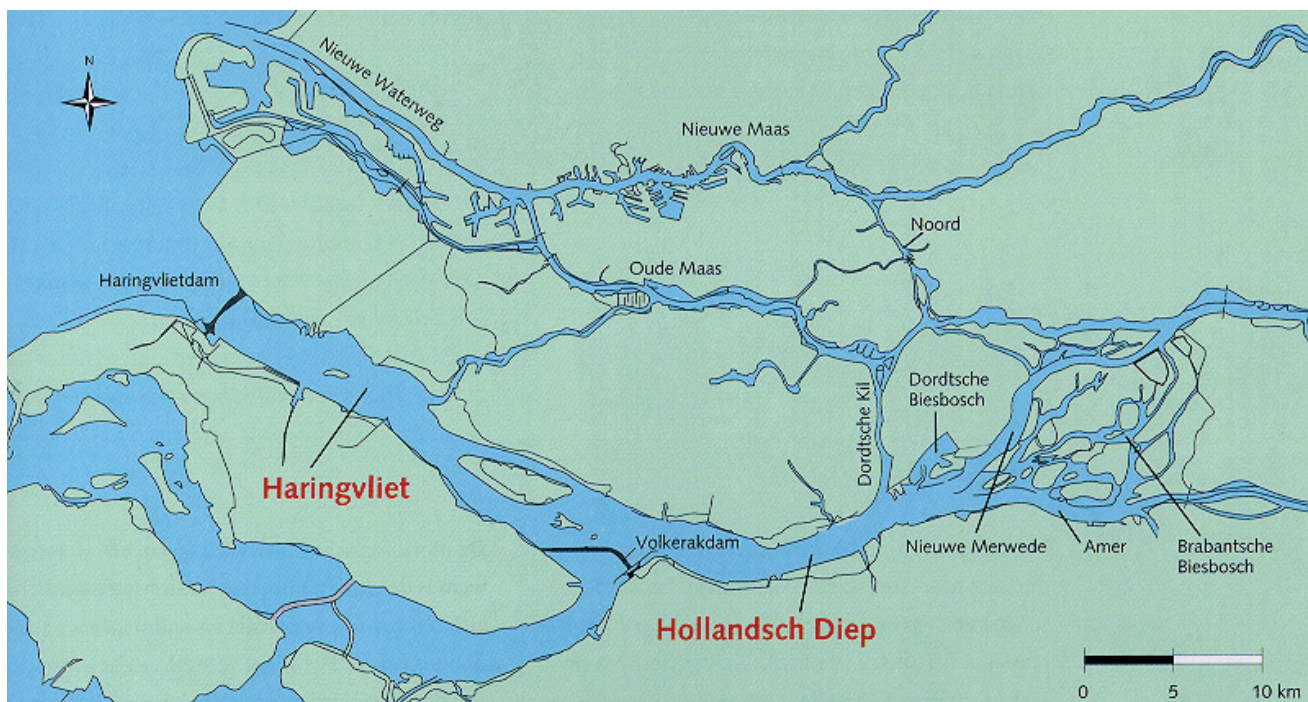
1 Achtergrond en systeembeschrijving

1.1 Inleiding

De Brabantsche Biesbosch en de Nieuwe Merwede zijn waterlopen die een onderdeel vormen van het Noordelijk Deltabekken (figuur 2.1).

De Brabantsche Biesbosch heeft zijn huidige vorm na de St. Elizabethsvloed in 1421 gekregen en bestaat uit een stelsel van geulen en kreekjes waarbij dichte begroeiing tot op de oevers voorkomt. Voor de afsluiting van het Haringvliet bedroeg het tijverschil in de Brabantsche Biesbosch zo'n 2 m. Geulen waren vanwege vrij hoge stroomsnelheden (0,80 m/s) voornamelijk zandig, en op oevers vond slibsedimentatie plaats. De nieuwe Merwede is een riviertak tussen de Boven Merwede en het Hollandsch Diep en is rond 1870 uit een getijdenkreekje tot een riviertak vergraven. Ook hiervoor geldt dat de rivierbedding voornamelijk uit zand bestond, vanwege de relatief hoge stroomsnelheden.

Figuur 1.1 Het Noordelijk Deltabekken.



Door de afsluiting van het Haringvliet (1970) en de aanleg van de Volkerakdam (1969) zijn de waterstanden en de afvoerverdelingen in het Noordelijk Deltabekken aanzienlijk gewijzigd. In de Brabantsche Biesbosch is het getij tot 0,35 m gereduceerd. Ook op de Nieuwe Merwede is door de afsluiting van het Haringvliet de getijamplitude sterk afgenomen (van 1,90 tot 0,40 m). In de Brabantsche Biesbosch zijn de stroomsnelheden in de voormalige geulen en krekken sterk afgenomen tot rond de 0,10 m/s bij gemiddelde rivierafvoer. In de Nieuwe Merwede is de grootste verandering in de waterbeweging het verdwijnen van de kentering van de stroom geweest. De veranderingen in de watersnelheden in de Nieuwe Merwede zijn kleiner in vergelijking met de Biesbosch, van 0,70 m/s voor de sluiting tot 0,59 m/s na de sluiting van het Haringvliet. Deze verandering in de waterbeweging heeft ertoe geleid dat veel slib in beide systemen werd afgezet. In de Biesbosch vond voornamelijk opslibbing van de diepe geulen plaats. Op de Nieuwe Merwede werd het slib in de kribvakken en in het brede benedenstroomse deel, vlakbij de monding met het Hollandsch Diep, afgezet. Vooral in de periode voor 1990 betrof dit voornamelijk sterk verontreinigd slib.

1.2 Spijkerboor

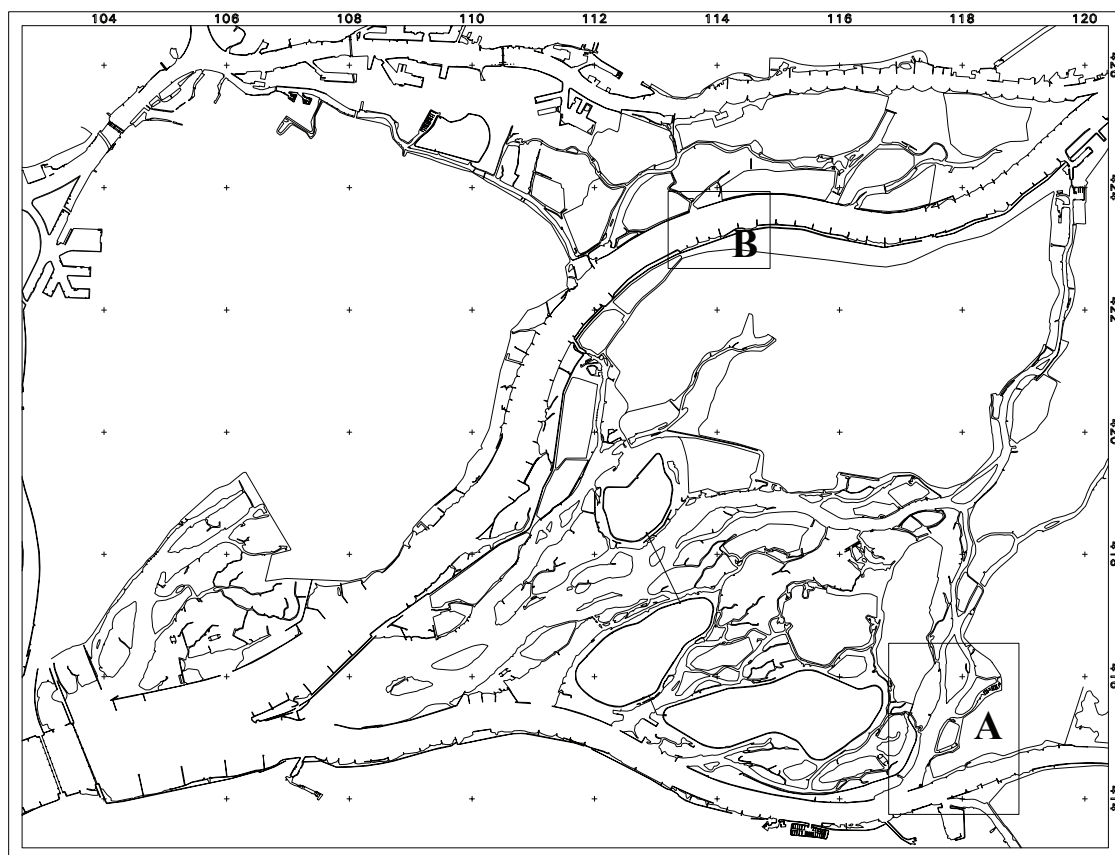
Het Spijkerboor vormt slechts een relatief kleine geul in het oostelijk deel van de Brabantsche Biesbosch ten noorden van Geertruidenberg en staat in directe verbinding met de Bergsche Maas (figuur 2.2). Het Spijkerboor is ongeveer 1.500 m lang en heeft een gemiddelde breedte van zo'n 200 m. De grootste waterdiepte over de dwarsdoorsnede varieert in het algemeen tussen circa 2,5 en 3,5 m. De oeverhellingen zijn vrij vlak. De gemiddelde waterstand van het oppervlaktewater bedraagt NAP +0,55 m.

Bij een gemiddelde rivierafvoer vindt alleen instroming van water in het Spijkerboor plaats. Het gemiddelde vloedvolume bedraagt $1,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De watersnelheden liggen hierbij beneden de 10 cm/s. Tijdens hoge afvoer ($> 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) neemt het vloedvolume aanzienlijk toe (tot $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), waarbij de snelheid van het intredende water tot boven de 60 cm/s kan komen te liggen. In het noordelijk deel van het Spijkerboor blijven beide grootheden een stuk lager.

1.3 Nieuwe Merwede

De Nieuwe Merwede is ongeveer 18 km lang. Bovenstrooms is de rivierbreedte ongeveer 350 m. Deze breedte neemt in benedenstroomse richting toe tot 550 m. Bij een gemiddelde afvoer (Bovenrijnafvoer van $2.300 \text{ m}^3/\text{s}$) bedraagt het vloedvolume ongeveer $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij deze afvoer is de watersnelheid in de Nieuwe Merwede gemiddeld 0,50 m/s. Bij hogere afvoeren kan de snelheid tot 1,5 m/s toenemen.

.....
Figuur 1.2 Ligging van de monito-
ringsgebieden Spijkerboor
(A) en Nieuwe Merwede
(B).



2 Proefsanering

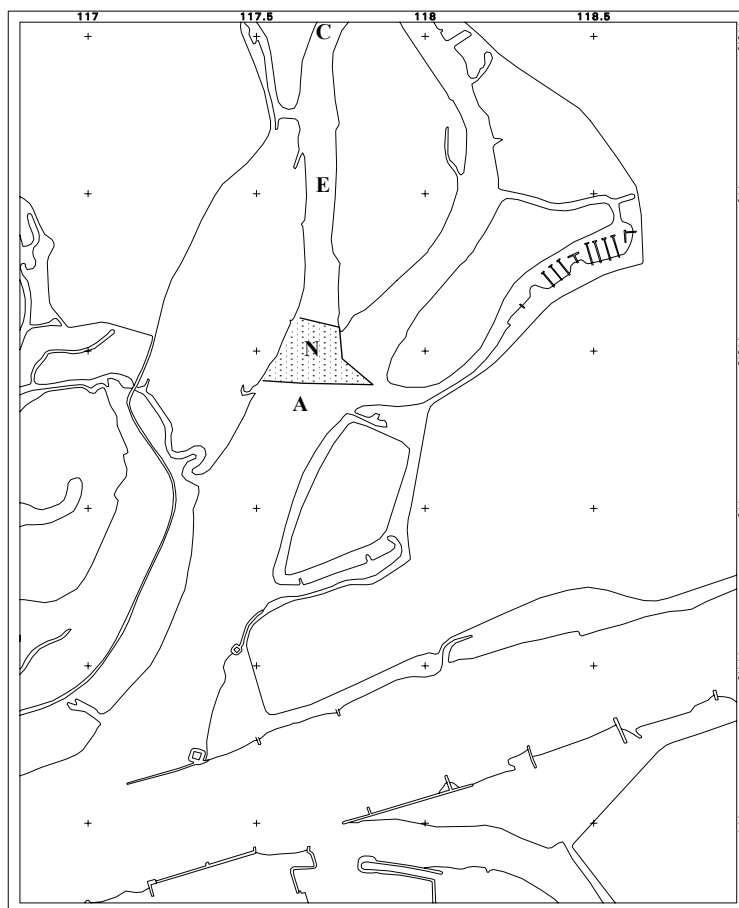
2.1 Sanering

In de periode augustus 1995 en februari 1996 is het Spijkerboor gedeeltelijk gesaneerd. Deze sanering heeft zich tot het middendeel van het Spijkerboor beperkt. De noordwestgrens bevindt zich in het Middelste Gat van het Zand, de noordoostgrens is de zuidelijke mond van het Bovenste Gat van het Zand. De zuidgrens ligt ter hoogte van de Sloot van Sint Jan (figuur 3.1). Het verontreinigd slib werd tot een diepte van 6 m beneden NAP weggebaggerd. In totaal betrof het een volume van 110.000 m³ verontreinigd slib uit een gebied met een oppervlak van 96.000 m². De proeflocaties zijn hiermee zo'n 1 m verdiept.

Het voornaamste doel van de sanering was de technische haalbaarheid ervan te onderzoeken. Daarnaast moest achterhaald worden welke effecten zulke grootschalige activiteiten op de morfologie en de biologie in het watersysteem zou hebben.

