

Sediment in (be)weging

Sedimentbalans Rijn-Maasmonding
periode 1990-2000



Sediment in (be)weging

**Sedimentbalans Rijn-Maasmonding
periode 1990-2000**

11 mei 2005

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Zuid-Holland

Colofon

Uitgegeven door:
RWS-RIZA
Afdeling WRE

Uitgevoerd door: E. Snippen (red., RWS-RIZA)
A. Fioole (RWS-RIZA)
H. Geelen (RWS-RIZA)
A. Kamsteeg (RWS-ZH)
A. van Spijk (RWS-ZH)
T. Visser (RWS-RIZA)

Datum: 11 mei 2005

Voorwoord

Dit rapport beschrijft het sedimenttransport door de riviertakken van de Rijn-Maasmonding in de periode 1990-2000. Op basis van de beschikbare meetgegevens geeft dit rapport een beschrijving van de morfologische processen en veranderingen die in het laatste decennium van de 20^e eeuw zijn opgetreden in de Rijn-Maasmonding. Dit rapport vormt daarmee een actualisatie van de sedimentbalans voor de Rijn-Maasmonding ten opzichte van voorgaande balansstudies door Van Dreumel.

De studie is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Zuid-Holland door het RIZA, afdeling WRE. Het merendeel van de statistische analyses zijn uitgevoerd met de methode die is ontwikkeld door Aad Fiole. Daarnaast zijn bijdragen geleverd vanuit het projectteam door Harrie Geelen (RWS-RIZA), Erik-Jan Houwing (inmiddels werkzaam bij Hoogheemraadschap Rijnland), Ard Kamsteeg (RWS-ZH), Ary van Spijk (RWS-ZH) en Ton Visser (RWS-RIZA).

In deze balans wordt steeds gesproken over de periode 1990-2000. Hieronder moet worden verstaan van 1 januari 1990 tot 1 januari 2000. Met andere woorden: gegevens over 31 december 1999 zijn in deze balans meegenomen; gegevens over 1 januari 2000 niet.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Inhoudsopgave	7
1. Inleiding	9
1.1 Kader	9
1.2 Aanleiding en doel	10
1.3 Leeswijzer	10
2. Gebiedsbeschrijving	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Waterbeweging	14
2.3 Sedimenttransport	15
2.4 Morfologische ontwikkeling	15
3. Methode	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Basisgegevens	17
3.3 Toelichting aanpak sedimentbalans	21
4. Verandering bodemligging	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Trends in bodemhoogte	29
4.3 Verandering bodemligging door bagger- en stortwerk	31
5. Zwevend stoftransport	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Verloop in zwevend stofgehalte	35
5.3 Aanvoer van slib	37
5.4 Verandering bodemligging door zwevend stoftransport	39
6. Bodemtransport	43
6.1 Inleiding	43
6.2 Bodemsamenstelling	43
6.3 Aanvoer van zand	46
6.4 Verandering bodemligging door bodemtransport	47
7. Synthese	51
7.1 Inleiding	51
7.2 Sedimentbalans 1990-2000	51
7.3 Discussie onzekerheden	54
7.4 Conclusies	56
7.5 Aanbevelingen	56
Referenties	59

Bijlage A	Berekening trend bodemhoogte	61
Bijlage B	Berekening vracht en gehalte zwevend stof	85
B.1	Inleiding	85
B.2	Zwevend stofvracht Hagestein	86
B.3	Zwevend stofvracht Vuren	89
B.4	Zwevend stof vracht Lith	91
B.5	Zwevend stofgehalte Hagestein	93
B.6	Zwevend stofgehalte Vuren	94
B.7	Zwevend stofgehalte Lith	96
B.8	Discussie vrachtberekening	98
Bijlage C	Verloop zwevend stofgehalte in de Rijn-Maasmonding	101
C.1	Traject Waal - Boven Merwede - Nieuwe Merwede - Hollandsch Diep - Haringvliet	102
C.2	Traject Maas - Bergsche Maas - Amer - Hollandsch Diep	105
C.3	Traject Lek - Nieuwe Maas - Nieuwe Waterweg	107
C.4	Traject Beneden Merwede - Noord - Nieuwe Maas -Nieuwe Waterweg	110
C.5	Traject Boven Merwede - Beneden Merwede - Oude Maas	113
C.6	Traject Haringvliet - Spui - Oude Maas	116
Bijlage D	Gebaggerde hoeveelheden per riviertak	119
Bijlage E	Overzicht namen en afkortingen riviertakken	121

