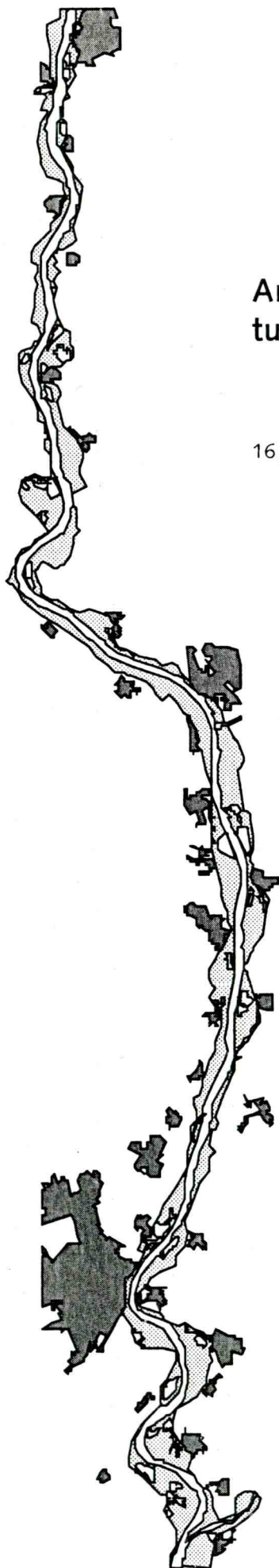


Analyse van storten van gebaggerd materiaal tussen de bodemkribben van Erlecom

16 januari 2002



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Directie Oost-Nederland

COLOFON

Documenttitel	:	Analyse van storten van gebaggerd materiaal tussen de bodemkribben van Erlecom
Auteur	:	Drs. M.S. Groen
Archiefnummer	:	
Versie	:	Definitief
Datum	:	16 januari 2002
Project	:	Waalprogramma
Deelproject	:	Monitoring Baggeren Waal
Verantwoordelijke Instantie	:	Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland
Uitvoerende instantie	:	
Projectleider	:	Ir. R. Smedes
Deelprojectleider	:	
Inhoudelijke toetsing		
1.	:	
paraaf, datum	:	
2.	:	
paraaf, datum	:	
Toetsing deelprojectleider	:	
paraaf, datum	:	

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Probleemstelling	5
1.3	Doelstelling	6
1.4	Opbouw	6
2	Beschrijving proef	7
2.1	Onderzoeksgebied	7
2.2	Beschrijving proef en monitoring onderzoeksgebied	7
3	Verkenning gegevens	8
3.1	Peilgegevens	8
3.2	Basisgegevens	8
3.3	Stortgegevens	10
3.4	Afvoergegevens	11
3.5	Betrouwbaarheid	11
4	Analyseresultaten	12
4.1	Herstel van de waterbodem na het storten	12
4.1.1	<i>Verloop van het herstel op de stortlocatie</i>	<i>12</i>
4.1.2	<i>Herstel van het gehele gebied na enkele weken</i>	<i>15</i>
4.2	Verblijfsduur op stortlocatie	16
4.3	Verplaatsingssnelheid	19
5	Conclusies	20
6	Referenties	21

Bijlagen:

Bijlage I Stortgegevens	22
Bijlage II Basisgegevens	25
Bijlage III Volumeveranderingen	26
Bijlage IV Figuren	29

.....
Figuren:

Figuur 1. Onderzoeksgebied.....	7
Figuur 2. Spreiding van de peildagen.....	7
Figuur 3. Polygonen over de bodemkribben.	9
Figuur 4. Polygonen over de ruimtes tussen de bodemkribben.....	9
Figuur 5. Verschilkaart tussen twee peilingen.	10
Figuur 6. Ligging van de profiellijnen A-A' (zwart), B-B' (zwart) en C-C' (rood)...	12
Figuur 7. Lengteprofiel over profiellijn A-A' van bodemkrib 3 en 4.....	13
Figuur 8. Lengteprofiel over profiellijn A-A' van bodemkrib 3 en 4.....	13
Figuur 9. Lengteprofiel over profiellijn B-B' van bodemkrib 5 en 6.....	14
Figuur 10. Lengteprofiel over profiellijn B-B' van bodemkrib 5 en 6.....	14
Figuur 11. Profiel van gehele onderzoeksgebied over profiellijn C-C'.....	16
Figuur 12. Volume tov referentiepeiling in ruimte tussen krib 5 en 6 over gehele meetperiode.	17
Figuur 13. Volume tov referentiepeiling in ruimte tussen krib 2 en 3 over gehele meetperiode.	18
Figuur 14. Sediment volume binnen de bodemkribben in het onderzoeksgebied tov peiling 1.	18

.....
Tabellen:

Tabel 1. Peilgegevens.....	8
Tabel 2. Bepaling verplaatsingssnelheid.	19

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de nota Toekomstvisie Waal Hoofdtransportas [RWS, 1993] is besloten tot verruiming van de vaargeul van de Waal. Doel is een vaarweg te bewerkstelligen met een minimale breedte van 170 m en een diepte van 2,80 m bij Overeengekomen Lage rivierafvoer (OLR). Naast het aanbrengen van constructieve maatregelen, wordt deze vaarweg gerealiseerd door het uitvoeren van periodieke baggerwerkzaamheden. In dit kader is in 1997 het project Baggeren opgestart, met als doelstelling onder meer de ontwikkeling van een optimale baggerstrategie, resulterend in een draaiboek onderhoudsbaggerwerk, dat te zijner tijd zal worden overgedragen aan de beheerder van de vaargeul. Het draaiboek onderhoudsbaggerwerk zal dan gaan dienen als ondersteuning van de jaarlijks terugkerende baggerwerkzaamheden op de Waal.

Een onderdeel van de baggerwerkzaamheden bovenstrooms van Zaltbommel, bestaat uit het terugstorten van het gebaggerde bodemmateriaal op locaties buiten de vaarweg of in diepere gedeelten van de rivier. Het gebaggerde materiaal wordt dus niet onttrokken aan het systeem, om te voorkomen dat er in het zomerbed versterking van de autonome bodemdaling plaatsvindt. In de ontwikkeling van de baggerstrategie is het terugstorten van materiaal een onderbelicht onderdeel gebleven. Toch is het voor de optimalisatie van de baggerstrategie van belang meer te weten over het terugstorten in de rivier, om hier tijdens het plannen van baggerwerkzaamheden op in te spelen.

Voorliggend document bevat de resultaten van onderzoek dat is uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in de gevolgen van het terugstorten. Het onderzoek is uitgevoerd door D.O.O.R. Detachering BV in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland.

1.2 Probleemstelling

In het laagwaterseizoen, bij een afvoer bij Lobith van minder dan 3000 m³/s, worden baggerwerkzaamheden verricht op de Waal. In de bochten betreft dit vooral het aanbrengen van een geul in de binnenbocht, op de rechtere stukken het verwijderen van plaatselijke ondieptes. Na het baggeren wordt het materiaal teruggestort. Mogelijke locaties voor het terugstorten zijn [Klaassen & Sloff, 2000]:

- overdieptes in buitenbochten;
- ontgrondingskuilen benedenstrooms van de kribben;
- gedeeltes van binnenbochten buiten de vaargeul;
- kribvakken.

Het is wenselijk het gebaggerde materiaal te bergen op een locatie waar er geen problemen voor de scheepvaart zullen optreden. Tevens is het van belang dat het materiaal hier gedurende langere tijd blijft liggen, om zo lang mogelijk profijt van de uitgevoerde baggerwerkzaamheden te hebben. Daarom is het van belang te weten wat er zich, op zowel korte als lange termijn, in morfologisch opzicht afspeelt op de waterbodem van de stortlocatie en welke factoren hierbij een rol spelen.

1.3 Doelstelling

Om het vaarbaanbreedtetekort bij Erlecom te verminderen zijn in 1989 en 1990 54 bodemkribben aangebracht in de buitenbocht. De werking hiervan berust in beginsel op een verkleining van het dwarsprofiel, waardoor de binnenbocht gaat uitschuren. Gedurende de jaren dat het bodemkribbenveld er ligt heeft monitoring van de bocht plaatsgevonden. Uit analyses blijkt dat de vaarbaanbreedte ca. 20 m is toegenomen. Inmiddels lijkt morfologisch evenwicht bereikt [Taal, 1998].

In 2001 is een proef uitgevoerd waarbij gebaggerd materiaal is gestort tussen de bodemkribben, waarna met behulp van multibeamopnames gedurende enige tijd monitoring van de rivierbodem heeft plaatsgevonden. De doelstelling van deze proef, waarvan de resultaten in dit rapport beschreven staan, kan als volgt worden omschreven:

Het met behulp van multibeampeilingen vaststellen van de morfologische gevolgen van het storten van gebaggerd bodemmateriaal tussen de bodemkribben van Erlecom.

1.4 Opbouw

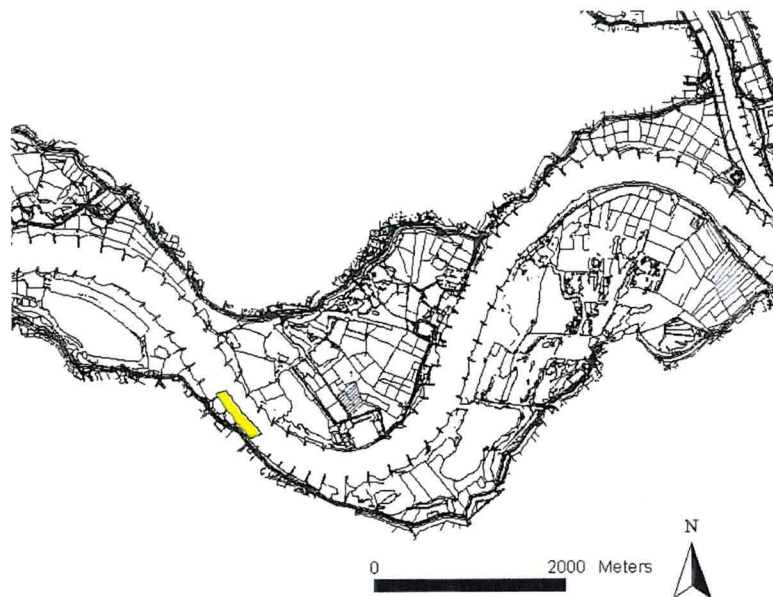
De opbouw van het rapport is als volgt: na de inleiding in hoofdstuk 1, worden in de hoofdstukken 2 en 3 respectievelijk de proef die is uitgevoerd en de dataset beschreven. In hoofdstuk 4 worden de analyses beschreven. In het afsluitende hoofdstuk worden aan de hand van de resultaten hiervan conclusies en aanbevelingen gedaan.