Tijdens de uitvoering van de baggerwerkzaamheden zijn de chemische samenstelling van het zwevend stof middels slibcentrifuges en de chemische en fysische parameters van de "nieuwe" bodem middels bodembemonstering gemeten. De resultaten van deze bemonsteringen zijn gebruikt om het effect van optreden van mors op de omgeving te controleren en de effectiviteit van het grootschalig verwijderen van de verontreinigde sliblaag in beeld te brengen.

Figuur 2.1 Bemonsteringslocaties in het Spijkerboor voor, tijdens en na de sanering.



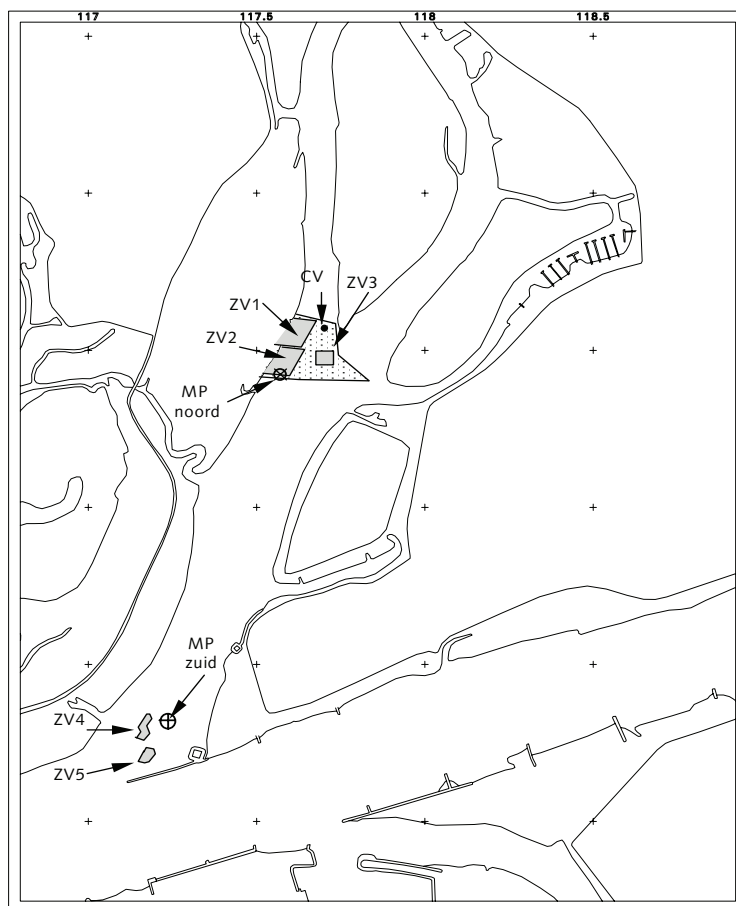
Voor de sanering zijn op de locaties A en C (figuur 3.1) achtergrondconcentraties gemeten en op zwevend stof en verontreinigingen geanalyseerd. Ten tijde van de proefsanering werden ook op locatie E watermonsters genomen. Na de feitelijke uitvoering is alleen op locatie N bemonsterd.

2.2 Inrichting proefvelden Spijkerboor

Na de proefsanering zijn voor de biomonitoring twee onderzoeksproefvakken aangelegd, één in een ongesaneerd gedeelte (monitoringsgebied I, circa 190 x 55 m) en één aan de westoever in het gesaneerde gedeelte (monitoringsgebied II, 70 x 100 m). Bovendien is de bodem in het proefvak II na het baggeren weer aangevuld met schoon zand om de nieuwe bodem weer tot de oude hoogte te herstellen. Hierdoor werd voorkomen dat er een te snelle sedimentatie van slib uit de Maas zou optreden. Uit onderzoek vlak na de saneringsingreep is gebleken dat het gebaggerde gebied rond het proefvak bedekt is met een laag vuil slib (mors). Om het risico te beperken dat dit verontreinigde slib een negatieve invloed had op de sedimentkwaliteit in het proefvak, werd ook de ondiepe (oever)zone ten zuiden van het proefvak en de oeverzone direct ten noorden van het proefvak afgedekt met een laag schoon zand. Deze delen waren wel dieper dan het proefvak zelf. De zandvakken en oeveraanvullingen werden uitgevoerd met rivierzand uit de Bergsche Maas bij Keizersveer.

Het abiotisch onderzoek is gericht op vijf zandvakken, waarvan de posities zijn weergegeven in figuur 3.2. De zandvakken 1 en 2 zijn opgenomen in de oeveraanvulling van het monitoringsgebied II en zijn respectievelijk circa 140 x 70 m en 70 x 50 m groot. Zandaanvulling 3 (circa 25 x 25 m) ligt in een diepe geul, eveneens in het saneringsgebied, tot een niveau van NAP -5,5 m. De zandaanvullingen 4 (50 x 25 m) en 5 (grillige vorm, circa 1.000 m²) zijn zuidelijker van het saneringsgebied gelegen, ter hoogte van de opening met de Amer, en liggen op dieptes van respectievelijk NAP -4,5 m en -1,2 m. Zowel tijdens het ontgraven van het benodigd zand als tijdens het aanbrengen van de zandvakken is een mengmonster van het zand genomen. De kwaliteit van het zand bleek klasse 0 te zijn (Uitvoeringsbureau Sanering Waterbodems, 1996).

Figuur 2.2 Locatie van de sanering (gestippeld), de zandvakken (ZV), de meetpalen (MP) en de locatie voor centrifugebemonstering (CV).



In juni 1996 zijn de globale contouren van de kleine zandvakken (3, 4 en 5) door de Veldmeetdienst van de Regionale Directie Zuid-Holland nagemeten met behulp van een valbom. Uit de metingen is gebleken dat de zandvakken zijn aangebracht volgens de geplande contouren.

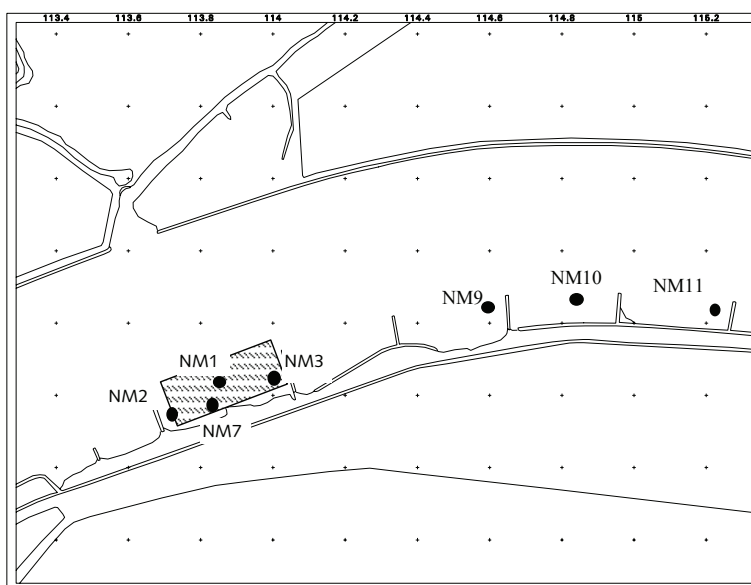
Om het niet geconsolideerde, slappe slib terug te dringen in de richting van de diepere geul is in juli 1996 het monitoringsvak II aan de noord- en zuidkant aangevuld met klasse 2-zand afkomstig uit het Zuider Gat van de Visschen. Gedurende de uitvoering zijn hoogtemetingen uitgevoerd en is de samenstelling van de opgeleverde bodem nader bepaald. Daarnaast zijn tijdens het werk monsters van de bodem genomen in die gedeelten die reeds volgens het bestek waren opgeleverd. Deze resultaten zullen in deze rapportage alleen besproken worden wanneer blijkt dat de zandaanvulling invloed heeft gehad op het sedimentatiepatroon in het Spijkerboor.

Ook werden in het Spijkerboor twee meetpalen neergezet. Eén paal stond in het zuidelijkste deel van het gesaneerde gebied (paal Noord). De andere paal (paal Zuid) stond vlak naast zandvak 4 in het ongesaneerde deel (zie figuur 3.2).

2.3 Inrichting proefvelden Nieuwe Merwede

In 1996 is een kribvak op de linkeroever van de Nieuwe Merwede gesaneerd (figuur 3.3). In dit gesaneerde kribvak zijn op een aantal vaste locaties bodemonsters in de tijd gestoken en fysisch-chemisch geanalyseerd (NM1, NM2, NM3 en NM7). Een drietal niet gesaneerde kribvakken diende als referentievakken. Ook hierin zijn op vaste locaties bodemonsters gestoken en fysisch-chemisch geanalyseerd (NM9, NM10 en NM11).

.....
Figuur 2.3 Locatie van het gesaneerde kribvak (gestreept) met de bemonsteringslocaties NM1, NM2, NM3 en NM7 en de referentiekribvakken met locaties NM9, NM10 en NM11 in de Nieuwe Merwede.



3 Het abiotisch monitoringsprogramma

3.1 Inleiding

De aangroei van een waterbodem wordt bepaald door erosie- en sedimentatieprocessen. De grootte van deze processen kan worden vastgesteld met behulp van verschillende metingen, zowel continu als discontinu in de tijd. De continue metingen zijn bedoeld om een tijdreeks van de procesparameters op te bouwen, terwijl met behulp van discontinue metingen lokaal inzicht wordt verkregen in het netto resultaat van verschillende processen. In tabel 4.1 is weergegeven van welke instrumenten gebruik is gemaakt, op welke locaties zijn gemeten en welk doel de metingen diende. Tevens is in de tabel de frequentie aangegeven die doorgaans is gehanteerd. Veelal zijn sedimentmonsters, verkregen tijdens de monitoring in het laboratorium, op fysisch-chemische eigenschappen geanalyseerd.

Tabel 3.1 Samenstelling van het abiotisch monitoringsprogramma.

instrument	doel	locatie	frequentie
ISAC	dikte van sliblaag	zandvak 1 t/m 5	3x per jaar
boxcorer	dikte van sliblaag	zandvak 1 t/m 5	3x per jaar
	kwaliteit/samenstelling sliblaag	zandvak 1 t/m 5	
echolood	bodemligging	geheel Spijkerboor of gebied met zandvakken 1 t/m 3	3x per jaar
sedimentval	bruto sedimentatie	paal Noord, paal Zuid, Keizersveer	4 à 5x per jaar
slibmonitor	troebelheidsmetingen	paal Noord, paal Zuid	continu
slibcentrifuge	kwaliteit/samenstelling zwevend stof	geul, ter hoogte van zandvak 1	5x per jaar
steekbuizen	kwaliteit/samenstelling toplaag bodem	Spijkerboor en Nieuwe Merwede	1x per jaar

De metingen zijn uitgevoerd door de Meet- en Informatiedienst van Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland. Voorafgaand aan elke meettocht werden de meetpunten op een kaart in coördinaten aangegeven. Het meetvaartuig van de Veldmeetdienst benaderde vervolgens met behulp van een DGPS-plaatsbepalingssysteem het opgegeven punt zo goed mogelijk, waarna de werkelijke meetpositie vervolgens werd genoteerd. De resultaten werden genoteerd op meetlijsten en na afloop van de meettocht ingevoerd in MS-Access. Voor iedere meettocht is een meetverslag opgesteld waarin de veldgegevens en het verloop van de metingen zijn aangegeven. Fysisch-chemische analyses werden door Alcontrol uitgevoerd.

3.2 Metingen Spijkerboor

3.2.1 Bruto sedimentatie

Met behulp van sedimentvallen werd op drie verschillende locaties de bruto sedimentatie gemeten. Een sedimentval bestaat uit een set buizen, die aan de bovenkant open zijn. De gebruikte buizen hebben een doorsnede van 6 cm en zijn 60 cm lang (verhouding van 1 op 10). De sedimentval wordt onder water op een bepaalde diepte uitgehangen, waarbij verondersteld wordt dat de totale last aan zwevend stof die voorbijkomt wordt ingevangen (bruto sedimentatie). De hoeveelheid ingevangen sediment is hierbij een afspiegeling van de grootte van het sedimenttransport.

Door de hoogte van het ingevangen slib in de sedimentvallen te meten werd de bruto sedimentatie bepaald. De sedimentvallen zijn geplaatst bij Paal Noord, Paal Zuid en Keizersveer.

3.2.2 Slibdikte

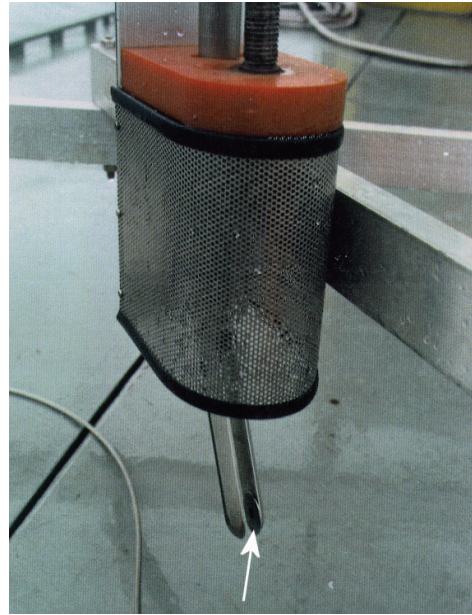
Met behulp van de ISAC kan de overgang tussen een slib- en een zandlaag nauwkeurig vastgesteld worden. De ISAC (In Situ Akoestische Concentratie-meter) bestaat uit een statief waaraan een op diepte in te stellen akoestische probe is bevestigd (figuren 4.1 en 4.2). Op basis van uitdoving van het akoestische signaal kan de dichtheid van de bodem gemeten worden. Deze methode is vooral bruikbaar bij het voorkomen van zand-sliblagen, waarbij de plotselinge toename in het uitgangssignaal de overgang van slib naar zand kenmerkt. Door in de zandvakken geregeld ISAC-metingen uit te voeren wordt een indruk verkregen hoe snel de nieuw gesedimenteerde sliblaag op de aangebrachte zandlagen aangroeit. Bij iedere nieuwe meting in een zandvak is rekening gehouden met de oude meetlocaties. Per meetdatum zijn ten minste 2 metingen verricht, minimaal 3 m van elkaar verwijderd. Wanneer de slibdikte van de eerste en de tweede meting meer dan een factor 2 verschilt, werd een derde meting uitgevoerd.