2 Beschrijving proef

2.1 Onderzoeksgebied

De bocht van Erlecom, waarin het onderzoeksgebied zich bevindt, is een van de scherpe bochten van de Waal die zich bovenstrooms van Nijmegen bevinden. In de buitenbocht bevindt zich hier tussen rivierkilometers 873.000 en 876.000 een bodemkribbenveld. Het onderzoeksgebied strekt zich uit aan het einde hiervan, tussen de rivierkilometers 875.150 en 875.750. De breedte van het onderzoeksgebied bedraagt ongeveer 110 m, vanaf het uiteinde van de kribben tot iets over de rivieras. Het oppervlak beslaat ongeveer 67960 m². Er bevinden zich 12 bodemkribben binnen het gebied. Het gebiedje staat in figuur 1 aangegeven met het gele polygoon.

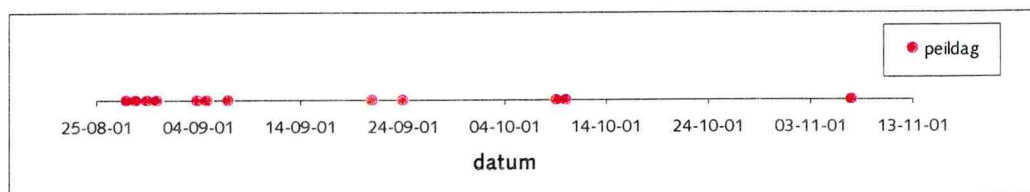
.....
Figuur 1. Onderzoeksgebied.



2.2 Beschrijving proef en monitoring onderzoeksgebied

In 2001 is in het onderzoeksgebied vanaf eind augustus een proef uitgevoerd, waarbij tot begin september gebaggerd materiaal is gestort tussen de bodemkribben. Tijdens en na het storten heeft monitoring van de rivierbodem plaatsgevonden, tot 7 november. In deze periode zijn 16 peilingen gemaakt op 12 verschillende dagen. In figuur 2 wordt de spreiding van deze dagen op een datum-as weergegeven.

.....
Figuur 2. Spreiding van de
peildagen.



3 Verkenning gegevens

3.1 Peilgegevens

In onderstaande tabel staan de beschikbare peilingen beschreven. Op 29-08 en 30-08 zijn er meerdere peilingen geweest, op de overige dagen is er één keer gepeild. Er blijkt dat achtereenvolgende peilingen op één dag niet veel toevoegen aan de dataset. De verschillen tussen de peilingen zijn zeer klein en vallen binnen de marge van de meetfout. Daarom is in het vervolg voor de dagen 29-08 en 30-08 gebruik gemaakt van de peilingen 0829-st1 en 0830-st1. De overige peilingen op deze dagen zijn niet gebruikt.

.....
Tabel 1. Peilgegevens.

Peiling nr.	Datum opname	Naam/code	Celgrootte [m]	Referentie	Opmerkingen
1	28-08-01	0828	1 x 1	NAP	Referentiepeiling
2	29-08-01	0829-st1	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
3	29-08-01	0829-st2	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
4	29-08-01	0829-st3	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
5	29-08-01	0829-st4	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
6	30-08-01	0830-st1	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
7	30-08-01	0830-st2	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
8	31-08-01	0831	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
9	04-09-01	0904	1 x 1	NAP	tijdens stortperiode
10	05-09-01	0905	1 x 1	NAP	
11	07-09-01	0907	1 x 1	NAP	
12	21-09-01	0921	1 x 1	NAP	
13	24-09-01	0924	1 x 1	NAP	
14	09-10-01	1009	1 x 1	NAP	
15	10-10-01	1010	1 x 1	NAP	
16	7-11-01	1107	1 x 1	NAP	

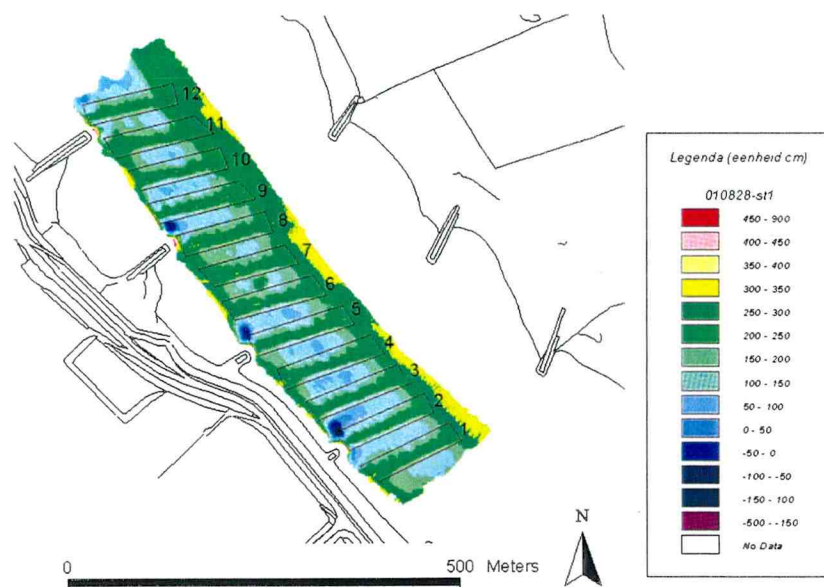
3.2 Basisgegevens

Met behulp van de peildata als grids in ArcView zijn een aantal volume- en oppervlakteberekeningen uitgevoerd. De allereerste peiling, peiling 0828, is gebruikt als referentievlak en het onderzoeksgebied is opgedeld in een aantal polygonen, die gedefinieerd zijn over zowel de 12 bodemkribben in het onderzoeksgebied (figuur 3), als de bodemkribvakken tussen de bodemkribben (figuur 4).

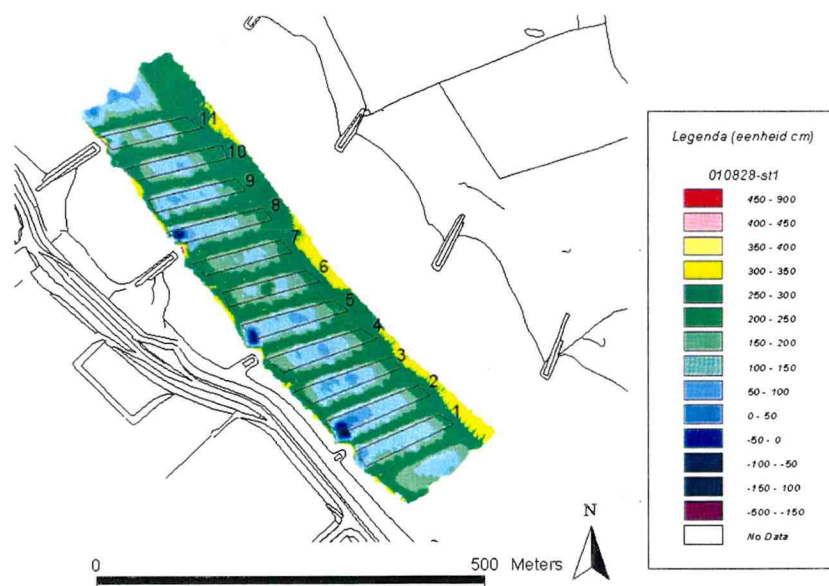
Voor elk van deze polygonen is voor alle gebruikte peilingen het oppervlak berekend en het volume ten opzichte van het referentievlak. In bijlage II staan de berekende gegevens weergegeven.

Omdat de polygonen en de peilingen allemaal 100% met elkaar overlappen, kunnen alle berekeningen voor de analyses in hoofdstuk 4 worden uitgevoerd rechtstreeks gebruikmakend van de volumes ten opzichte van het referentievlak.

.....
Figuur 3. Polygonen over de
bodemkribben.



.....
Figuur 4. Polygonen over de
ruimtes tussen de bodemkribben.

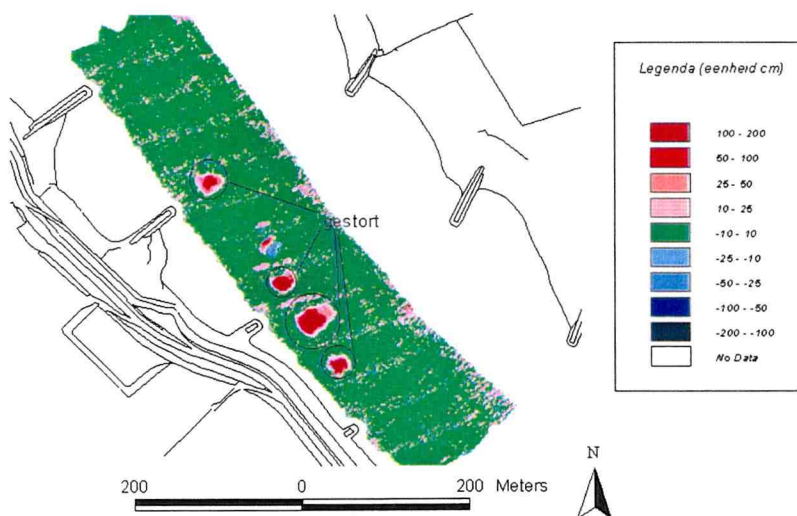


3.3 Stortgegevens

De gegevens over de exacte tijdstippen van het storten van materiaal tussen de bodemkribben, de stortlocaties en de grootte van de volumes van gestort materiaal staan in de weekrapporten van de aannemer. Hieruit blijkt dat er tussen 28-08 en 04-09 materiaal gestort is.

Met behulp van de ArcViewgrids kan, aan de hand van het berekende verschil tussen twee peilingen, worden afgeleid waar er gestort is. Het gestorte materiaal is als een rode vlek zichtbaar op de verschilkaart (figuur 2).

Figuur 5. Verschilkaart tussen twee peilingen.



Het blijkt dat de werkkilometers, die zijn opgegeven in de weekrapporten als locatie waar er een stort heeft plaatsgevonden, op geen enkele manier overeen komen met de plekken waar volgens de ArcViewbeelden daadwerkelijk is gestort. Daarom is ervoor gekozen geen gebruik te maken van de weekrapporten, maar de exacte stortlocaties te bepalen met behulp van de ArcViewbeelden. Helaas kan er bij de analyse van de gegevens daarom geen vergelijking worden gemaakt tussen de totale hoeveelheid gestorte beunm³ van de weekrapporten en het met behulp van de peilingen berekende volume in m³ op de rivierbodem. In het vervolg zou voor dergelijk onderzoek een meer nauwkeurige opgave van de locatie van het storten op de weekrapporten gewenst zijn.

In Bijlage I staan kaarten van de verschillen tussen alle achtereenvolgende peilingen weergegeven. Toename van het volume wordt aangegeven door rode en roze cellen; afname van het volume door blauwe cellen. Toename van het volume kan veroorzaakt worden door storten, maar ook door sedimentatie van materiaal aangevoerd vanaf bovenstrooms. Door de beelden met elkaar te vergelijken, is bepaald waar er voor 05-09 precies gestort is en waar natuurlijke aanzanding heeft plaatsgevonden. Met behulp van de hoogte en plaatsgegevens in de ArcViewtabellen kunnen ook volumes worden bepaald. Alle resultaten staan in de tabel in bijlage I weergegeven. Het is waarschijnlijk dat er meer materiaal is gestort dan de tabel weergeeft.