De ISAC-metingen zijn in de PC opgeslagen, omgezet in EXCEL-files en bewerkt tot grafieken per meettijdstip per zandvak. In de grafieken zijn vervolgens de overgangen tussen water en slib en tussen slib en zand weergegeven. Als overgang tussen water en slib is die diepte genomen, waarbij het uitgangssignaal groter is dan de waarde nul. Als overgang tussen slib en zand is die diepte gekozen, waarbij het voltage tegen de maximale waarde aanligt en een constant patroon in de (meet)tijd vertoont. De dikte van de totale sliblaag wordt gevonden door de diepte waarop het zand wordt aangetroffen af te trekken van de diepte waarop de waterbodem begint.

Figuur 3.1 ISAC met meetsensor
(zie witte pijl).



Figuur 3.2 Sensor van de ISAC
(zie witte pijl).



De ISAC is voor de huidige monitoring alleen gebruikt om de overgang van slib naar zand aan te kunnen geven. Er is niet gekeken naar een eventuele verandering van de dichtheid van de slibbodem in de tijd. IJking van het uitgangssignaal van de ISAC heeft daarom niet plaatsgevonden.

Voor het meten van de slibdikte werd naast de ISAC ook van de boxcorer gebruikgemaakt. Een boxcorer (figuur 4.3) bestaat uit een stalen doos met een beweegbare bodem (snijvlak), die een ongestoord bodemonster van 15 x 25 x 50 cm (l x b x m) kan nemen. Van het gestoken sedimentmonster kunnen zo ongestoord de structuur en de sedimentopbouw worden bepaald. Na het steken van een bodemonster werd de boxcorer aan boord van het meetvaartuig gehesen en werd op de hoeken en in het midden van de boxcorer een meetlat in de bodemlaag gestoken. De overgang van slib naar zand was door verhoging van de weerstand merkbaar. De boxcorer-meting werd op elk zandvak tussen de twee ISAC-meetpunten uitgevoerd. Bij het selecteren van de boxcorer-locaties werd rekening gehouden met de oude meetlocaties.

Slibdiktes zijn bepaald in alle vijf de zandvakken. Alle gemeten slibdiktes zijn verwerkt in grafieken, waarin per monsterdatum tevens het gemiddelde en de standaarddeviatie per zandvak zijn weergegeven.

Figuur 3.3 De boxcorer.



3.2.3 Bodemligging

Tussen 1996 en 2000 is ieder jaar de ligging van de waterbodem van het gesaneerde deel in het Spijkerboor met behulp van lodingen bepaald. Deze lodingen zijn raaisgewijs uitgevoerd. De resultaten van de lodingen zijn met behulp van het interpolatieprogramma SURFIS (Fioole, 1997) tot een Digitaal TerreinModel geïnterpoleerd. Vervolgens is een verschilkaart gemaakt, waaruit het ruimtelijk sedimentatiepatroon in het gesaneerde deel van het Spijkerboor valt af te lezen.

3.2.4 Zwevend stof

Algemeen

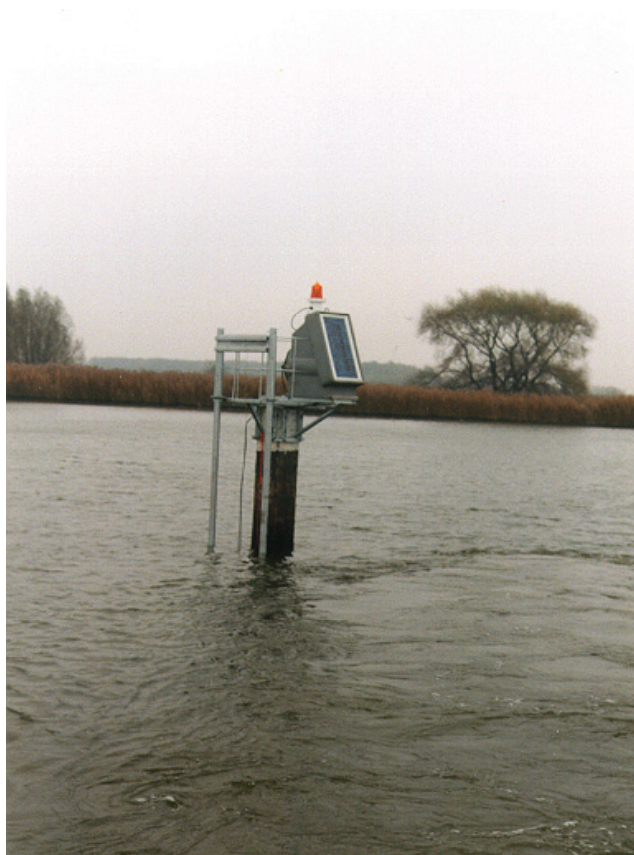
Het concentratieverloop van zwevend stof in het Spijkerboor is door middel van continue meting met behulp van de slibmonitor in de tijd bepaald. De gebruikte slibmonitor (MEX-3) bestaat uit een schakelkast met een meetsonde welke de mate van vertroebeling in het water meet. Het apparaat heeft twee infrarood-diodes en twee fotodetectoren die zich in de meetsonde bevinden. De uitdoving van het lichtsignaal is hierbij een maat voor de concentratie zwevend stof in het water. De data werd in een datalogger opgeslagen. Uitlezing van de datalogger vond doorgaans om de maand plaats. De resultaten van de continue metingen zijn gebruikt om de verschillen in troebelheid (concentraties zwevend stof) vast te leggen. Achteraf kan dan worden nagegaan of er perioden zijn geweest met significant hogere of juist lagere concentraties zwevend stof en kan er gekeken worden of dat gerelateerd kan worden aan externe invloeden (een grote verandering in afvoer van de Maas).

De slibmonitoren zijn opgesteld op twee locaties: bij Paal Noord en Paal Zuid (figuur 4.4). Bij de uitlezing van de monitor werd bovendien water uit de waterkolom bemonsterd voor fysisch-chemische analyse en werden de tijd, het doorzicht, de waterstand, de meetwaarde voor vertroebeling en de waterstand van de sensor genoteerd (zie meetrapporten, Meet- en Informatiedienst directie Zuid-Holland, 1996-2000).

Hoogwater

In november 1998 zijn met behulp van een meetvis, waarin een MEX-3-slib-monitor is gemonteerd, al varende troebelheidsmetingen uitgevoerd. Hiervoor werd de meetvis op diverse waterdiepten door een meetvaartuig voortgetrokken. De positie van het schip werd automatisch vastgelegd samen met het uitgangssignaal van de troebelheidsmeter en de dieptesensor. De trajecten voor het varende meten waren zodanig gekozen dat het sedimentatieproces van zwevend stof afkomstig uit de Amer gevolgd kon worden. Tevens zijn op een tweetal plaatsen, ter hoogte van de meetpaal Zuid en het saneringsgebied, verticaalmetingen uitgevoerd.

.....
Figuur 3.4 De meetpaal.



Scheepvaart

In mei 1995 zijn door het RIZA en de directie Zuid-Holland in het Spijkerboor metingen verricht met het doel meer inzicht te krijgen in de erosie veroorzaakt door scheepvaart. Gedurende deze meetcampagne werden al varende troebelheidsmetingen op diverse plaatsen achter een beroepsvaartuig verricht. Als proef werd een beladen schip van het type Kempenaar gebruikt, met een karakteristieke lengte van 55 m, een breedte van 6,6 m en een beladen diepte van 2,5 m.

3.2.5 Kwaliteit en samenstelling van zwevend stof en bodemslib

Zwevend stof en bodemslib zijn fysisch-chemisch geanalyseerd. Het zwevend stof werd ongeveer eenmaal per twee maanden op twee manieren bemonsterd:

- 1) met sedimentvallen (bruto sedimentatie) en
- 2) met slibcentrifuges (totaal zwevend stof).

De inhoud van de sedimentvallen werd verzameld en gekwantificeerd bij Omegam B.V. Voor de lediging van de buizen werden de temperatuur en het zuurstofgehalte in de bovenstaande kolom water gemeten. Het verzamelde sediment werd vervolgens gevriesdroogd in het laboratorium van het RIZA in Lelystad. De analyse op deeltjesgrootteverdeling (fractie $< 2 \mu\text{m}$ en $< 16 \mu\text{m}$, met behulp van de z.g. micropipet-methode), zware metalen en organische microverontreinigingen gebeurde bij Omegam, de overige analyses bij het RIZA. Met de slibcentrifuge is minimaal 300 g natgewicht (± 100 mg drooggewicht) zwevend stof verzameld. Met behulp van een slibcentrifuge wordt, bij een omwentelingssnelheid van 17.000 of 19.000 omwentelingen per minuut, in een korte tijd relatief veel sediment uit het water gefilterd. De waterinname vond plaats op een locatie in de geul (X,Y-coördinaten 117.700, 415.500), zie figuur 3.2, op een diepte van 1,5 m. Dit zwevend stof is fysisch-chemisch geanalyseerd door Alcontrol-Heinrichi B.V.

Het in de zandvakken gesedimenteerde slib (netto sedimentatie) werd bemonsterd met de boxcorer. Het duidelijke scheidingsvlak zand-slib maakte afscheiding mogelijk van het materiaal dat na de oplevering van de sanering (storting van het zand) was gesedimenteerde. De analyses vonden bij Alcontrol-Heinrichi B.V. plaats.

Om de gemeten concentraties aan verontreinigingen kwantitatief met elkaar te kunnen vergelijken, is gekozen voor normering naar standaard waterbodembodem. De toetsing van de gehalten aan verontreinigingen heeft aan de hand van de normen voor omgaan met verontreinigd sediment (toetsingswaarde, interventiewaarde) plaatsgevonden, zoals in de CIW-nota Normen voor het Waterbeheer is beschreven (CIW, 2000). Voor normalisatie van meetgegevens is gebruikgemaakt van organisch stofgehalten bepaald uit organisch C-gehalten (waar mogelijk) of uit gloeirest. De eerste methode levert een betrouwbaardere schatting van het organisch stofgehalte op. Lutum is bepaald als 63% van het percentage $< 16 \mu\text{m}$ in verband met vergelijkbaarheid van metingen.

Voor veel stoffen zijn niet alle klassengrenzen (streefwaarde, grenswaarde, toetsingswaarde en interventiewaarde) gedefinieerd, voor sommige stoffen zijn in het geheel geen normen vastgesteld. De normering voor de poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's) is gebeurd op basis van de somnormen voor de 10 "PAK's van VROM". Voor DDT, DDD en DDE bestaan alleen somnormen. Op de andere chloorhoudende bestrijdingsmiddelen is niet geïnclassificeerd omdat ze niet bepalend waren. Bovendien waren de gehalten voor een aantal van de stoffen beneden de rapportagegrens van de uitgevoerde analyses.

Meetwaarden voor bodemmateriaal of zwevend stof met andere gehalten lutum en organisch stof dienen voor vergelijking met de normwaarden omge-rekend te worden volgens de Circulaire tweede fase inwerkingtreding saneringsregeling WBB (december 1994).

Voor metalen geldt:

$$cb = cs * (A + B * \%L + C * \%OS) / (A + 25 * B + 10 * C)$$

en voor organische microverontreinigingen:

$$cb = cs * \%OS / 10$$

waarin:

cb = normconcentratie voor een bodem met een bepaald lutum- en organisch stofgehalte [-]

cs = normconcentratie voor standaard bodem [-]

%L = gehalte lutum (< 2 µm) als % op droge stofbasis [-]

%OS = gehalte organisch stof als % op droge stofbasis [-]

A, B, C = metaalspecifieke constanten (tabel 4.2) [-]

Voor de normen van zware metalen in zwevend stof geldt:

$$cz = 1,5 * cs * (A + B * \%L + C * \%OS) / (A + 40 * B + 20 * C)$$

en voor organische microverontreinigingen:

$$cz = 2 * cs * \%OS / 20$$

Tabel 3.2 Waarden van de metaal-specifieke constanten voor de omrekening van standaard waterbodemonormen naar normen voor een bodem met een bepaald lutum- en organisch stofgehalte (Circulaire tweede fase inwerking-treding saneringsregeling WBB, december 1994).

metaal	A	B	C
Cadmium	0,4	0,007	0,021
Chroom	50	2	0
Koper	15	0,6	0,6
Kwik	0,2	0,0034	0,0017
Lood	50	1	1
Nikkel	10	1	0
Zink	50	3	1,5

3.3 Metingen Nieuwe Merwede

In de Nieuwe Merwede heeft alleen bemonstering van de toplaag van de waterbodemonormen in de gesaneerde en ongesaneerde kribvakken plaatsgevonden (figuur 3.3). Al deze bodemonmonsters zijn fysisch-chemisch geanalyseerd.