3.4 Afvoergegevens

De afvoer bij Lobith staat weergegeven in bijlage IV. De afvoer stijgt eind augustus van rond de 1500 m³/s naar een afvoer van 3300 m³/s op 24-09. Vervolgens daalt de afvoer weer tot er op 7-11 waarden rond 1400 m³/s zijn bereikt.

Met zwarte stippen staat in de grafiek het tijdstip van de peilingen aangegeven.

3.5 Betrouwbaarheid

De nauwkeurigheid van de multibeampeilingen wordt op de geleideformulieren opgegeven als 5 cm in de x, y en z richting per meetpunt. De waarde van een gridcel is bepaald door middel van gewogen circulaire interpolatie van de meetpunten. Hoe dicht een meetpunt zich bij de te berekenen cel bevindt, hoe hoger de wegingsfactor die aan deze waarde wordt toegekend [Kooy & Taal, 1997]. De relatieve maat voor de afwijking binnen de gridcel is afhankelijk van de variatie van de meetpunten. Deze kan niet bepaald worden uit de beschikbare gegevens. Volgens Douben [1997] kan de bodemligging maximaal met een nauwkeurigheid van ± 10 cm worden gepeild.

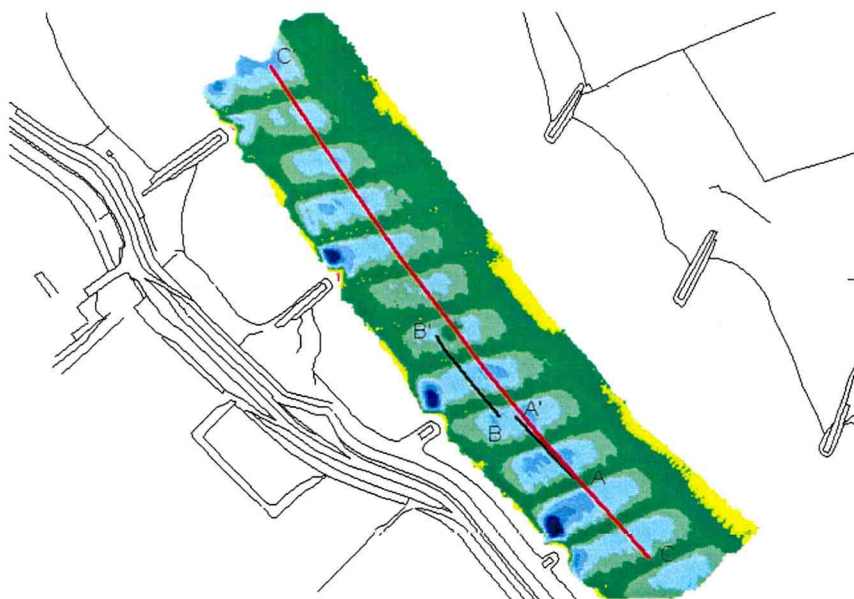
4 Analyseresultaten

4.1 Herstel van de waterbodem na het storten

Na het storten van materiaal tussen de kribben zal de bodem zich gaan herstellen. Met behulp lengtedoorsneden over (een gedeelte) van het gebied, gebruik makend van meerdere peilingen, kunnen profielen worden gemaakt die een duidelijk beeld geven van het verloop van het herstel van de waterbodem na het storten.

Aan de hand van profielen over profiellijnen A-A' en B-B' (figuur 6) wordt in § 4.1.1 beschreven wat er gebeurt na het storten op de stortlocaties. Vervolgens wordt in § 4.1.2 aan de hand van doorsnede over profiellijn C-C' (figuur 6) gekeken naar de verplaatsing van het gestorte sediment door het gehele gebied.

.....
Figuur 6. Ligging van de
profiellijnen A-A' (zwart), B-B'
(zwart) en C-C' (rood).

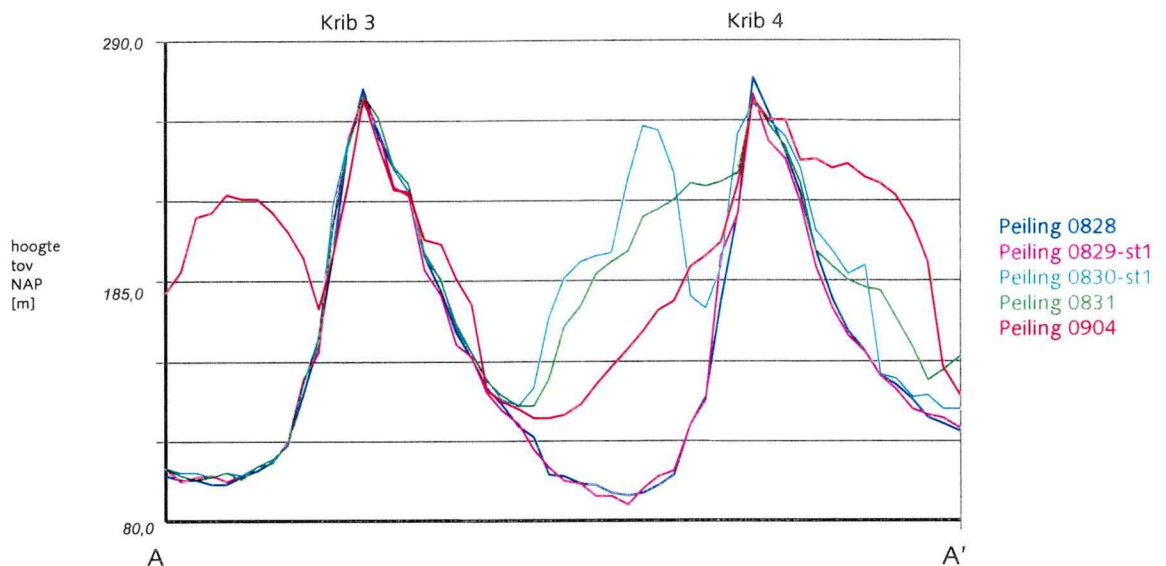


4.1.1 Verloop van het herstel op de stortlocatie

In figuur 7 staat een profiel getekend over bodemkrib 3 en 4 met behulp van profiellijn A-A' (figuur 6). In dit profiel zijn de peilingen tussen 28-08 en 04-09 gebruikt. De afvoer in deze dagen is vrijwel gelijk, rond 1450 m³/s.

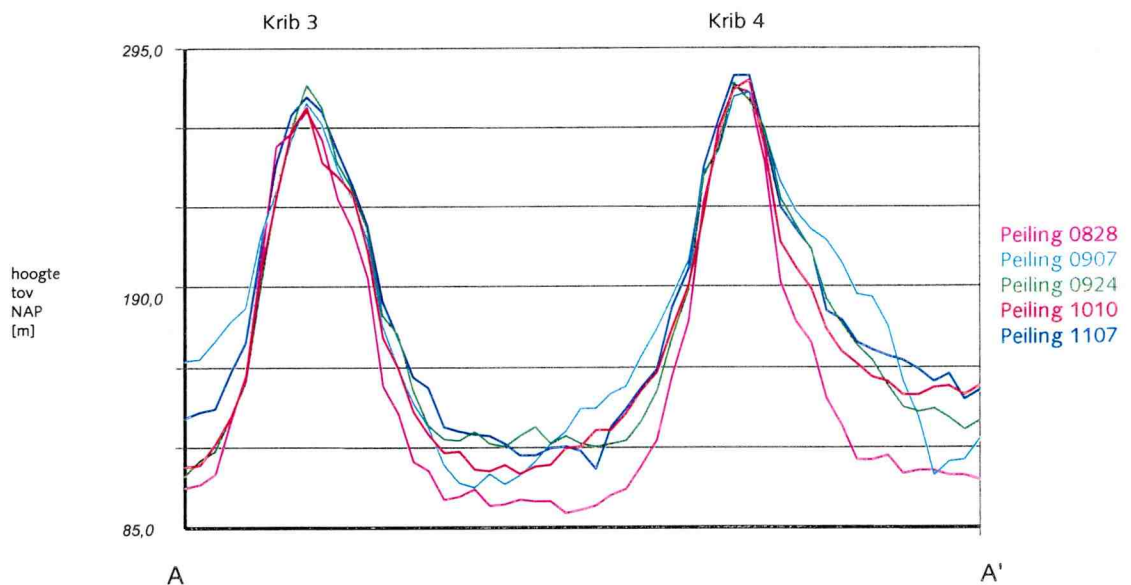
In het profiel zijn de kribben duidelijk te onderscheiden. Tussen peiling 0829-st1 en 0830-st1 is duidelijk materiaal gestort in het midden van het bodemkribvak. Dit wordt door de stroming binnen enkele dagen afgevlakt en afgezet tegen de zijkant van krib 4. Vervolgens wordt het over deze bodemkrib heen getransporteerd en afgezet in de luwte aan de andere kant. De bult in de rode lijn links van krib 3 is het materiaal dat daar gestort is op 04-09.

.....
Figuur 7. Lengteprofiel over
profiellijn A-A' van bodemkrib 3
en 4.



Om te bepalen wat er op langere termijn gebeurt op de stortlocaties en of de afvoer enige rol speelt, staat in figuur 8 nogmaals deze dwarsdoorsnede weergegeven met daarin de peilingen 0828, 0907, 0924, 1010 en 1107. Het afvoerverloop is als volgt in deze periode: na 04-09 gaat de afvoer stijgen van waarden rond 1500 m³/s naar 3300 m³/s op 24-09. Daarna daalt de afvoer weer naar waarden rond 1500 m³/s op 07-11.