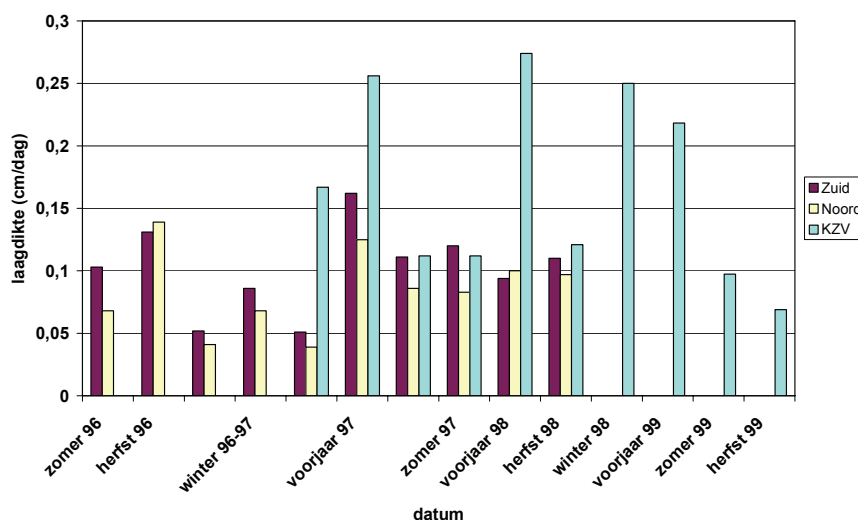
4 Resultaten

4.1 Monitoring

4.1.1 Bruto sedimentatie

De hoeveelheid sediment dat in een sedimentval wordt ingevangen is afhankelijk van de grootte van het sedimenttransport ter plaatse (berekend als de gemiddelde concentratie per tijdseenheid die langs de val wordt getransporteerd). De sedimentvallen hebben niet op iedere locatie even lang in het water gehangen. Om de resultaten toch met elkaar te kunnen vergelijken, is voor iedere locatie een tijdsafhankelijke bruto sedimentatie berekend door de hoeveelheid ingevangen materiaal (in cm) te delen door het aantal dagen dat de sedimentval heeft uitgestaan. Deze waarden zijn, op de datum waarop de buizen zijn opgehaald, in figuur 5.1 weergegeven.

Figuur 4.1 Laagdikte sediment per dag in de sedimentvallen voor de locaties zuid, noord en Keizersveer.

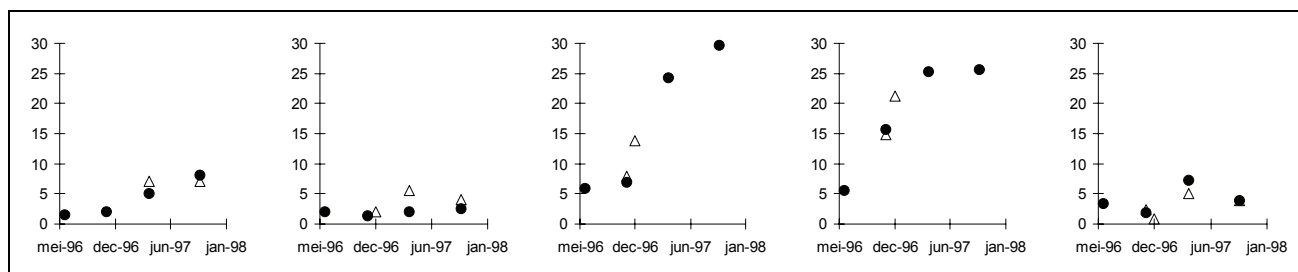


Wat in het figuur opvalt is dat de waarde voor Keizersveer in de regel hoger uitvalt dan voor de meetpalen Noord en Zuid. In vergelijking met meetpaal Noord vangt de sedimentval bij paal Zuid gemiddeld meer sediment.

4.1.2 Slibdikte

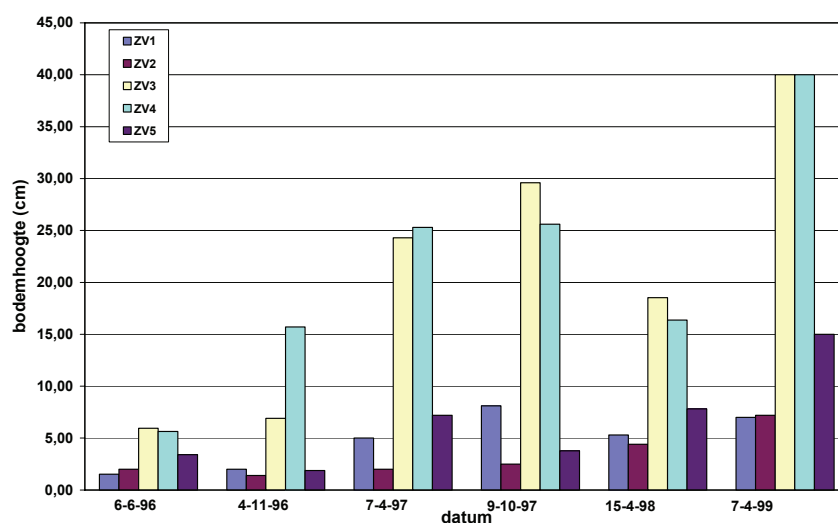
In figuur 5.2 is de gemiddelde bodemontwikkeling in de eerste twee jaar na de sanering, op basis van de ISAC- en boxcorer-metingen, weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de uitkomsten verkregen met de ISAC goed overeenkomen met die van de boxcorer-metingen. Vanwege tijdsbesparing werd besloten de bodemontwikkeling alleen nog met behulp van de boxcorer voort te zetten (zie ook Houwing *et al.*, 1997).

.....
Figuur 4.2 Bodemontwikkeling van
 de vijf zandvakken op
 basis van ISAC-metingen
 (Δ) en boxcorer (●);
 ZV = zandvak.



In figuur 5.3 is de ontwikkeling van de slibdikte boven de vijf aangebrachte zandlagen weergegeven. Uit de metingen blijkt dat in alle zandvakken netto slibsedimentatie heeft plaatsgevonden. De grootste afzetting worden in de zandvakken 3 en 4 aangetroffen. Hier heeft zich tot maart 1999 zo'n 40 cm slib afgezet. De grootte van de slibsedimentatie varieert voor de overige zandvakken tussen de 5 tot 15 cm. Het verschil in totale sedimentatie valt samen met het verschil in diepte van de betreffende zandvakken. Zandvak 3 en 4 liggen rond de 5 m-NAP, terwijl zandvak 1, 2 en 5 op een diepte van 1,5 m-NAP zijn aangebracht.

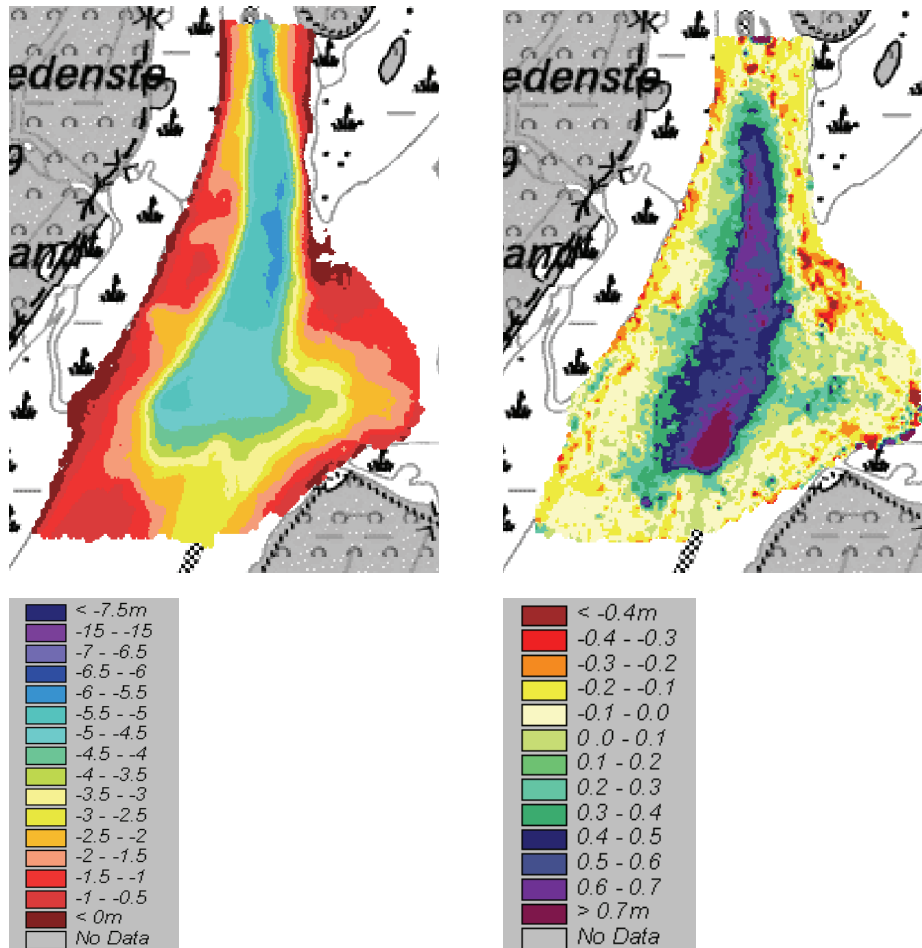
.....
Figuur 4.3 Ontwikkeling in de tijd
 van de bodemhoogte
 boven de aangebrachte
 zandlagen, gemeten met
 behulp van de boxcorer.



4.1.3 Bodemligging

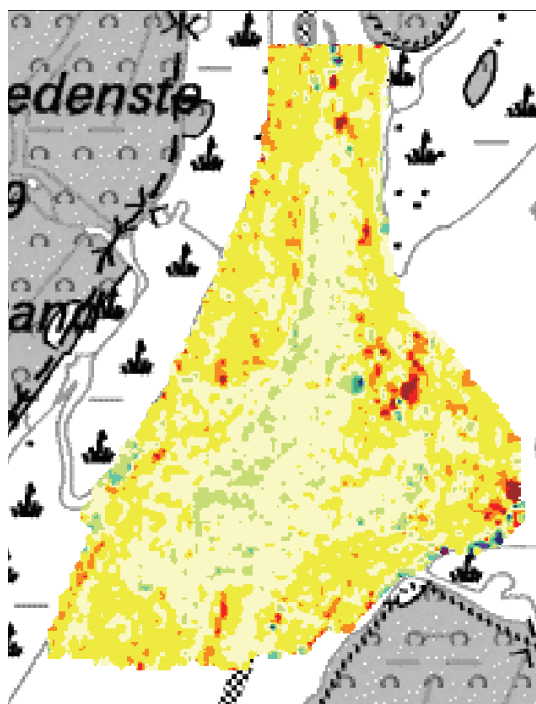
Op de verschilkaart van 1997 en 2000 is de significante netto sedimentatie in het noordelijk deel van het Spijkerboor zichtbaar (figuur 5.4).

Figuur 4.4 Bodemligging t.o.v. NAP in mei 1997 (links) en de netto sedimentatie in de periode tussen mei 1997 en april 2000 (rechts) ter hoogte van het gesaneerde deel van het Spijkerboor.

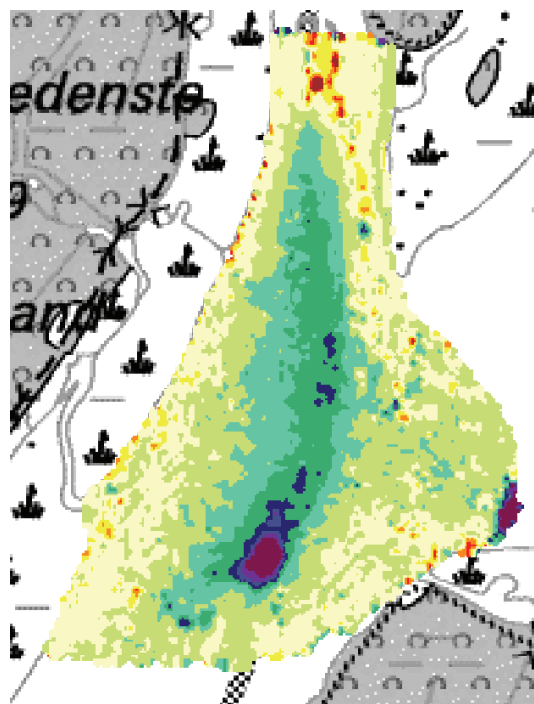


Ten tijde van de totale monitoringsperiode 1997-2000 heeft de meeste sedimentatie in de zone dieper dan 3 m -NAP plaatsgevonden, overeenkomend met de geul ter hoogte van het zandvak 3. Hier heeft zich tot 60 cm slib afgezet. Op enkele plaatsen blijkt de slibafzetting groter dan 70 cm te zijn. In het relatief diepere deel van de oeverzone, tussen de 1,5 en 3 m -NAP, is op de meeste plaatsen tussen de 20 en 40 cm slib afgezet. In de overige delen van het Spijkerboor heeft is in het algemeen maximaal 14 centimeter slib afgezet, waarbij lokaal ook erosie gevonden kan worden. Deze waarden komen goed overeen met de waarden die via boxcorer-metingen zijn verkregen. Tijdens de periode september 1998 - juni 1999 is in het Spijkerboor het meeste sediment afgezet (figuur 5.5). Over deze periode blijkt de afvoer van de Maas, gemeten bij Keizersveer, in vergelijking met de jaren 1997-1998 en 1999-2000 vrij hoog te liggen (figuur 5.6). Hieruit lijkt een relatie te bestaan tussen de hoogte van afvoeren op de Maas en de grootte van sedimentatie in het Spijkerboor.