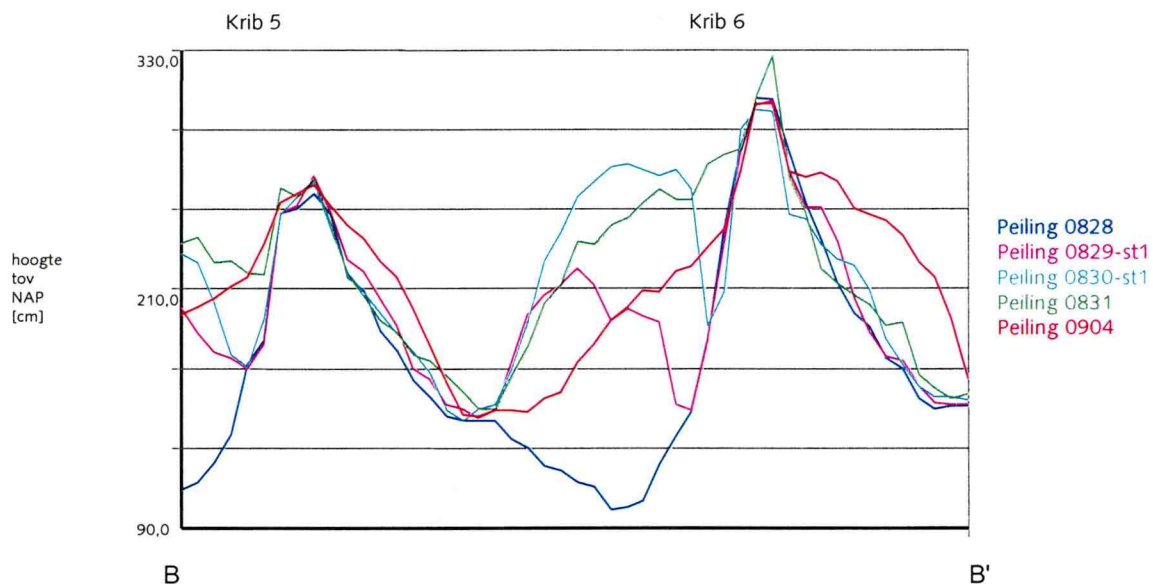
.....
Figuur 8. Lengteprofiel over
profiellijn A-A' van bodemkrib 3
en 4.



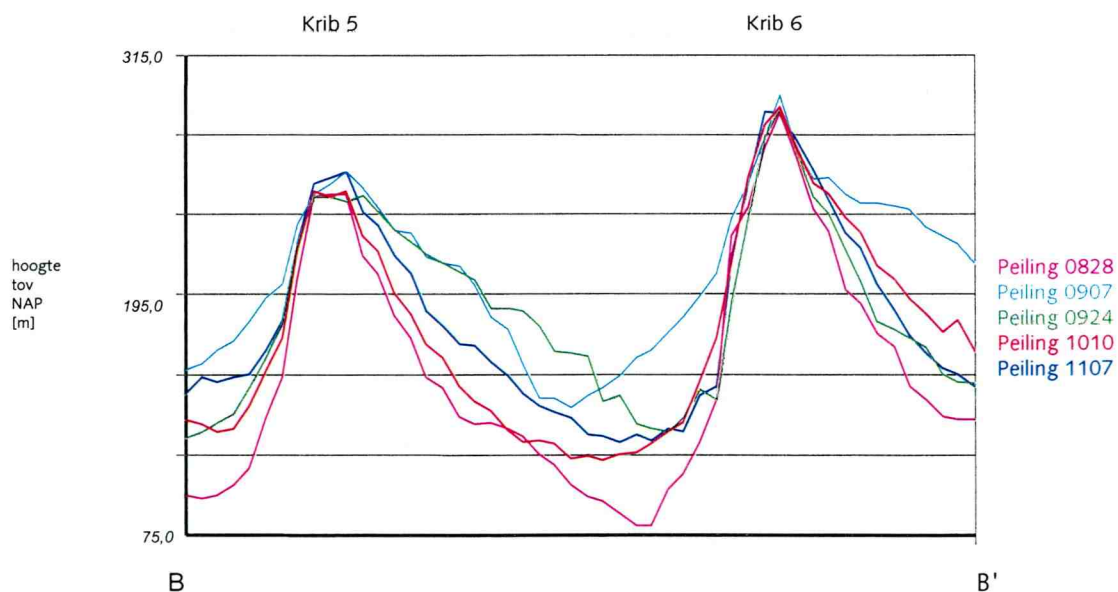
Wanneer figuur 7 en 8 met elkaar vergeleken worden is meteen duidelijk dat tussen 04-09 en 07-09 vrijwel al het gestorte materiaal verwijderd is uit het bodemkribvak. Ook het materiaal dat op 04-09 gestort is in het

stroomopwaartse vak, is niet terug te vinden. De relatief hoge afvoer rond 24-09 veroorzaakt geen erosie, maar eerder enige aanzanding tussen de kribben. Dit materiaal zal afkomstig zijn van stortingen bovenstrooms in het onderzoeksgebied of aangevoerd van buiten het onderzoeksgebied. Op 11-07 is er nog altijd meer sediment aanwezig dan op het moment van de referentiepeiling.

.....
Figuur 9. Lengteprofiel over
profiellijn B-B' van bodemkrib 5
en 6.



.....
Figuur 10. Lengteprofiel over
profiellijn B-B' van bodemkrib 5
en 6.



Om een vergelijking te kunnen maken staat in figuur 9 eenzelfde soort profiel als in figuur 7, maar nu van de ruimte tussen krib 5 en 6 (profiellijn B-B' in figuur 6). Hier is tussen peiling 0828 en 0829-st1 en tussen peiling 0829-st1 en 0830-st1 gestort. In figuur 10 staat vervolgens een profiel als in figuur 8 met de peilingen 0828, 0907, 0924, 1010 en 1107.

Figuur 9 laat zien dat tussen deze twee bodemkribben hetzelfde proces zichtbaar is als tussen krib 3 en 4. Het gestorte materiaal wordt bewerkt en afgezet tegen de zijkant van krib 6. Vervolgens wordt het over deze krib heen getransporteerd en afgezet in de luwte aan de andere zijde.

Figuur 10 laat zien dat de situatie op 07-09 vrijwel gelijk is aan die van 04-09 in figuur 9, in tegenstelling tot datgene wat in figuur 7 en 8 wordt getoond. De hoge afvoer van 24-09 zorgt voor aanvoer van sediment van bovenstrooms, dat voornamelijk aan de lijzijde van krib 5 is afgezet. Op 10-10 is er meer sediment aanwezig dan op 28-08.

Samenvattend kan worden gesteld dat het gestorte materiaal in deze twee gevallen slechts kort blijft liggen op de stortlocatie. Het wordt snel bewerkt en verder getransporteerd. Dit gebeurt al bij afvoeren rond 1450 m³/s. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor ligt in het feit dat door de bodemkribben een turbulente stroming wordt opgewekt, waardoor het gestorte materiaal snel mobiel wordt. De hogere afvoerwaarden tot 3300 m³/s lijken het gestorte sediment verder op te ruimen, maar zorgen ook weer voor aanvoer van sediment van bovenstrooms.

4.1.2 Herstel van het gehele gebied na enkele weken

De grafieken in bijlage III laten de verandering van de volumes door de tijd zien voor zowel de kribben, als de ruimtes ertussen. Met zwarte pijltjes bovenin in het grafiekgebied wordt aangegeven wanneer er ongeveer gestort is. In deze grafieken is duidelijk te zien dat het materiaal zich voortbeweegt door het onderzoeksgebied. Als voorbeeld wordt de grafiek van het vak tussen krib 8 en 9 gegeven, waar op 29-08, 30-08 en 31-08 wordt gestort. Het gestorte materiaal verplaatst zich vervolgens door het onderzoeksgebied langs krib 9, bodemkribvak tussen krib 9 en 10, krib 10, bodemkribvak tussen krib 10 en 11, krib 11, bodemkribvak tussen krib 11 en 12 en krib 12. Dit is zichtbaar in de grafieken door de piek in de lijn die in zowel ruimte als tijd steeds verder opschuift. De piek is nog steeds enigszins zichtbaar bij krib 12 rond 9 en 10 oktober. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het materiaal wat in een bepaald bodemkribvak gestort wordt, in z'n geheel verder getransporteerd wordt en niet beetje bij beetje of meer geleidelijk, zoals ook blijkt uit figuur 7 en 9. Verdere bestudering van de grafieken in bijlage III maakt overigens ook duidelijk dat verschillende stortingen vaak niet meer afzonderlijk zijn te volgen, omdat ze in elkaar gaan overlopen.

Het profiel C-C' in figuur 11 (profiellijn C-C' in figuur 6) laat de ontwikkeling van de bodem van het onderzoeksgebied over langere tijd zien. Deze figuur staat nogmaals weergegeven in bijlage IV.

Zowel peiling 0828 als de laatste peiling, 1107, staan weergegeven en drie tussenliggende peilingen. Afgezien van de stortingen in bodemkribvak 8, is er uitsluitend gestort in de bodemkribvakken stroomopwaarts van krib 6. De peilingen 0921, 1010 en 1107 geven echter aan dat er aan het einde van de meetperiode juist materiaal aanwezig is tussen de kribben stroomafwaarts van krib 6. Tegen het einde van de meetperiode is de toename van materiaal tussen de eerste paar kribben van het onderzoeksgebied (peiling 1010 en 1107) te wijten aan sedimentatie van materiaal afkomstig van buiten het onderzoeksgebied.

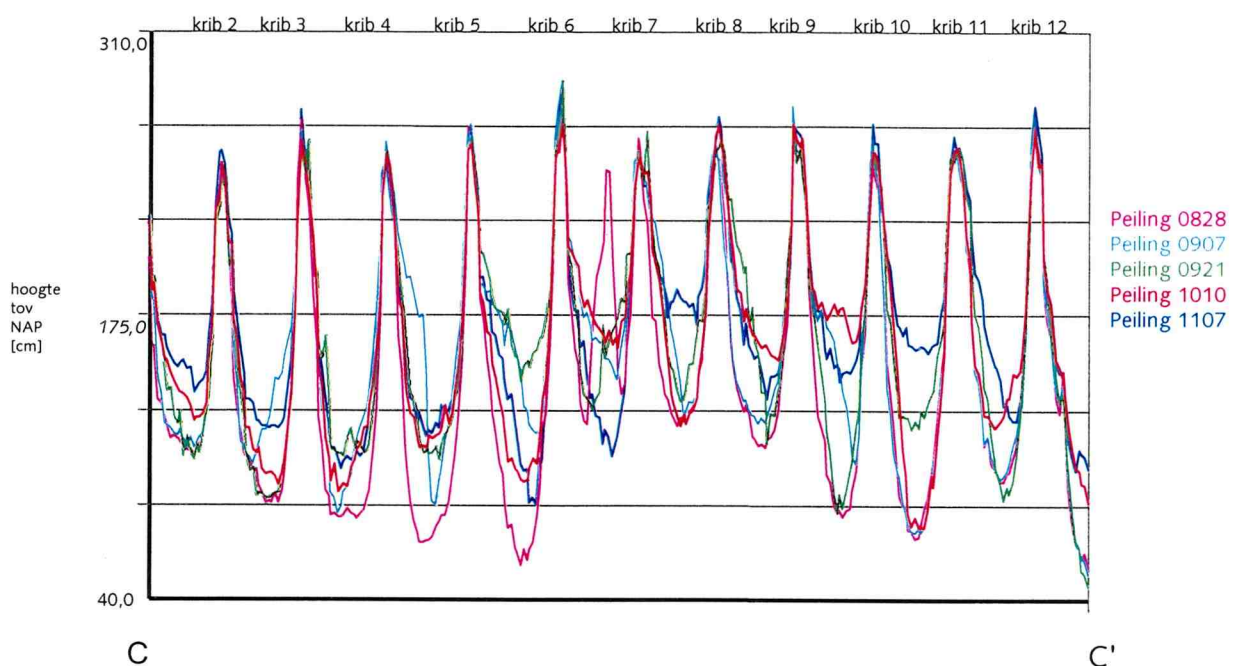
Het profiel laat zien dat het transport snel gaat; bij de ene peiling ligt een kribvak vol met sediment terwijl de daaropvolgende peiling laat zien dat dit

kribvak helemaal uitgeruimd is (vergelijk in figuur 11 peiling 0921 en 1010 of peiling 1010 en 1107).

Het is moeilijk te bepalen uit het profiel of de relatief hogere afvoer rond peiling 2109 veel invloed heeft gehad op de verdeling en transportsnelheid van het materiaal in het onderzoeksgebied. In ieder geval lijkt er ten tijde van peiling 0907 al veel dynamiek in het gebied te zijn, terwijl de afvoer toen nog onder $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ was.

Overigens blijkt uit dit profiel dat er voor peiling 0828 al gestort is in het bodemkribvak tussen krib 6 en krib 7. Dit is niet gebleken uit de weekrapporten van de aannemer.

.....
Figuur 11. Profiel van gehele
onderzoeksgebied over profiellijn
C-C'.



Samenvattend kan gesteld worden dat het sediment dat gestort is in een bepaald bodemkribvak zich als een 'eenheid' relatief snel door het bodemkribbenveld gaat bewegen. Dat wil zeggen dat de bulk nadien soms nog te volgen is terwijl het meerdere vakken passeert. Duidelijk is ook dat het sediment zich aan het einde van de meetperiode heeft opgehoopt in de bodemkribvakken aan het einde van het veld, waar niet gestort is. Hoe groot de invloed van het afvoerpiekje rond 24-09 is, is moeilijk te bepalen, omdat er geen vergelijking mogelijk is, maar het lijkt dat er bij afvoerwaarden onder $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ al veel beweging in het sediment zit.

4.2 Verblijfsduur op stortlocatie

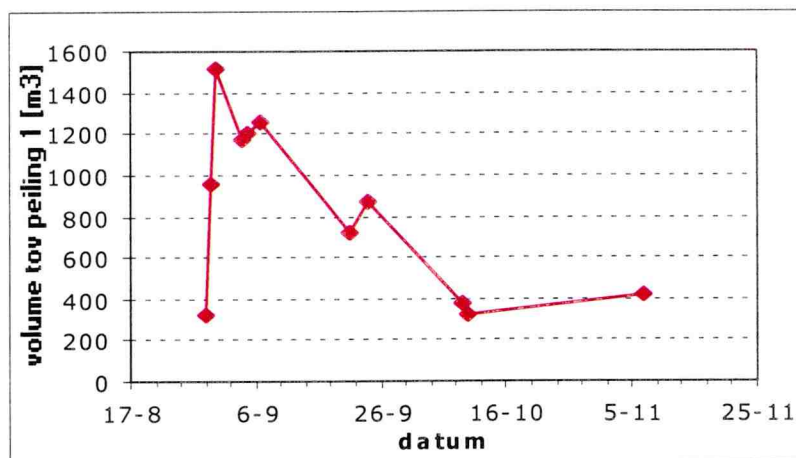
In theorie is de verblijfsduur in de buitenbocht sterk afvoerafhankelijk. Uit onderzoek naar gestort materiaal in de buitenbocht van Hulhuizen blijkt dit materiaal bij afvoerwaarden tot $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ grotendeels op de stortlocatie blijft liggen [Groen, 2002a]. Uit voorgaande figuren is echter al gebleken dat in het geval van storten tussen de bodemkribben, het materiaal dat gestort is al bij afvoerwaarden rond $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ binnen enkele dagen verder wordt getransporteerd.

Een daadwerkelijke verblijfsduur in dagen is moeilijk te bepalen omdat afzonderlijke stortingen elkaar verstoren en niet meer van elkaar te onderscheiden zijn. Dit blijkt uit de grafiek in figuur 12, die de ruimte tussen krib 5 en 6 toont.

Op 29-08, 30-08 en 31-08 is in dit bodemkribvak gestort. Dit is duidelijk zichtbaar in de grafiek. Tussen de bodemkribben stroomopwaarts van krib 5 is in deze periode ook gestort. De pieken op 07-09 en 24-09 worden waarschijnlijk veroorzaakt doordat het sediment dat bovenstrooms gestort is op deze tijdstippen de krib passeert. De verblijftijd van het sediment dat binnen deze kribben is gestort kan daarom niet bepaald worden. Wel kan worden gesteld dat bij de een na laatste peiling, na ongeveer 6 weken, vrijwel al het sediment verwijderd is.

De afnamesnelheid van het materiaal is hieruit grofweg af te leiden. Uit de gegevens in bijlage II kan bepaald worden dat de afname van het sediment over de periode 31-08 tot 10-10 1191 m³ is. De afnamesnelheid is dan 30 m³ per dag.

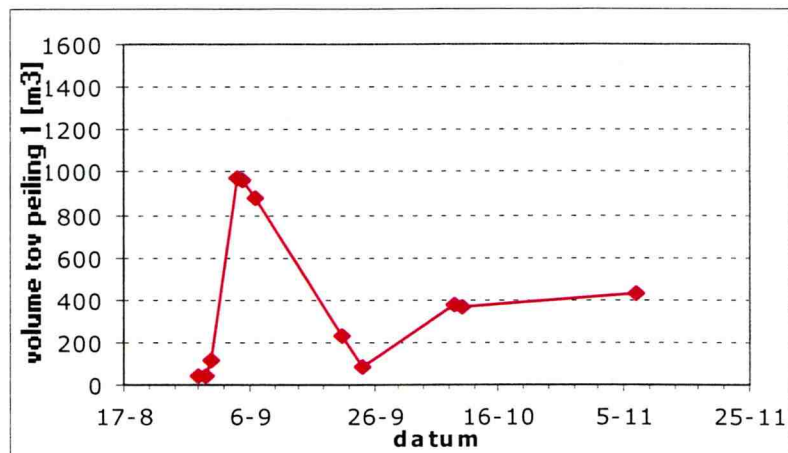
.....
Figuur 12. Volume tov
referentiepeiling in ruimte tussen
krib 5 en 6 over gehele
meetperiode.



In feite is alleen het materiaal dat gestort is in de ruimte tussen krib 2 en 3 goed te monitoren, omdat bovenstrooms van dit punt geen stortingen hebben plaatsgevonden. De grafiek van de volumeveranderingen van het vak tussen krib 2 en 3 is hieronder in figuur 13 weergegeven (tevens in bijlage III).

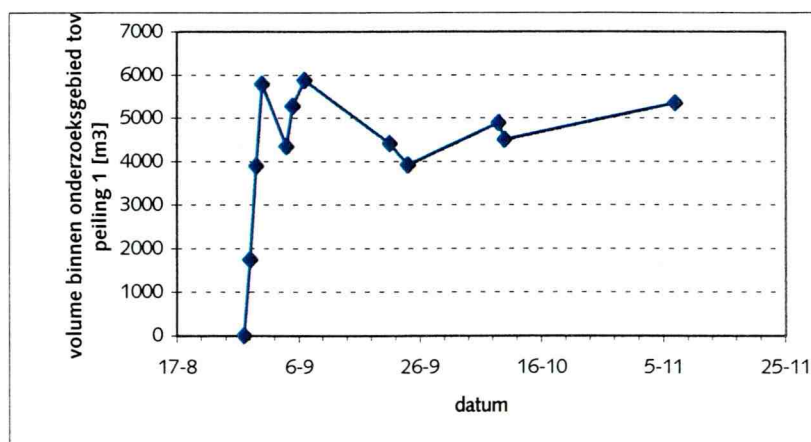
Tussen 31-08 en 04-09 is er gestort. Het volume binnen het polygoon ten opzicht van de referentiepeiling bedraagt dan 977 m³. Op 24-09 is dit afgenomen tot 87 m³, daarna neemt het weer toe, vanwege aanzanding door sediment dat aangevoerd wordt van buiten het onderzoeksgebied. De verblijfsduur van het gestorte sediment op deze locatie is daarmee 1 tot 20 dagen. De afname van de hoeveel sediment begint al vrijwel meteen na het storten met een snelheid van ongeveer 45 m³ per dag.

.....
Figuur 13. Volume tov
referentiepeiling in ruimte tussen
krib 2 en 3 over gehele
meetperiode.



Uit de grafieken van de bodemkribvakken 2 tot en met 5 in bijlage III kan worden opgemaakt dat deze vakken, die eind augustus worden volgestort, rond eind september voor een groot deel weer leeg zijn. Het gestorte materiaal duikt op in de vakken 6 tot en met 12. De verblijfsduur van materiaal op de stortlocatie is dan slechts enkele weken, maar het materiaal is na twee maanden nog steeds aanwezig binnen het onderzoeksgebied. Dit wordt geïllustreerd in figuur 14, waar het volume aanwezig tussen de bodemkribben in het gehele onderzoeksgebied ten opzichte van de referentiepeiling staat weergegeven. Tijdens het storten gedurende de eerste dagen neemt het volume toe, en, afgezien van de fluctuaties, blijft het vervolgens op ongeveer hetzelfde niveau. Het na afloop van de meetperiode is het gestorte materiaal dus nog niet verdwenen. Omdat het zich aan het einde van het bodemkribbenveld bevindt zal het waarschijnlijk binnen enkele weken wel definitief uit het onderzoeksgebied getransporteerd zijn.

.....
Figuur 14. Sediment volume
binnen de bodemkribben in het
onderzoeksgebied tov peiling 1.



4.3 Verplaatsingssnelheid

Met behulp van de beelden in bijlage I en de grafieken in bijlage III is getracht de verplaatsingssnelheid van het materiaal te bepalen door afzonderlijke stortingen te volgen terwijl ze door het bodemkribbenveld bewegen. De methode is niet erg betrouwbaar en levert slechts een ruwe bepaling op van de verplaatsingssnelheid, omdat afzonderlijke stortingen doorelkaar gaan lopen en niet goed gevolgd kunnen worden. Bovendien worden de resultaten sterk beïnvloedt door de frequentie van peilen.

De onderlinge afstand tussen de bodemkribben is 50 m op de rivieras [Douben, 1997]. Deze afstand is bij de bepaling van de verplaatsingssnelheid aangehouden. In tabel 2 staan de resultaten waaruit blijkt dat de verplaatsingssnelheid varieert tussen 3,8 en 7,1 m per dag.

.....
Tabel 2. Bepaling
verplaatsingssnelheid.