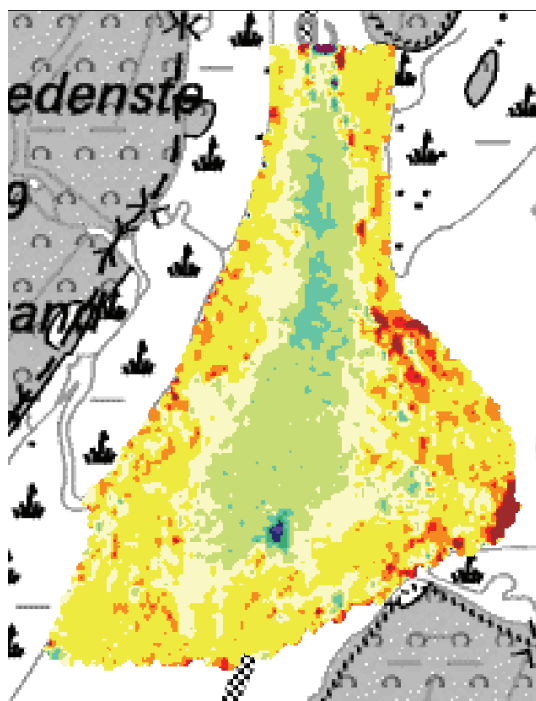
Figuur 4.5 Verschil in bodemligging
(zie legenda in figuur 5.6)
voor drie verschillende
perioden.



Sedimentatie mei 1997-sept. 1998

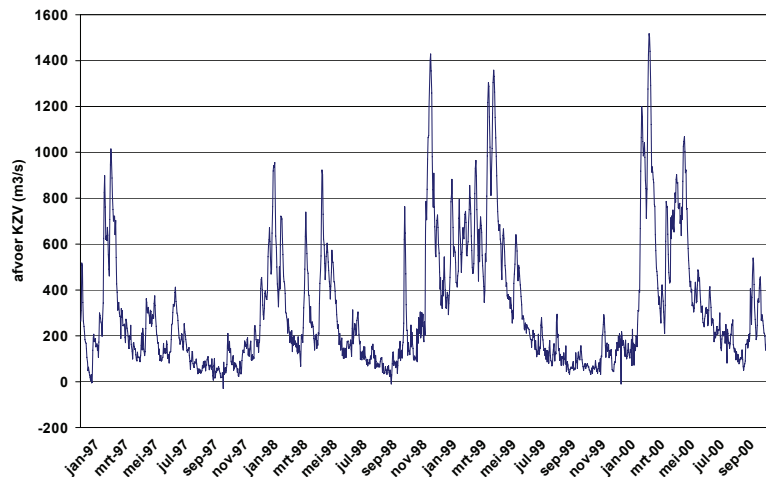


Sedimentatie sept. 1998-juni 1999



Sedimentatie juni 1999-aug. 2000

.....
Figuur 4.6 Etmaalgemiddelde afvoer
 bij Keizersveer, gemeten
 tussen 1997 en 2000.

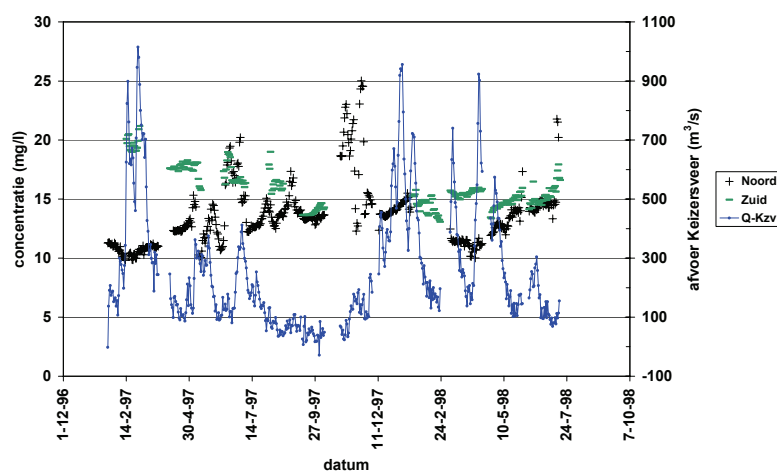


4.1.4 Zwevend stof

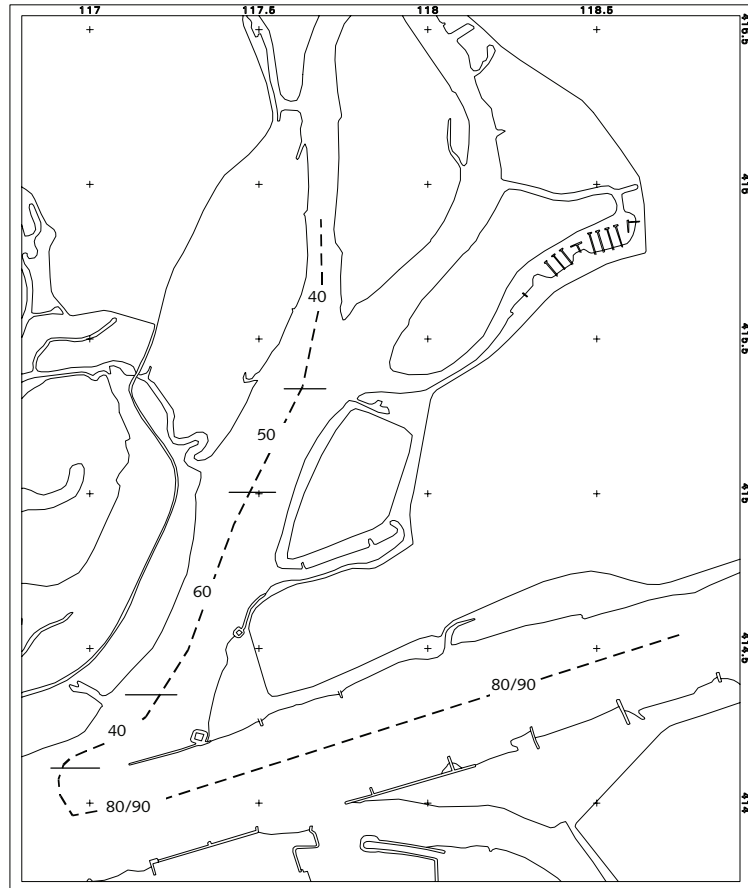
Door Fioole (1992) wordt een statistische relatie tussen de hoogte van de afvoeren op de Maas en de zwevend stofconcentratie in het Maaswater aangetoond. Omdat het Spijkerboor in directe verbinding met het Maaswater staat, werd ook zo'n relatie in het Spijkerboor verwacht. In figuur 5.7 zijn de concentratie zwevend stof bij paal Zuid en paal Noord weergegeven, alsmede de etmaalgemiddelde afvoeren die bij Keizersveer zijn gemeten. Er is echter geen duidelijke relatie tussen beide grootheden zichtbaar.

Tijdens een hoogwaterperiode op 5 november 1998 zijn een aantal raaien door het Spijkerboor en over de Amer gevaren. De afvoer bedroeg op die dag 1.430 m³/s bij Keizersveer. In figuur 5.8 zijn de gemiddelde concentraties zwevend stof voor de Amer en het Spijkerboor gegeven. Op de Amer bedroeg de concentratie ongeveer 90 mg/l. Dat is ruim 3 keer zoveel vergeleken bij een gemiddelde afvoer. In het Spijkerboor werden concentraties tussen de 40 en 60 mg/l gemeten. Dit is een 4 tot 6-voudige toename in relatie met gemiddelde omstandigheden. Er blijkt wel degelijk een toename in zwevend stofconcentratie tijdens hoge Maasafvoeren in het Spijkerboor aanwezig te zijn. Het is niet duidelijk waarom zulke concentratieverschillen tijdens de dagelijkse metingen bij paal Zuid en Noord niet werden geregistreerd.

.....
Figuur 4.7 Gemeten concentraties
 zwevend stof bij paal Zuid
 en paal Noord.



.....
Figuur 4.8 De gemiddelde concentratie (mg/l) van het water in de Amer en het Spijkerboor tijdens een hoge afvoermeting (5 november 1998).



Scheepvaart

Vanuit metingen, die zijn verricht in andere Nederlandse watersystemen, is bekend dat de scheepvaart bodemsediment kan opwervelen en door de waterkolom kan verspreiden (Kappe *et al.*, 1989; Van de Kaa *et al.*, 1992; Houwing, 1998). In het Spijkerboor gaven de resultaten van de scheepvaartproef echter geen eenduidig beeld over een duidelijke vertroebeling van het water onder invloed van scheepspassage. Dat er een vertroebeling ontstond kan duidelijk worden waargenomen vanuit de lucht (figuur 5.9). Vanaf de wal echter, en al varende achter het schip, was dit niet direct merkbaar. Zo kan bijvoorbeeld de toename van de troebelheid in het schroefwater van een schip tot een waterlaag beperkt blijven die niet altijd tot de waterspiegel reikt, of die relatief beperkt in omvang is. Specifieke metingen van fysische parameters, zoals concentraties en stroomsnelheden, op verschillende hoogten in de verticaal zijn dan noodzakelijk om uitsluitsel te geven. Dit heeft tijdens deze specifieke meting niet plaatsgevonden.

Toch is geprobeerd de invloed van scheepspassages op sedimentbewegingen in het Spijkerboor te kwantificeren. Met behulp van een eenvoudig rekenmodel is een inschatting gemaakt over de mate van vertroebeling die door het proefschip in het Spijkerboor is veroorzaakt (De Wit, 1997). Hiervoor zijn de sedimentkarakteristieken van het Spijkerboor en de karakteristieken van het proefschip als invoer voor het model gebruikt.

Een eerste grove analyse van de door scheepvaart opgewekte waterbeweging in het Spijkerboor in de Brabantse Biesbosch laat zien dat de geobserveerde resuspensie van slib door de passage van een schip voornamelijk veroorzaakt wordt door de schroefstraal van het schip. De stroomsnelheden in de retourstroming, veroorzaakt door het varen, zijn zodanig laag dat hierdoor vrijwel geen slib geërodeerd kan worden. Uit de luchtfoto's en vanuit de modelstudie kan geconcludeerd worden dat de scheepvaart zeker enige invloed op het bodemsediment zal hebben.

Deze conclusie kan ook ondersteund worden door veldwaarnemingen van de ontwikkeling van de bodemfauna (Van der Velden & Wiersma, 1994). In het Spijkerboor viel namelijk op dat er een relatief geringe aanwezigheid van larven van de dans- of vedermuggen (*Chironomidae*) in het slib aangetroffen werd, terwijl op andere locaties met ongeveer dezelfde bodemkwaliteit (klasse 3/4), maar waar vrijwel geen beroepsvaart passeert, veel grotere hoeveelheden larven gevonden werden (Wiersma, 1993).

.....
Figuur 4.9 Vertroebeling van het water veroorzaakt door varend schip.



4.1.5 kwaliteit en samenstelling van zwevend stof en bodemslib

Beschrijving kwaliteit waterbodem Spijkerboor voor de proefsanering

In tabel 5.1 is een overzicht gegeven van de verontreinigingsgraad van de bodem in de zandvakken. Hierbij zijn ook de getallen van de toplaag en de diepere laag van voor de sanering gepresenteerd.

Duidelijk is dat de toplaag van de waterbodem een betere kwaliteit had dan de diepere lagen. In de diepere lagen wordt het sediment geclassificeerd als klasse 4 op basis van cadmium en zink (forse overschrijding interventiewaarde) en klasse 3 op basis van kwik, koper, nikkel, minerale olie, PCB (som 7) en PAK's (som 10); in de toplaag van de waterbodem wordt het sediment geclassificeerd als klasse 4 op basis van zink (lichte overschrijding interventiewaarde) en klasse 3 op basis van cadmium en koper. In de tijd is dus een forse verbetering van de kwaliteit opgetreden. Deze verbetering is overeenkomstig met de kwaliteitsverbetering die in de jaren '90 in de Maas heeft plaatsgevonden.

Tabel 4.1 Resultaten fysisch-chemische analyse van de zandvakken 1 t/m 5 na sanering, van de toplaag en diepere laag voor de sanering en voor Keizersveer (uit DONAR).