<i>Stort in vak</i>	<i>Gevolgd tot vak</i>	<i>Afstand [m]</i>	<i>Tijd [dag]</i>	<i>Verplaatsingssnelheid [m/dag]</i>
2	4	100	17	5,9
3	4	50	7	7,1
5	8	150	40	3,8
5	7	100	21	4,8
8	11	150	39	3,8

5 Conclusies

1. Het aantal peilingen en de lengte van de meetperiode voldoen voor het uitgevoerde onderzoek redelijk goed. Het blijkt echter dat meerdere peilingen op een dag weinig toevoegen, omdat er nauwelijks verschillen tussen zijn te ontdekken. Een peiling per dag voldoet ruimschoots. Dagelijkse peilingen tijdens de stortperiode en één peiling per week of per twee weken in de periode na het storten, vormen een ideale reeks voor het maken van analyses zoals uitgevoerd bij dit onderzoek. De meetperiode moet hierbij minimaal enige maanden zijn, waarbij de frequentie van peilen op den duur kan afnemen tot één keer per maand. Een meer nauwkeurige registratie van het tijdstip en de locatie van het storten, zou voor het bepalen van de stortgegevens gewenst zijn.
2. Na het storten tussen de bodemkribben wordt het gestorte materiaal binnen enkele dagen afgevlakt en bewerkt tot het tegen de stroomafwaartse krib ligt. Het wordt ook over deze krib heen getransporteerd en afgezet in de luwte erachter. Dit vindt al plaats bij afvoeren rond de 1500 m³/s bij Lobith. De oorzaak ligt in de turbulentie van de stroming die wordt opgewekt door de bodemkribben. Het gestorte materiaal wordt hierdoor snel mobiel en blijft niet op de stortlocatie liggen.
3. Het gestorte materiaal beweegt zich voort in de hoeveelheid waarin het gestort is. Het wordt wel enigszins verspreid, maar blijft vaak herkenbaar als een bepaalde stort terwijl het langs de bodemkribben beweegt.
4. Nadat het materiaal is gestort wordt het vrijwel meteen verder getransporteerd. De verblijfsduur van het sediment op de stortlocatie, is minimaal 1 à 2 dagen en maximaal 6 weken. De afnamesnelheid ligt tussen 30 en 45 m³ per dag, gebaseerd op 2 waarnemingen.
5. Na afloop van de meetperiode (na ongeveer 2 maanden) is het materiaal nog steeds aanwezig binnen het onderzoeksgebied, tussen de meest stroomafwaartse bodemkribben.
6. De verplaatsingssnelheid van het materiaal is gemiddeld 4 tot 7 m per dag.
7. Wanneer de doelstelling van het storten van het gebaggerd materiaal is het zo lang mogelijk te bergen, waarbij er geen knelpunten voor de scheepvaart ontstaan, is het storten van materiaal tussen de bodemkribben een van de mogelijke oplossingen. Hoewel het materiaal binnen korte tijd mobiel wordt en zich gaat verplaatsen langs de bodemkribvakken, zelfs bij relatief lage afvoer, blijft het toch voortdurend aanwezig binnen het onderzoeksgebied. Het is daarom niet aan te bevelen het materiaal aan het einde van het gehele bodemkribbenveld te storten, maar juist aan het begin ervan. Hierbij moet opgemerkt worden dat er bij dit onderzoek slechts een klein gedeelte van het totale bodemkribbenveld bekeken is, dat aan het einde van het totale bodemkribbenveld ligt. Daarom is het aan te bevelen een hoeveelheid materiaal dat aan het begin van het gehele bodemkribbenveld wordt gestort te enige tijd te monitoren, om te bepalen of het materiaal dan ook tussen de kribben blijft en bijvoorbeeld niet richting binnenbocht wordt getransporteerd.

6 Referenties

Douben, N. (1997): Bodemkribben in de Waal bij Erlecom. Analyse van opstuwing en hydraulische bodemruwheid. RWS-RIZA, rapport 97.050.

Groen, M.S. (2002a): Analyse van terugstorten van gebaggerd materiaal in overdiepte bij Hulhuizen. RWS-DON, conceptversie.

Klaassen, G.J. & C.J. Sloff (2000): Voorspelling bodemligging en herstelrelaties voor baggeren op de Waal. Eenvoudige relaties en benodigd onderzoek. WL | Delft Hydraulics, rapport Q2669.

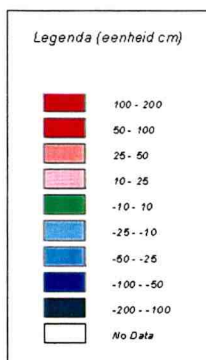
Kooy, A. & M. Taal (1997): Hydraulische en morfologische monitoring bodemkribben Erlecom. RWS-DON, rapportB-WB-97001.

RWS – Directie Gelderland (1993): Toekomstvisie Waal Hoofdtransportas. Nota III, eindrapportage.

Taal, M. (1998): Bodemkribben Erlecom – Vaarbaanbreedte. RWS-DON archiefnummer W-BG-98047.

Bijlage I Stortgegevens

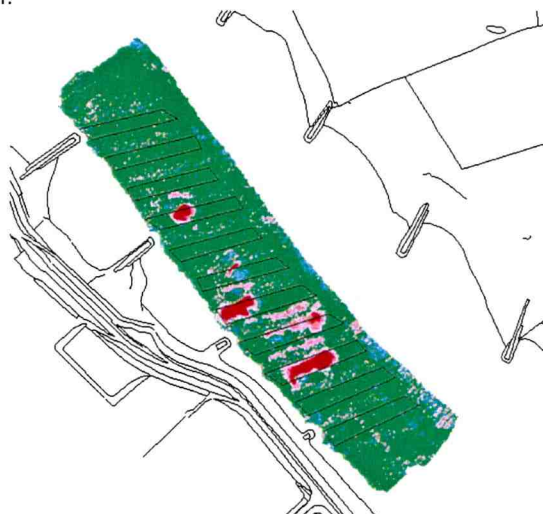
Vanaf 28-08 tot en met 04-09 is er gestort tussen de bodemkribben.



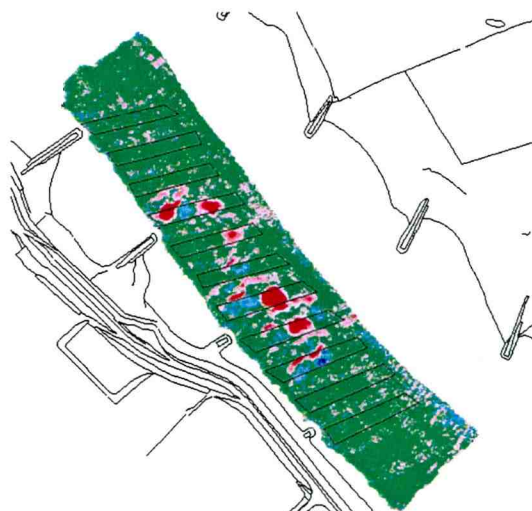
De polygonen geven de bodemkribvakken aan.