Zv	Datum	% Lutum	org stof	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Min. olie	EOCL	somPCB 7	SOM DDT/DD D/DDE	HCB	10PAK
1	06-06-96	20,160	7,241	7,9	1,0	60	27	110	669	53	2072	4,3	0,05	0,00	0,003	4,2
	04-11-96	8,820	2,931	5,1	0,6	51	28	81	606	44	1228	2,7	0,11	0,00	0,004	2,5
	07-04-97	27,090	7,586	8,3	0,9	86	34	141	697	59	3691	4,9	0,12	0,01	0,028	6,8
	09-10-97	23,940	6,896	9,5	0,9	87	33	137	710	64	1595	1,5	0,09	0,01	0,009	6,7
	15-04-98	6,930	2,241	3,3	0,4	35	27	50	378	27	1071	4,4	0,08	0,00	0,009	1,3
	08-04-99	17,010	7,586	6,4	0,7	64	39	101	635	52	1266	3,0	0,09	0,00	0,000	5,4
	08-04-00	11,340	3,5	5,0	0,5	74	59	101	864	62		4,6	0,24	0,00	0,038	7,2
	Gem	16	5	6,5	0,7	65	35	103	651	52	1820	3,6	0,11	0,00	0,013	4,9
2	06-06-96	8,190	3,965	6,7	1,7	55	31	96	713	53	2270	5,3	0,05	0,00	0,000	2,9
	04-11-96	3,402	3,448	7,4	1,0	73	47	114	964	79	1189	2,3	0,12	0,01	0,005	3,8
	07-04-97	20,160	6,379	7,6	1,0	73	31	122	665	59	3606	3,8	0,12	0,01	0,022	5,4
	09-10-97	6,930	2,414	4,4	0,4	45	27	66	489	38	1119	3,3	0,13	0,00	0,015	2,3
	15-04-98	10,080	2,931	5,6	0,6	58	33	80	546	48	1501	6,1	0,11	0,00	0,006	2,0
	08-04-99	19,530	6,896	7,4	0,7	61	36	101	612	52	1088	1,5	0,18	0,00	0,000	3,6
	08-04-00	15,120	4,8	6,2	0,5	79	52	116	839	68		3,3	0,11	0,00	0,010	5,1
	Gem	12	4	6,5	0,8	64	37	99	690	57	1795	3,7	0,12	0,00	0,008	3,6
3	06-06-96	20,160	8,103	-0,6	0,1	11	6	39	91	8	1728	4,6	0,05	0,00	0,002	7,8
	04-11-96	28,350	8,965	11,0	1,4	91	33	156	905	83	1450	4,8	0,12	0,01	0,005	7,4
	07-04-97	34,020	9,654	8,0	0,9	87	34	136	656	54	4040	2,1	0,09	0,00	0,028	7,7
	09-10-97	31,500	9,310	10,6	1,1	100	35	159	733	67	1933	2,6	0,07	0,01	0,006	8,4
	15-04-98	35,910	10,689	8,7	0,8	92	37	123	588	60	1590	4,4	0,08	0,00	0,007	5,3
	08-04-00	29,610	11,0	4,7	0,5	73	42	130	614	72		2,0	0,08	0,00	0,000	4,2
	Gem	30	10	8,6	0,9	89	36	141	699	67	2148	3,4	0,08	0,00	0,008	6,8
4	06-06-96	28,350	9,482	9,8	1,8	74	29	145	760	64	1793	5,4	0,05	0,00	0,003	7,5
	03-06-96	15,750	9,827	9,4	1,0	83	41	146	913	72	1526	4,3	0,06	0,01	0,006	8,1
	04-11-96	28,980	9,310	11,8	1,4	93	34	164	909	75	1289	3,7	0,11	0,01	0,004	7,2
	07-04-97	28,980	9,654	7,6	0,9	84	34	134	656	56	3107	5,3	0,09	0,01	0,020	7,7
	09-10-97	29,610	9,482	11,7	1,1	94	33	172	768	69	1793	4,7	0,08	0,00	0,003	7,6
	15-04-98	30,870	9,482	9,1	0,9	88	34	141	678	69	1371	3,8	0,06	0,00	0,005	4,3
	08-04-00	24,570	11,0	5,4	0,6	83	46	136	773	74		1,8	0,06	0,00	0,000	4,5
	Gem	27	10	9,3	1,1	86	36	148	780	68	1813	4,1	0,07	0,00	0,006	6,7
5	06-06-96	12,600	3,965	6,2	1,2	49	26	86	582	44	1967	6,1	0,06	0,00	0,005	3,7
	07-04-97	23,940	7,241	7,6	0,8	74	32	126	644	54	3591	2,1	0,09	0,01	0,019	5,8
	09-10-97	10,080	3,793	7,7	0,6	80	44	116	815	58	1503	2,6	0,09	0,00	0,011	4,7
	15-04-98	17,010	6,206	6,9	0,8	71	32	100	584	50	1080	3,1	0,10	0,00	0,014	2,5
	08-04-99	22,050	7,241	8,2	0,6	70	27	103	606	51	1022	2,5	0,12	0,00	0,004	4,0
	08-04-00	26,460	10,0	5,7	0,5	83	45	134	768	70		1,6	0,06	0,00	0,003	3,9
	Gem	19	6	7,1	0,8	71	34	111	666	55	1832	3,0	0,09	0,00	0,009	4,1
Gemiddelde totaal				7,6	0,9	75	36	120	697	60	1882	3,6	0,09	0,00	0,009	5,2
Waterbodem opb SPM				8,6	1,1	71	31	149	705	60	1257	3,8	0,09	0,00	0,007	7,6
Toplaag voor sanering				10,5	0,8	97	43	162	1124	78	1321		0,15		0,005	9,8
Diepere laag voor sanering				26,6	3,9	141	50	355	1996	137	3000		0,46	0,19	0,019	21,8
Gemiddelde Keizersveer				8,1	0,6	71	33	133	691	62			0,18		0,023	7,2

blauw klasse 3

groen klasse 4

onbetrouwbare metingen

Beschrijving kwaliteit recent sediment na de sanering

Het recent afgezette sediment in de zandvakken is qua textuur behoorlijk verschillend tussen de zandvakken (tabel 5.1). Het sediment in de zandvakken 3 en 4 heeft een relatief constante textuur gedurende de jaren na de sanering (relatief fijnkorrelig en organisch stof rijk), terwijl de samenstelling in de zandvakken 1, 2 en 5 vooral qua organisch stofgehalte varieert. De forse toename in organisch stofgehalte in het voorjaar (van 2-4 % naar 6-8 % organisch stof) is mogelijk een gevolg van het optreden van algenbloei in het relatief stagnante Spijkerboor. De cijfers van de zandvakken 1, 2 en 5 laten verder zien dat het hier bemonsterde slib veel zand bevatte: het percentage deeltjes groter dan 210 µm bereikte waarden tot 63%. Dat is verklaarbaar indien, door afwisseling van sedimentatie en resuspensie, vermenging van sedimenterend slib met het eerder aangebrachte zand optreedt. Het feit dat de dikte van de sliblaag in deze (relatief ondiep liggende) zandvakken niet gestaag toenam maar schommelde tussen 0 en 10 cm (figuur 5.3) wijst hierop. Ook de activiteit van organismen kan de oorzaak van de vermenging zijn. De deeltjesgrootte in de zandvakken 3 en 4 wijst steeds op zand-arme monsters; de fractie deeltjes groter dan 210 µm is nooit meer dan 9%. De diepe ligging van deze zandvakken en de relatief snelle sedimentatie (binnen een jaar meer dan 20 cm) geven inderdaad weinig mogelijkheid tot vermenging van slib met het aangebrachte zand.

Hoewel de textuur verschillend is per locatie, heeft dit verrassend weinig effect op de genormeerde gehalten aan verontreinigingen. Gemiddeld genomen (over de periode 1996-2000) zijn de genormeerde gehalten aan verontreinigingen vrijwel gelijk in alle vijf de zandvakken. Dit geldt dus ook voor de gebaggerde zandvakken (1, 2 en 3) ten opzichte van de niet gebaggerde zandvakken (4 en 5). Opvallend is bovendien dat, vanaf de sanering, in de tijd geen verbetering van de kwaliteit van recent afgezet sediment wordt waargenomen.

Wanneer de verontreinigingsgraad van het sediment in de sedimentvallen wordt vergeleken met de toplaag van de waterbodem van voor de sanering, valt wel een duidelijke verbetering van de kwaliteit te zien (opmerking: de onbetrouwbare metaalanalyses in zandvak 3, bemonstering op 6 juni 1996 zijn niet meegenomen; waarschijnlijk een verdunningsfout).

Het recent afgezette sediment wordt geclassificeerd als klasse 3 op basis van cadmium (gemiddelde gehalte over periode 1996-2000). Individuele monsters overschrijden daarnaast nog wel af en toe de interventiewaarde (voor zink) of de toetsingswaarde (voor kwik, koper, nikkel, minerale olie, PCB's en HCB). De grootste verbetering wordt waargenomen voor zink (gemiddeld 1.124 mg/kg Zn in de toplaag voor sanering tegen 697 mg/kg Zn in het recent afgezette sediment). Andere verontreinigingen laten een minder uitgesproken (of geen) verbetering zien. Eén en ander hangt samen met de mate van sedimentatie in het Spijkerboor en de verbetering van de kwaliteit van het aangevoerde sediment.

Herkomst recent sediment in Spijkerboor

Een vergelijking tussen de samenstelling van het zwevend stof in het Spijkerboor en het recente sediment in de zandvakken laat zien dat deze vrijwel vergelijkbaar is (na normalisatie). Bovendien wordt geconcludeerd dat de samenstelling van het sediment in de sedimentvallen bij Keizersveer zeer goed overeenkomt met dat in het Spijkerboor (met name voor metalen). Dit wijst erop dat opwerveling van oud verontreinigd sediment in het Spijkerboor vrijwel niet (of slechts in beperkte mate) bijdraagt aan de samenstelling van het zwevend stof en daarmee aan de bodemontwikkeling in het Spijkerboor.

Als dit laatste wel het geval zou zijn, zou dat zeker te zien moeten zijn aan gehalten aan zink die nog relatief hoog zijn in de toplaag van de waterbodem van voor de sanering. De verontreinigingsgraad van het bodemsediment in het Spijkerboor lijkt hiermee met name door het met de Maas aangevoerde zwevend stof bepaald te worden.

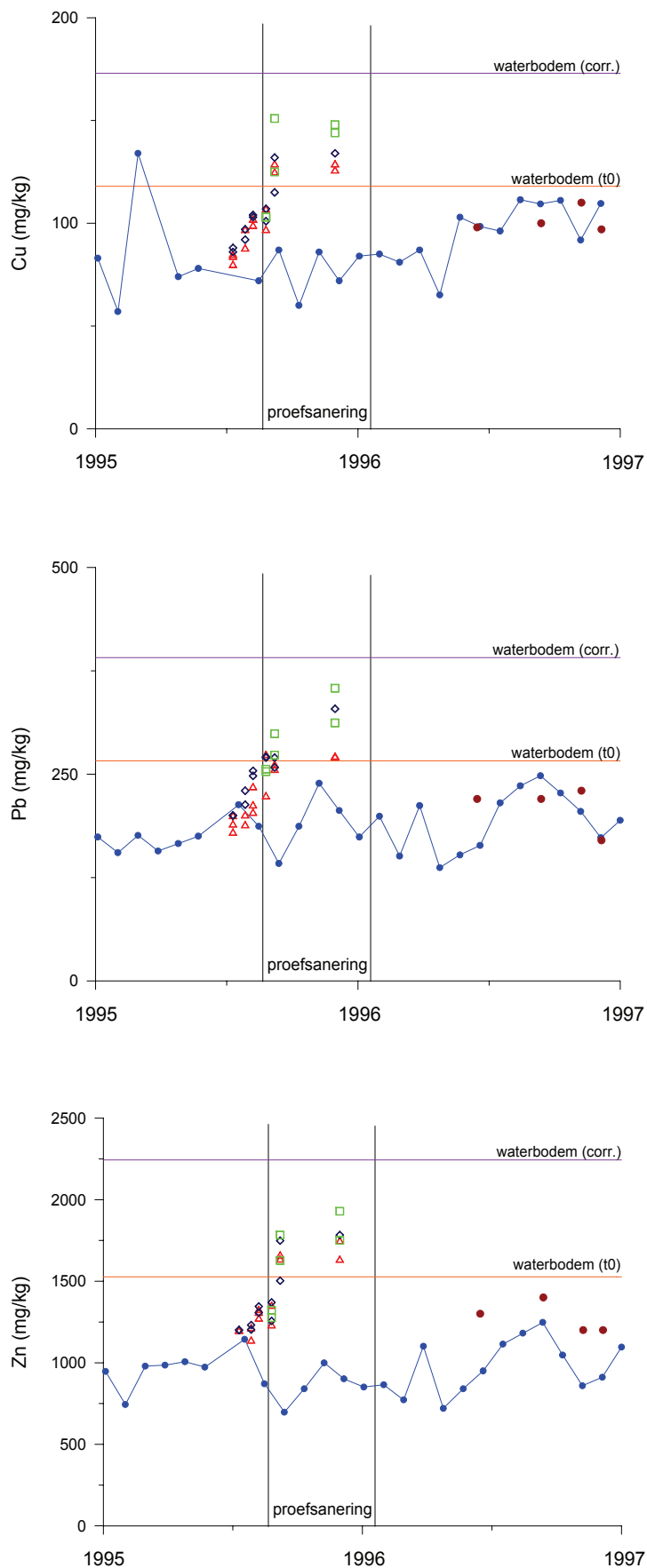
Dit wordt mede ondersteund door metingen die door het RIZA voor, tijdens en net na de feitelijke sanering in het Spijkerboor zijn uitgevoerd. Ten tijde van de saneringswerkzaamheden werd een forse verhoging van het zwevend stof in het Spijkerboor geconstateerd. Deze verhoging in concentratie kan gerelateerd worden aan een effectief verlies van slechts enkele procenten slib tijdens die tijdens het baggeren optreedt (mors). Door bijmenging van het sterk verontreinigde baggerslib werd een verhoging in gehalten aan zware metalen in het zwevend stof geconstateerd (figuur 5.10).

Na de sanering daalden de gehalten in het zwevend stof vrij snel naar (achtergrond-) waarden die vergelijkbaar waren met gehalten die voor het Maaswater bij Keizersveer gemeten worden (figuur 5.10).

De tijdelijke toename in gehalten aan zware metalen in het zwevend stof, ten gevolge van het baggeren, had geen meetbare effecten op opgeloste concentraties in het oppervlaktewater (Van den Berg *et al.*, 2001).

De metingen tonen aan dat alleen tijdens de saneringswerkzaamheden bijmenging van oud verontreinigd sediment in het Spijkerboor gevonden kan worden. Na de sanering is het effect verdwenen.

Figuur 4.10 Gehalten aan Zn, Cd, Cu en Pb in zwevend stof in het Spijkerboor voor, tijdens en na afloop van de proefsanering (Δ locatie A; ◇ locatie C; □ locatie E; ● locatie Noord, na sanering en gehalten zwevend stof Maas —●—).



De gehalten aan OMIVE's bij Keizersveer wijken wel fors af (liggen veel hoger dan die in het Spijkerboor, tabel 5.2). De reden hiervoor is niet bekend, met name niet als wordt bedacht dat de verontreinigingsgraad van het recent afgezette sediment bij Keizersveer (voor OMIVE's) ook fors afwijkt van het in het kader van reguliere monitoring bij Keizersveer bemonsterde zwevend stof (dat op zijn beurt wel sterk lijkt op het recente sediment in het Spijkerboor).