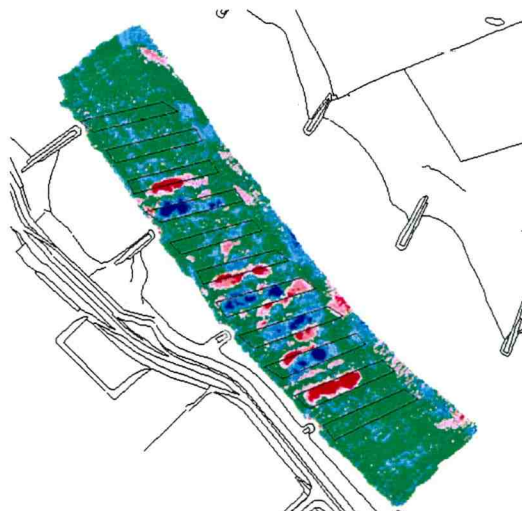
0829_0828



0830_0829



0831_0830



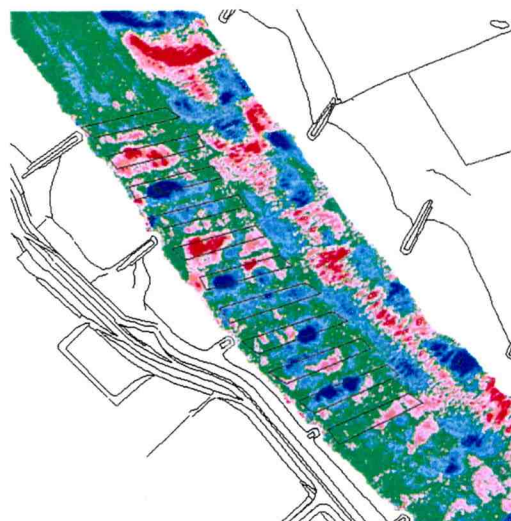
0904_0831



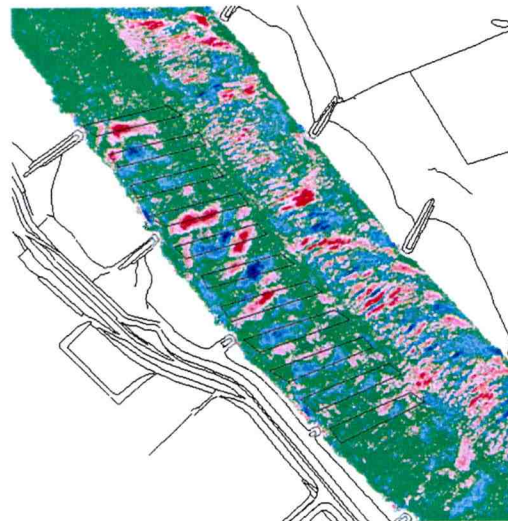
0905_0904



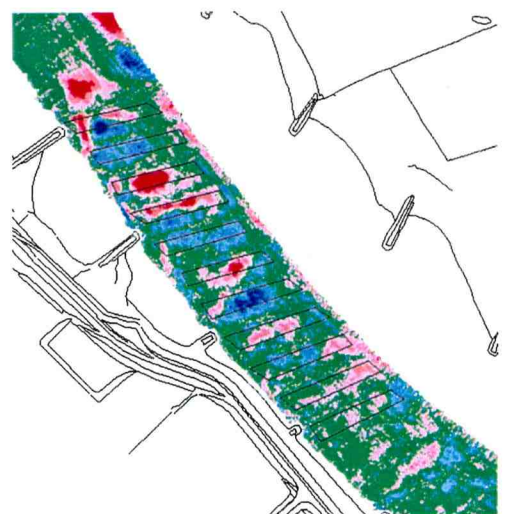
0907_0905



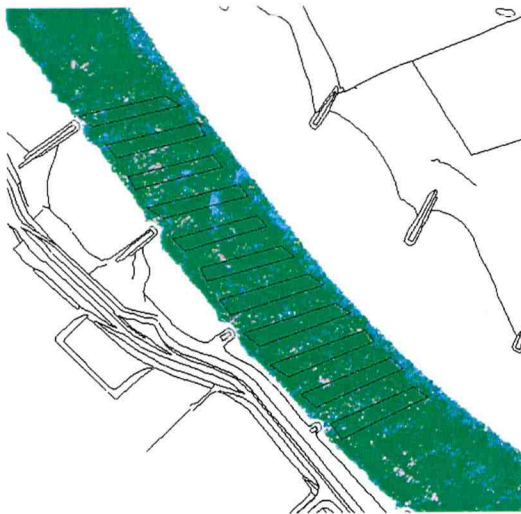
0921_0907



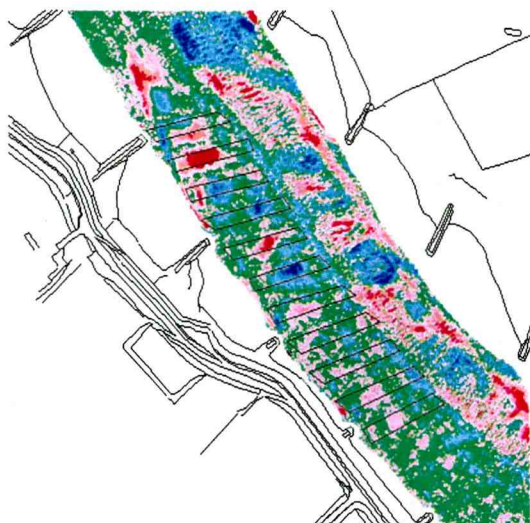
0924_0921



1009_0924



1010_1009



1107_1010

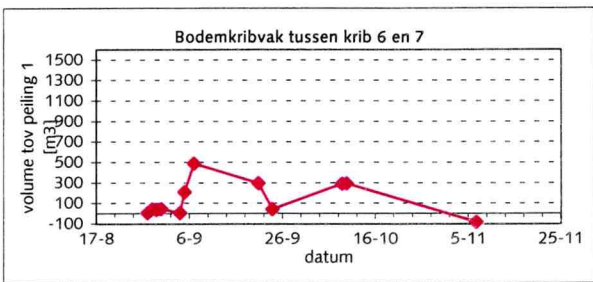
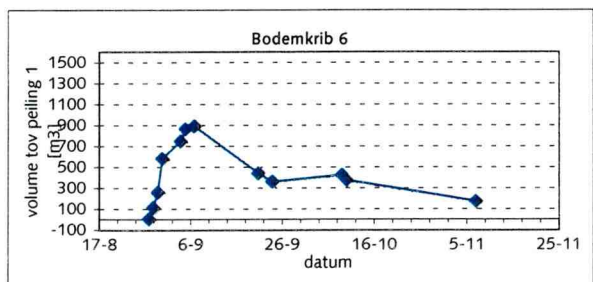
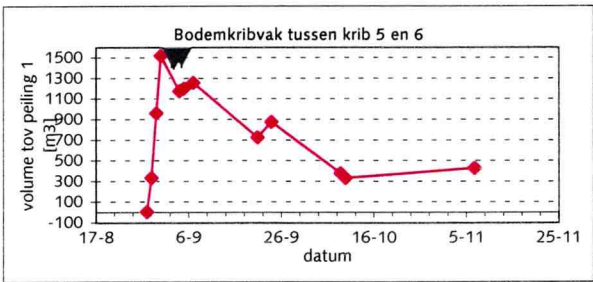
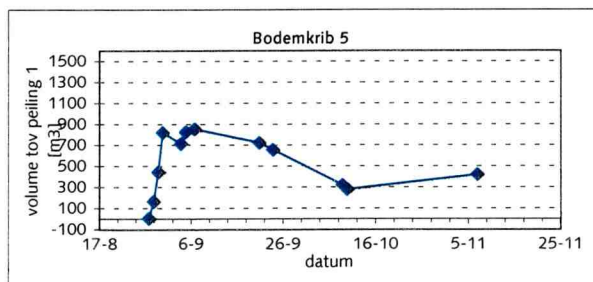
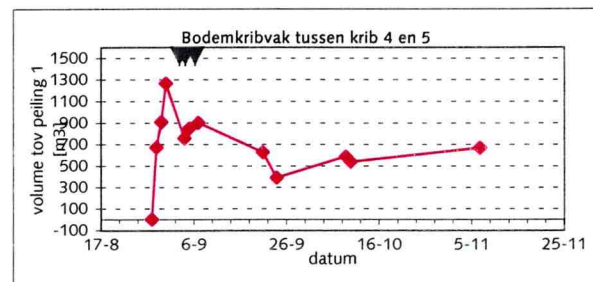
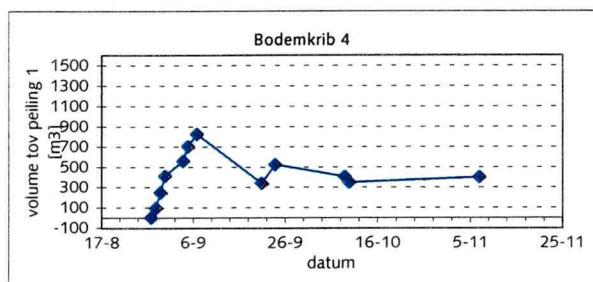
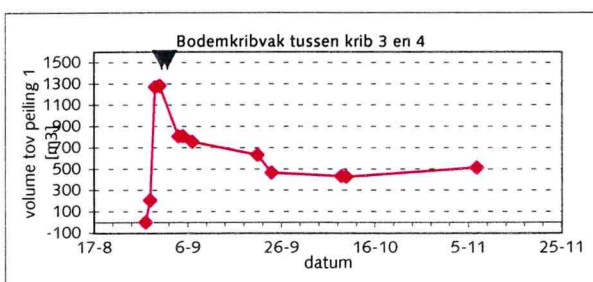
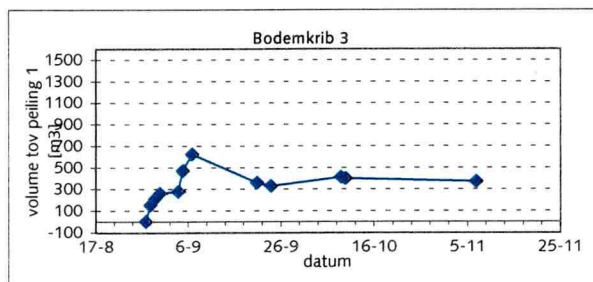
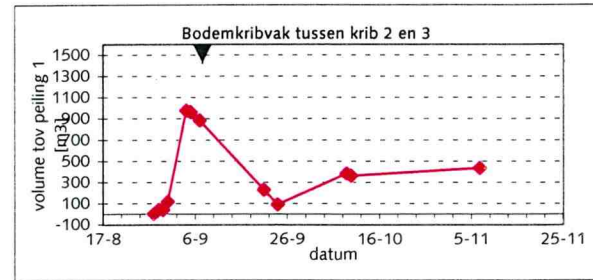
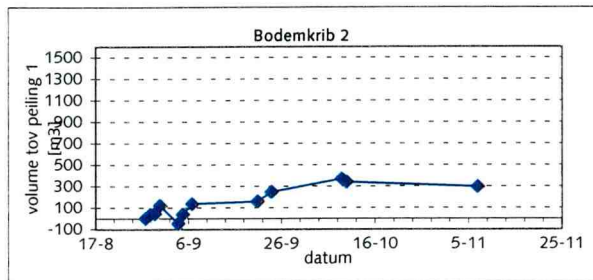
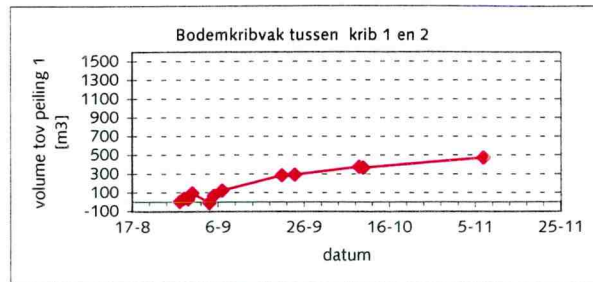
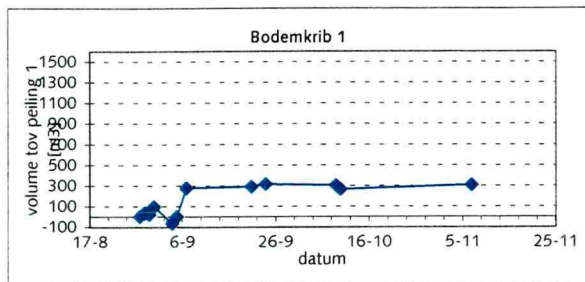
Gestorte volumes [m³] tussen bodemkribben berekend mbv bovenstaande beelden				
Polygoon	29-08	30-08	31-08	4-09
1	-	-	-	-
2	-	-	-	863
3	205	1062	-	-
4	670	236	356	-
5	327	630	560	-
6	-	-	-	-
7	-	-	189	-
8	269	235	474	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-