Tabel 4.2 Fysisch-chemische analyse van sedimentval bij Keizersveer.

	datum	Cd c	Cr c	Cu c	Hg c	Ni c	Pb c	Zn c	PAK c	PCB 7 c	HCb c
Keizersveer	19-2-97	8,1	63	80	0,8	36	122	723	9,4	0,19	0,011
	8-4-97	6,5	58	67	0,6	35	113	637	8,9	0,17	0,033
	20-6-97	7,9	58	59	0,7	33	130	664	5,8	0,21	0,070
	5-9-97	8,9	56	63	0,7	29	133	665	6,9	0,23	0,026
	15-12-97	7,0	64	58	0,7	31	141	610	5,6	0,19	0,011
	26-2-98	9,1	60	84	0,6	33	137	720	6,8	0,17	0,012
	17-4-98	8,3	61	85	0,5	36	139	759	7,8	0,11	0,009
	23-4-98	8,9	72	70	0,7	35	152	754	6,2	0,17	0,014
gemiddelde		8,1	62	71	0,7	33	133	691	7,2	0,18	0,023
gemiddelde SPM 98/99		6,9	67	87	0,6	35	151	663	5,6	0,09	0,007

blauw klasse
3
groen klasse
4

4.2 Kwaliteit waterbodembodem Nieuwe Merwede

Beschrijving kwaliteit waterbodembodem Nieuwe Merwede voor de proefsanering

De resultaten in tabel 5.3 geven aan dat de waterbodembodem in 1995, voor de sanering, in de Nieuwe Merwede zeer heterogeen is qua samenstelling. De monsterlocaties NM1, NM2 en NM3 bevatten voor de sanering ten opzichte van de andere locaties relatief grofkorreliger materiaal dat minder organisch stof bevat.

Tabel 4.3 Sedimentsamenstelling in de vakken voor de sanering.

locatie	datum	KGv2	KGv16	KGv63	KGv210	Org. C	CaCo ₃
NM		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	1995	4,7	6,3	10	65	4,7	10
2	1995	3,9	5,4	7,1	58	5,1	8,6
3	1995	6	8,8	14	65	7	10
7	1995	13,5	22	57	73	11,6	13
9	1995	10	17	32	70	8	12
10	1995	13	26	48	71	17	13

Dit resulteert tevens in lagere gehalten aan verontreinigingen (tabel 5.4).

Tabel 4.4 Resultaten van fysisch-chemische analyse van locaties 1 t/m 11 in de Nieuwe Merwede.

Lokatie	Datum	% Lutum	org stof	Cd c	Hg c	Cu c	Ni c	Pb c	Zn c	Cr c	Min. olie c	EOCL c	PCB 7 som c	HCB c	10PAK c
1	01-11-95	4	8,10	6,56	2,52	105,20	62,64	109,55	907,36	241,64	172,78	2,72	0,24	419,61	10,84
	01-11-96	9	7,24	4,32	2,59	94,98	43,19	118,53	784,65	174,17	718,15	4,01	0,16	9,94	19,87
	01-04-97	6	7,59	2,36	1,18	68,90	44,49	69,81	516,69	117,14	1226,01	3,56	0,09	145,01	20,79
	12-05-98	15	16,38	2,31	1,41	67,97	40,41	79,27	478,62	110,92	170,96	2,44	0,04	6,72	10,01
	01-04-99	8	6,90	2,36	1,03	53,22	39,86	63,30	472,15	104,42	143,56	2,76	0,08	-1,45	9,74
	03-08-00	8	3,20	3,17	1,55	122,87	95,35	100,53	944,21	181,58	0,00	7,92	0,84	852,83	71,21
2	01-11-95	3	8,79	5,16	1,87	72,59	65,29	82,00	801,15	246,46	113,73	2,73	0,28	15,92	20,13
	01-11-96	4	3,79	1,85	0,14	45,70	29,93	54,39	433,72	70,61	369,12	1,90	0,09	13,71	12,71
	01-04-97	6	8,96	2,61	1,21	116,23	81,60	112,01	714,05	103,83	2342,50	4,24	0,07	10,82	7,65
	12-05-98	30	8,96	2,66	1,15	73,61	34,46	93,09	468,88	69,58	33,46	4,13	0,09	11,15	5,93
	01-04-99	33	9,14	2,77	1,11	61,89	32,74	72,15	362,99	66,66	558,16	2,52	-0,01	-1,09	4,13
3	01-11-95	6	12,07	5,67	2,40	98,56	67,55	100,57	826,11	245,55	157,44	3,07	0,23	25,69	11,87
	01-11-96	2	1,72	-0,87	0,43	23,12	26,34	28,57	289,32	46,59	522,04	1,22	0,11	24,94	7,42
	01-04-97	6	3,97	1,65	0,91	46,52	30,90	52,57	380,82	63,19	2421,06	2,19	0,10	35,31	8,35
	12-05-98	2	-0,86	-0,79	0,25	18,59	20,15	-21,47	221,18	-27,44	116,01	-4,18	-0,15	-45,24	-12,88
	01-04-99	8	4,31	1,58	0,65	43,20	38,48	48,96	345,53	60,26	120,65	2,25	0,08	12,53	5,34
7	01-11-95	15	20,00	8,48	4,76	137,23	66,18	174,76	837,60	286,64	345,03	3,68	0,24	850,07	9,57
	01-11-96	2	1,72	1,05	0,58	23,32	25,70	28,71	293,14	43,27	638,05	1,39	0,11	11,60	7,02
	01-04-97	8	3,62	1,91	0,92	53,79	34,63	60,51	420,00	69,30	2182,08	3,04	0,12	9,39	21,74
	12-05-98	14	7,76	2,97	1,51	69,50	36,67	86,64	528,98	104,22	232,02	4,00	0,08	9,67	12,63
	01-04-99	19	7,07	2,54	1,42	61,21	36,33	70,49	417,72	78,59	124,50	3,11	0,54	-1,41	7,70
9	01-11-95	11	13,79	15,40	6,97	218,17	84,50	251,00	1130,15	434,05	594,55	7,18	0,40	290,02	10,19
	12-05-98	3	6,21	5,97	1,91	83,98	58,84	93,18	918,76	231,42	41,89	3,54	0,16	33,84	16,21
	01-04-99	5	5,86	3,92	1,59	78,00	45,78	75,06	674,98	214,58	145,01	2,22	0,48	-1,71	8,94
10	01-11-95	16	29,31	13,89	9,88	220,69	79,61	293,14	968,54	447,08	716,53	5,12	0,56	21,15	9,01
	12-05-98	4	8,79	4,08	1,97	81,67	51,01	83,38	732,81	187,01	110,32	3,87	0,78	136,48	15,50
	01-04-99	6	6,55	2,85	1,31	72,42	55,62	77,79	617,97	162,69	87,01	3,66	0,11	87,01	7,95
11	12-05-98	4	6,90	6,30	2,94	100,03	59,60	111,49	1156,56	292,15	142,11	4,35	0,58	275,52	16,02
	01-04-99	4	-0,86	4,41	1,24	68,46	50,34	67,30	764,58	153,95	116,01	-22,04	-0,37	11,60	-39,56

De gegevens in tabel 5.4 tonen een sterke correlatie tussen gehalten aan PAK's en HCB en gehalten aan organisch stof. Hoewel verwacht kan worden uit de adsorberende eigenschappen, is een dergelijke correlatie niet duidelijk voor PCB's. Mogelijk kan dit worden verklaard door preferente binding van PCB's aan organisch stof in bepaalde korrelgroottefracties. Gehalten aan metalen worden zowel door korrelgrootte als door organisch stof gereguleerd. Voor alle locaties geldt dat in de waterbodem, voor de sanering, hoge verontreinigingen voorkomen. In figuur 5.11 staan voor een drietal zware metalen (Zn, Cu en Pb) de verontreiniging in zwevend stof in de Rijn voor de laatste 20 jaar. Daarin valt af te lezen dat sinds 1985 een substantiële verbetering is opgetreden. Men mag derhalve aannemen dat de bemonsterde laag in de Nieuwe Merwede sterk onder invloed staat van sediment dat in de jaren 80 is afgezet.

Beschrijving kwaliteit recent sediment na de sanering

Als gevolg van de locatie van de monsterpunten in het kribvak is na de proef-sanering een verloop in korrelgrootte van de waterbodem zichtbaar (tabel 5.5).

Tabel 4.5 Ontwikkeling van de sedimentsamenstelling in de verschillende kribvakken na de sanering.

locatie NM	datum	KGV2 [%]	KGV16 [%]	KGV63 [%]	KGV210 [%]	Org. C [%]	CaCO ₃ [%]
1	1996	9,2	15	27	50	4,2	8,4
	1997	5,6	9,1	17	65	4,4	7,7
	1998	16	24	46	66	9,5	11
	1999	8	12	22	75	4	8,2
	2000	7,5	12	27	67	0	9
2	1996	4,1	6,4	14	19	2,2	4,1
	1997	33	40	74	79	5,2	9,1
	1998	30	47	72	75	5,2	12
	1999	32	52	73	76	5,3	10
3	1996	2	2,9	4,5	7,5	1	1,3
	1997	5,4	9,3	20	26	2,3	3,9
	1998	3,1	3,7	7,5	11	-	2,1
	1999	7,7	13	25	30	2,5	4,2
7	1996	2	2,5	6,8	9,7	1	1,4
	1997	7,1	13	22	27	2,1	3,2
	1998	13	22	45	54	4,5	9
	1999	18	30	46	55	4,1	7,5
9	1998	4,9	4,9	20	81	3,6	9,8
	1999	5,1	8,4	25	74	3,4	8,8
10	1998	5,7	7	24	81	5,1	11
	1999	6,1	9,1	16	76	3,8	9,5
11	1998	4,9	6,5	19	79	4	11
	1999	4,6	6,2	13	58	-	8,3

Vooraf voor de punten 2 en 7 treedt een toename in deeltjes kleiner dan 2 µm op. Uit een morfologische studie die voor de Nieuwe Merwede is uitgevoerd (Van Ledden, 1998) blijkt dat direct achter de beschutte delen van de kribben slibrijker materiaal wordt gevonden. Ook blijkt dat bij een toename in de afstand tot de stroomvoerende geul het zandgehalte afneemt. Doordat voor de bemonsteringspunten zowel de afstand ten opzichte van de kribben als de afstand ten opzichte van de stroomvoerende geul variëren, lopen beide mechanismen door elkaar heen. Het is daardoor niet mogelijk gebleken om met het huidige uitgevoerde monitoringsprogramma de opslibbingsnelheid in het gesaneerde kribvak te bepalen. De variatie zowel in de tijd als in plaats bleek daarvoor veel te groot.

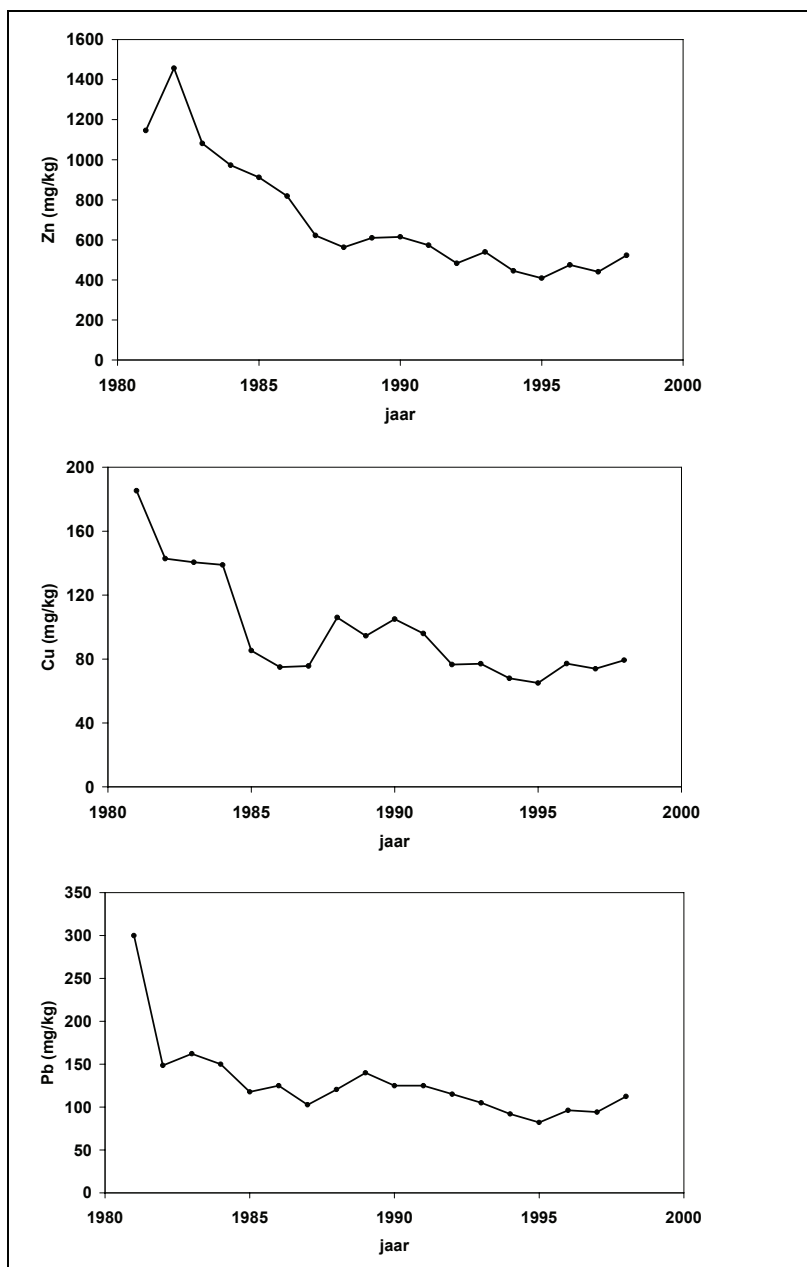
Na de sanering wordt in eerste instantie fijnkorrelig materiaal afgezet bij locatie NM1. Daarna wordt de top laag weer grofkorreliger. De relatief hoge gehalten aan PCB's en HCB die op deze locatie worden gevonden, wijzen op een bijmenging met opgewerveld sediment. In 1997 en 1998 blijven de verontreiniging van het sediment (na correctie) min of meer gelijk. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door sedimentatie van zand (zie afname fracties < 63 µm; tabel 5.5). Het monster uit 1997 is sterk verhoogd in HCB, wat mogelijk een artefact is. Opmerkelijk is de toename in concentratie zware metalen en HCB in het laatste jaar van de monitoring. Deze toename is op een aantal controlelocaties bij punt 1 aangetroffen. Mogelijk is erosie van de waterbodem opgetreden waarbij oude verontreinigde lagen (in de jaren '80, vergelijk met figuur 5.11 en 01-11-95 tabel 5.4) weer geëxposeerd kwamen te liggen.

Bij locatie NM2 wordt zeer fijnkorrelig organisch-rijk sediment afgezet in 1997 en 1998 (ongeveer 30% lutum). De samenstelling van het sediment gedurende deze twee perioden is identiek. Relatief lage gehalten aan PCB's wijzen op een preferente sedimentatie van zwevend stof en een verwaarloosbare bijmenging met opgewerveld sediment. Omdat een zeer sterke toename in lutumgehalte in kribvak 2 in 1997 en 1998 niet wordt gereflecteerd in gehalten aan zware metalen, zijn deze waarschijnlijk niet preferent geassocieerd met de lutumfractie in het sediment dat is afgezet in dit kribvak.

Na de sanering is bij NM3 geen enkele trend zichtbaar in de kwaliteitsontwikkeling van de waterbodem. Bij NM7 wordt gedurende de periode 1996-1998 fijnkorreliger sediment afgezet, wat resulteert in een toename in gehalten aan verontreinigingen. Op basis van gehalten aan PCB's kan ook voor deze beide meetlocaties worden geconcludeerd dat geen significante bijmenging met opgewerveld sediment plaatsvindt.

In eerste instantie is de kwaliteit van het sediment in de gesaneerde kribvakken duidelijk verbeterd als gevolg van de proefsanering, met name met betrekking tot PCB's en HCB, en in mindere mate met betrekking tot PAK's, EOX en zware metalen. De kwaliteit van het sediment dat is afgezet na de sanering wordt voornamelijk bepaald door de kwaliteit van het zwevend stof dat door de Rijn wordt aangevoerd (vergelijk met figuur 5.11). De niet gesaneerde vakken blijven hogere waarden voor met name zware metalen houden. Afdekking met recent schoner sediment vindt blijkbaar moeilijk en op langzame basis plaats. Vanwege de relatief hoge dynamiek van het water (bij hoge afvoeren komen stroomsnelheden tot boven de 1 m/s voor) is de kans op erosie van recent afgezette sliblagen ook tussen de kribvakken aanwezig.

.....
Figuur 4.11 Metaalconcentraties in
Rijnsediment (gemeten bij
Lobith) in de periode van
1981 tot 1997.



5 Conclusies

Tussen de drie sedimentvallen (Keizersveer, Spijkerboor-zuid en Spijkerboor-noord) worden verschillen in totale hoeveelheid ingevangen sediment gevonden. Bij Keizersveer worden de hoogste waarden gevonden. Keizersveer ligt aan de Amer waar in vergelijking met het Spijkerboor gemiddeld hogere concentraties zwevend stof voorkomen en waar het water harder stroomt. Dit betekent dat bij Keizersveer per tijdseenheid meer sediment getransporteerd wordt waardoor logischerwijs, de val meer sediment zal invangen. In het Spijkerboor wordt bij paal Zuid meer sediment ingevangen dan bij paal Noord. Dit lijkt erop te duiden dat zwevend stof vanuit de aantakking met de Amer het Spijkerboor in getransporteerd wordt.

De ISAC- en boxcorermetingen geven eenzelfde beeld van de bodemontwikkeling op de zandvakken in het Spijkerboor. Er bestaat een verschil in grootte aan sedimentatie welke overeenkomt met een verschil van de diepteligging van de betreffende zandvakken. Op de zandvakken in de diepe geul (zandvak 3 en 4) heeft zich in de periode na de sanering het meeste slib (tot zo'n 40 cm) afgezet. In de oeverzone en in het ondiepe deel van het Spijkerboor (zandvakken 1, 2 en 5) is sprake van een geringere sedimentafzetting (5 tot 15 cm). De dikte van de aanslibbing die op de zandvakken is gevonden valt binnen de ranges van verondieping die op basis van de GIS-verschilkaart van het noordelijk Spijkerboor gemeten wordt. In de diepe geul werd door de GIS-verschilkaart een gesedimenteerde laag van boven de 70 cm aangetoond. In het relatief diepe deel van de oeverzone werd gemiddeld zo'n 20 tot 40 cm slib afgezet, terwijl in het ondiepe deel van het Spijkerboor niet meer dan 15 cm werd afgezet. Zowel de resultaten van de lodingen als de meetresultaten van de boxcorer bevestigen de hypothese dat in het gehele Spijkerboor netto sedimentatie optreedt. Blijkbaar zijn de ondiepe delen van het spijkerboor (ondieper dan 2 m) gevoelig voor verstoring door wind- of scheepsgolven waarbij sediment minder gemakkelijk tot bezinking kan komen of recent afgezet sediment makkelijk kan eroderen.

Uit bestudering van de jaarlijks opeenvolgende lodingskaarten blijkt verder dat in perioden met relatief hoge Maasafvoeren ook een hoge sedimentatie in het Spijkerboor wordt gevonden. Zowel uit de verschillen die tussen de drie sedimentvallen werden gevonden, als uit de aanslibbingsdikten kan geconcludeerd worden dat het sedimenttransport in het Spijkerboor sterk onder invloed van de Maas staat.

Dit wordt bevestigd door de troebelheidsmeting tijdens een hoge Maasafvoer. Hierbij werden op de Amer en in het Spijkerboor forse verhogingen in de troebelheid gemeten.

Uit de scheepvaartproef kunnen geen conclusies getrokken worden in welke mate scheepspassages door het Spijkerboor kunnen bijdragen aan interne verspreiding van slib en daaraan geadsorbeerde verontreinigingen. De luchtfoto's (figuur 5.9) tonen aan dat het ongewervelde materiaal tot een smal spoor achter het schip beperkt blijft. Mogelijk blijft hierdoor de invloed van resuspensie en sedimentatie van (oud) intern sediment tot een relatief smalle strook beperkt.

Tijdens de feitelijke sanering werd, als gevolg van het optreden van mors, een verhoging van de concentratie zwevend stof en de daaraan geadsorbeerde verontreinigingen gemeten. Echter, al vrij snel na de uitvoering lagen deze weer op de oude achtergrondwaarden. Geconcludeerd wordt dat er enige verspreiding van verontreinigd sediment is opgetreden. Deze is echter achteraf niet meer te bepalen en zal beperkt in omvang zijn geweest.

De grotere aanslibbingssnelheden in de geul hadden tot gevolg dat de gesaneerde waterbodem in het Spijkerboor eerder dan verwacht afgedekt zal zijn met een nieuwe sliblaag, welke bepalend was voor het saneringseffect. Door de hoge sedimentatiesnelheid die in het gehele Spijkerboor werd gevonden, werd bij de niet gesaneerde vakken al vrij snel eenzelfde bodemkwaliteit gevonden. De kwaliteit van het slib, dat zich gedurende de monitoringsperiode op de zandvakken heeft afgezet, bleek over het algemeen klasse 3 te zijn. Incidenteel is klasse 2 en klasse 4 aangetroffen. Deze afwijkende classificaties hangen samen met opvallend lage gehalten van verontreinigingen, een sterk verlaagd lutumgehalte en/of een verhoogd organisch stof- en lutumgehalte.

Volgens de metingen van de troebelheid en de bruto sedimentatie zou het zwevend stof in het Spijkerboor afkomstig kunnen zijn uit de Amer. Deze aanname kan verder onderbouwd worden door de kwaliteit van het zwevend stof in het Spijkerboor te vergelijken met de kwaliteit van het zwevend stof bij Keizersveer, gelegen in de Bergsche Maas. De chemische kwaliteit van het zwevend stof in het Spijkerboor valt over het algemeen binnen de range van jaargemiddelden van het zwevend stof bij Keizersveer en is daarmee zeer waarschijnlijk uit de Amer afkomstig.

Uitgaande van bovenstaande bevindingen kan gesteld worden dat het gehele Spijkerboor onder invloed staat van de aanvoer van Maasslib via de Amer. Gezien de ontwikkeling van de waterbodem- en zwevend stofkwaliteit gedurende de monitoringsperiode, wordt verwacht dat de kwaliteit van waterbodem en zwevend stof de komende jaren klasse 3 zal blijven, mits de kwaliteit van het Maasslib zich zal verbeteren. De invloed van lokaal opgewerveld slib uit het ongesaneerde deel lijkt beperkt te zijn en is nauwelijks terug te vinden. Op basis van de lodingen, de boxcorer en de fysisch-chemische analyses is aangetoond dat het 'oude', sterker verontreinigde, Maasslib in het gehele Spijkerboor reeds afgedekt is met nieuw (schoner) slib.

In vergelijking met de niet gesaneerde delen in de Nieuwe Merwede heeft een duidelijke verbetering van de bodemkwaliteit na sanering voorgedaan. Niet op alle gesaneerde locaties is deze verbetering gebleven. Op de locatie die het dichtst bij de as van de rivier is gelegen heeft zich aan het eind van de monitoringsperiode een verslechtering van de bodemkwaliteit voorgedaan. De Nieuwe Merwede is, in vergelijking met het Spijkerboor, veel minder een sedimentatiegebied. De bodem staat sterk onder invloed van het hydraulische milieu. Tijdens hoge afvoeren kan daardoor erosie in sommige delen van de kribvakken ontstaan, waarbij oude verontreinigde lagen weer boven komen te liggen. De monitoringsresultaten laten verder zien dat bij de niet gesaneerde kribvakken een lichte verbetering van de bodemkwaliteit gevonden kan worden. Deze verbetering komt overeen met de algemene verbetering van het Rijnsediment. De afdekking gaat echter zeer langzaam, voornamelijk als gevolg van het hydraulische milieu op de Nieuwe Merwede (relatief sterke stroming = slechte omstandigheden voor slibsedimentatie).

Algemeen kan gesteld worden dat het wel of niet saneren van watersystemen van een aantal zaken afhangt. In een sedimentatief milieu (Spijkerboor) hoeft sanering niet altijd noodzakelijk te zijn. Afdekken door nieuw aangevoerd sediment is een optie. In een systeem waar sterke wisselingen in het hydraulische milieu voorkomen is natuurlijk afdekken een veel te lang proces. Sanering van verontreinigde waterbodem is hier een reëlere optie. Belangrijk is echter dat de sanering tot voldoende diepte wordt uitgevoerd omdat erosie een veelvoorkomend verschijnsel is waarbij de oude, niet gesaneerde, lagen weer boven komen.

Literatuur

.....

Berg, G.A. van den, G.A. Meijers, L.M. van der Heijdt and J.J.G. Zwolsman, 2001. Dredging-related mobilisation of trace metals: a case study in The Netherlands. *Wat. Res.* 35 (8), 1979-1986.

Berg, G.A. van den, S.E.J. Buykx, M.A.G.T. van den Hoop, L.M. van der Heijdt en J.J.G. Zwolsman, 2001. Vertical profiles of trace metals and acid-volatile sulphide in a dynamic sedimentary environment: Lake Ketel, The Netherlands. *Applied Geochemistry* 16, 781-791.

Fioole, A., 1992. Relatie zwevend stof-afvoer in de Maas bij Eijsden, in de Rijn bij Lobith. RIZA-werkdocument 91.199X.

Fioole, A. en B. Steenkamp. Effect hoge afvoeren op de bodemontwikkeling van de Nieuwe Merwede. RIZA-werkdocument 2000.200X.

Houwing, E.J., 1998. Erosie van de waterbodem door scheepvaartbewegingen in de Hollandsche IJssel. RIZA werkdocument 98.101X.

Kaa E.J. van de, L.J. Kappe en M.G. de Rijk, 1992. Integraal waterbeheer Ketelmeer; erosie ten gevolge van scheepvaart vervolgonderzoek. RWS, directie Flevoland.

Kappe, B., P. van Koningsbruggen en L. Voogt, 1989. Integraal waterbeheer Ketelmeer; erosie van slib ten gevolge van scheepvaart. RWS, directie Flevoland.

Ledden, M. van en E.J. Houwing. Modelleren van de morfologische ontwikkeling Nieuwe Merwede; 2 DH-modellering en LHEC gebruikt voor segregatie zand-slib. RIZA-werkdocument 99.029X.

RWS, 1995. Sanering Spijkerboor, proefproject. Dir. Zuid-Holland, Bouwdienst, RIZA, nota NAOZ WP.R. 95001.400.

Velden, J.A. van der en S.M. Wiersma, 1996. De macrozoöbenthos in het benedenstroomse deel van de Lek. RIZA-werkdocument 95.122X.

Wiersma, S.M., 1993. Een macrofauna-onderzoek naar mogelijke proef-saneringslocaties (B, E en H) in de Brabantse Biesbosch, RIZA werkdocument 93.136X.

Wit, P.J. de, 1997. Waterbeweging door scheepvaart en de invloed op de erosie van slib in het Spijkerboor. RIZA werkdocument 95.168X.