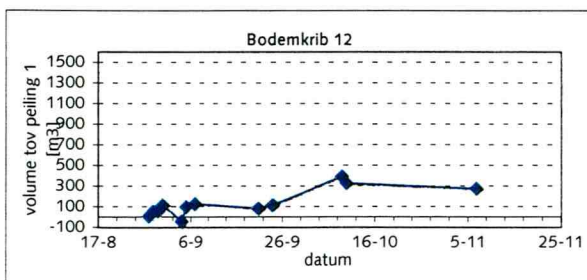
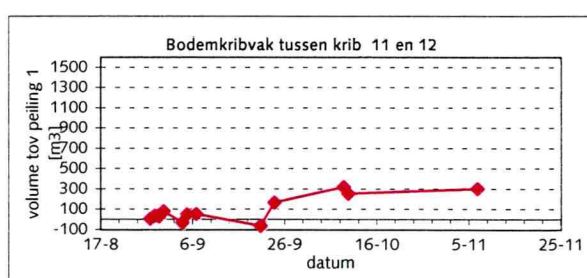
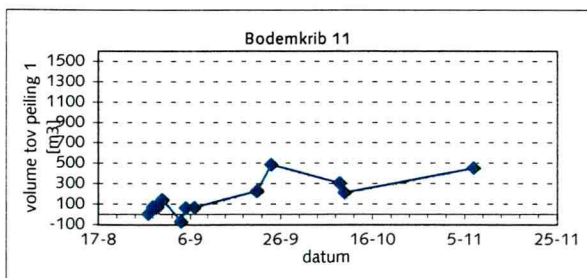
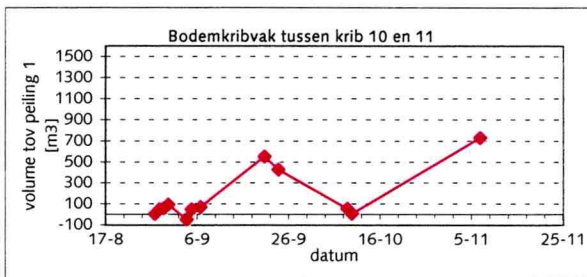
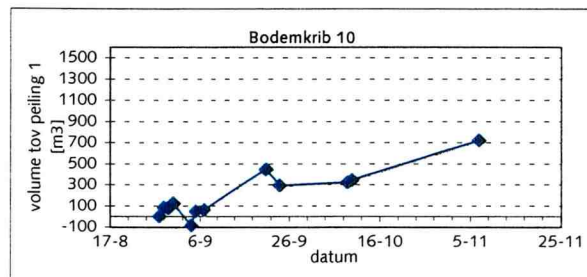
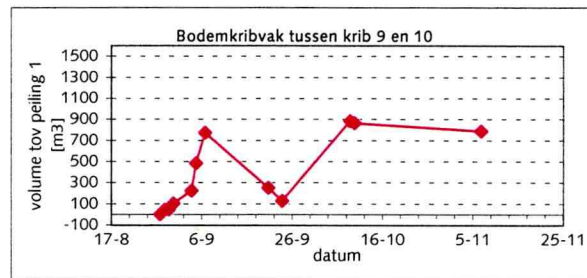
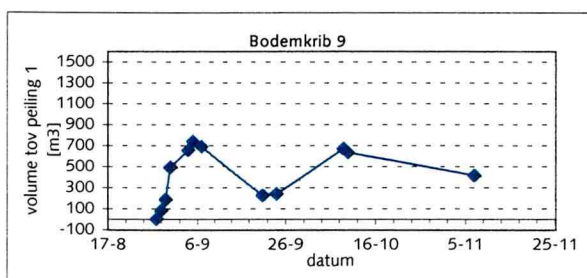
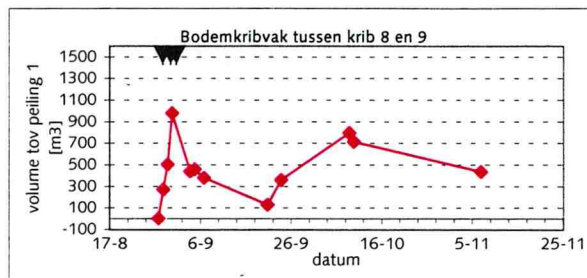
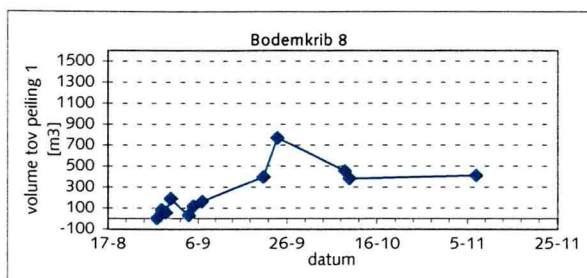
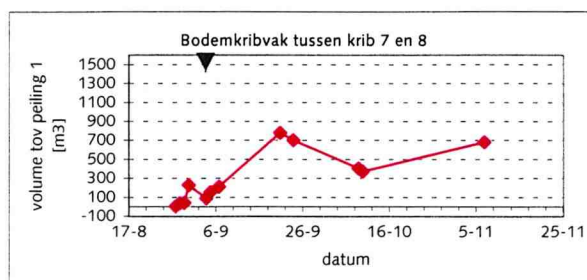
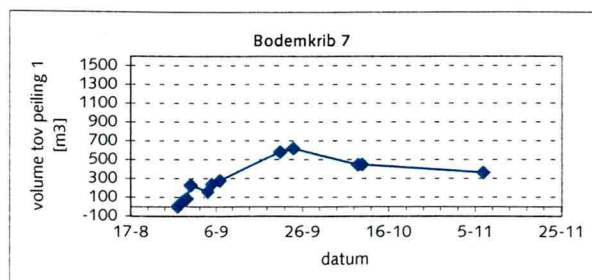
Bijlage II Basisgegevens

Basisgegevens bodemkribben berekend tov referentiepeiling													
Polygoon		28-aug	29-aug	30-aug	31-aug	4-sep	5-sep	7-sep	21-sep	24-sep	9-okt	10-okt	7-nov
Krib 1	opp	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390	3390
	vol	0	37	19	96	-67	-2	278	289	315	303	266	304
Krib 2	opp	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404	3404
	vol	0	37	42	120	-50	37	136	156	248	370	338	296
Krib 3	opp	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535
	vol	0	154	211	259	277	469	624	357	328	409	399	369
Krib 4	opp	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666	3666
	vol	0	95	248	411	559	702	824	340	523	403	349	398
Krib 5	opp	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597	3597
	vol	0	160	440	817	712	824	852	721	653	316	276	417
Krib 6	opp	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411	3411
	vol	0	111	256	578	744	863	888	439	359	422	373	170
Krib 7	opp	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165	3165
	vol	0	47	80	226	155	236	273	579	617	445	445	360
Krib 8	opp	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247	3247
	vol	0	81	54	188	28	116	160	394	768	453	381	410
Krib 9	opp	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431	3431
	vol	0	78	185	490	655	740	689	223	240	670	634	414
Krib 10	opp	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328	3328
	vol	0	83	76	121	-87	47	58	444	292	323	346	718
Krib 11	opp	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460	3460
	vol	0	69	66	141	-75	61	63	224	483	30	207	447
Krib 12	opp	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289	3289
	vol	0	50	54	108	-47	94	121	77	110	389	322	269

Basisgegevens bodemkribvakken berekend tov referentiepeiling (stort is in rood weergegeven)													
polygoon		28-aug	29-aug	30-aug	31-aug	4-sep	5-sep	7-sep	21-sep	24-sep	9-okt	10-okt	7-nov
1	opp	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636
	vol	0	35	29	92	-16	65	120	280	289	375	362	471
2	opp	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717
	vol	0	39	37	114	977	962	882	228	87	381	361	434
3	opp	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748	2748
	vol	0	205	1267	1281	803	808	752	632	463	428	423	511
4	opp	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783	2783
	vol	0	670	906	1262	754	847	900	625	389	585	536	666
5	opp	2691	2691	2692	2692	2692	2692	2692	2692	2692	2692	2692	2692
	vol	0	327	957	1517	1169	1197	1254	721	874	375	326	422
6	opp	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
	vol	0	39	31	40	-1	204	485	292	39	288	291	-86
7	opp	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168	2168
	vol	0	35	37	226	83	154	210	779	701	404	371	679
8	opp	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317	2317
	vol	0	269	504	978	437	460	380	129	359	796	712	434
9	opp	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211
	vol	0	42	45	103	221	482	771	249	125	884	863	785
10	opp	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328	2328
	vol	0	44	53	91	-52	45	65	547	423	52	3	726
11	opp	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222
	vol	0	33	24	78	-36	44	49	-70	162	314	250	298

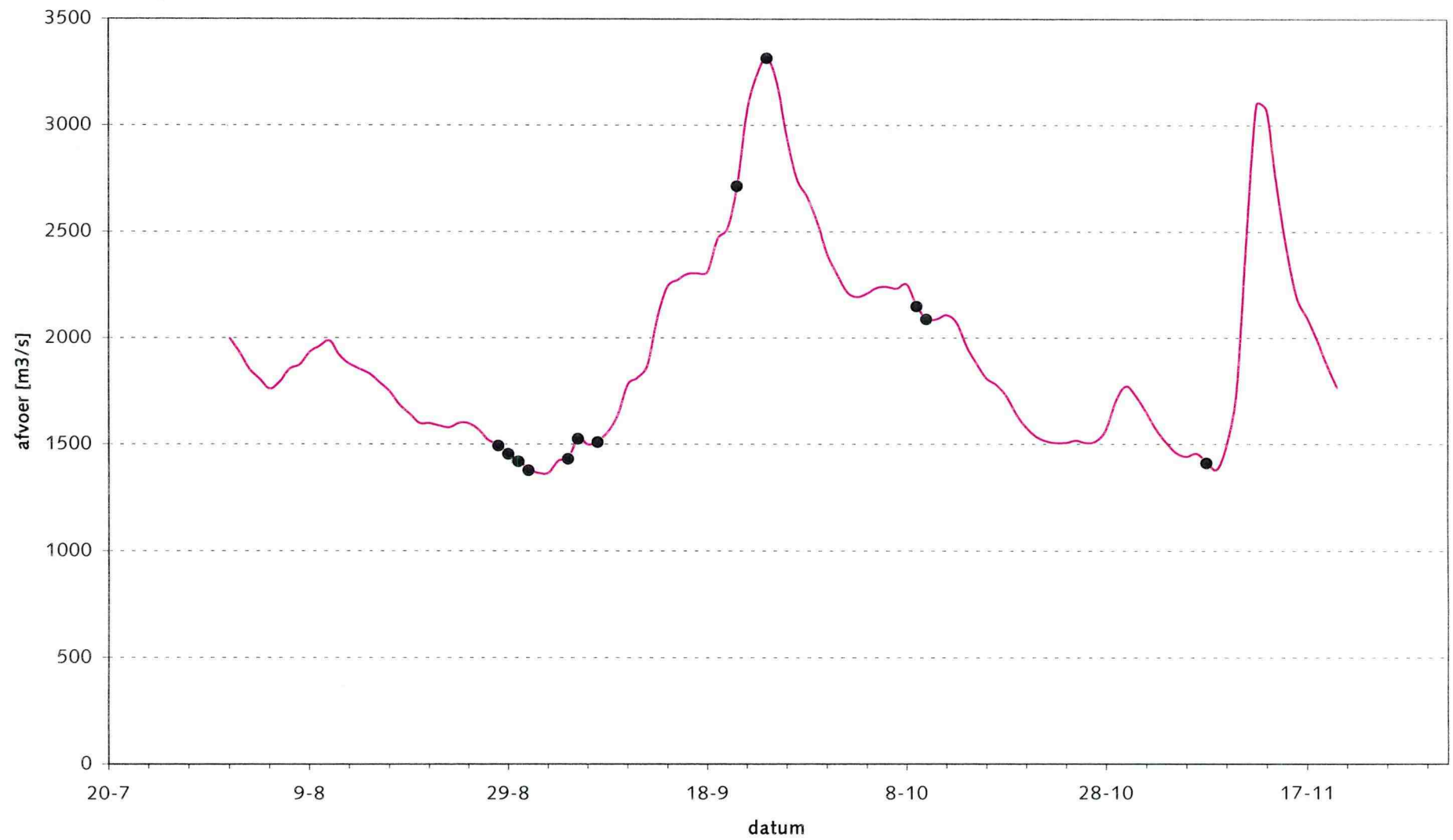
Bijlage III Volumeveranderingen





Bijlage IV Figuren

Afvoerverloop bij Lobith. De zwarte stippen de peildagen aan.



Figuur 11. Profiel van geheel onderzoeksgebied over profiellijn C-C'.