1. Inleiding

1.1 Kader

De neerslag die in het stroomgebied van de Rijn en de Maas valt wordt via de Nederlandse riviertakken afgevoerd naar de Noordzee. Een deel van het Rijnwater (ca. 2/9) wordt via de Pannerdensch Kop en de IJsselkop over de IJssel afgevoerd naar het IJsselmeer en de Waddenzee. En ander deel (ca. 1/9) van het door de Rijn aangevoerde water stroomt ook via de Pannerdensch Kop en de IJsselkop, maar stroomt via de Neder-Rijn, de Lek, de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg rechtstreeks naar de Noordzee. Het overgrote deel van het Rijnwater (ca 2/3 deel) stroomt bij de Pannerdensch Kop naar de Waal. Het water dat de Waal aanvoert, stroomt via de Rijn-Maasmonding, samen met het Maaswater naar zee. Afhankelijk van de grootte van de afvoer van de Rijn wordt een deel afgevoerd via de Haringvlietsluizen, het restant wordt via de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal afgevoerd. Via de Rijn-Maasmonding wordt dus het overgrote deel van het Rijnwater en al het Maaswater dat ons land binnenkomt afgevoerd. Dit water voert ook sediment met zich mee. Via de Nieuwe Waterweg komt sediment uit zee de Rijn-Maasmonding binnen. Tevens vindt in sommige riviertakken erosie plaats.

Vóór de afsluiting van het Haringvliet en het Hollandsch Diep was het gebied van de Rijn-Maasmonding een natuurlijk estuarium met geulen en droogvallende platen dat onder de directe invloed van de getijbeweging stond. Door de afsluiting van het Volkerak (1969) en het Haringvliet (1970) is de hydraulische situatie drastisch gewijzigd, waardoor de morfologie van de Rijn-Maasmonding zich aanpast naar een nieuw (dynamisch) evenwicht. Dit proces van aanpassing is nog steeds gaande.

In de eerste tien jaar na de afsluitingen heeft vooral afzetting van zand en slib plaatsgevonden in grote delen van de Rijn-Maasmonding. Dit leidde in de noordelijke en zuidelijke riviertakken tot verondieping. Door middel van nautisch baggerwerk werd dit gecompenseerd (onder andere in het Rotterdamse havengebied). In het middendeel (Spui, Oude Maas, Dortsche Kil en Noord) was echter sprake van erosie doordat er meer water door deze takken heen en weer stroomde (Allersma, 1982).

De sedimentatie van slib in de zuidelijke takken van de Rijn-Maasmonding heeft zich voortgezet in de jaren na 1980. De overige riviertakken zijn verdiept door erosie of baggerwerken of zijn nauwelijks veranderd, omdat de bodem middels baggerwerken op diepte gehouden werd (Van Dreumel, 1995).

In de jaren 90 van de vorige eeuw is er veel gebeurd dat invloed heeft op de morfologische ontwikkelingen in de Rijn-Maasmonding. Kort na

elkaar deden zich in 1993 en 1995 extreem hoge rivierafvoeren voor. In het westelijk havengebied van Rotterdam is een opening gemaakt in de Beerdam, waardoor het Hartelkanaal in open verbinding is komen te staan met het Beerkanaal en daarmee ook direct met de Noordzee. Hierdoor kan het getij ook via deze weg de Rijn-Maasmonding binnendringen en wordt, in de ebfase van het getij, water afgevoerd. Op de Waal is het baggerbeleid aangepast door de rivierbeheerder om de daling van het zomerbed in het gebied tot stilstand te brengen.

1.2 Aanleiding en doel

Voorgaande paragraaf beschrijft op hoofdlijnen de gebeurtenissen uit de afgelopen decennia die van invloed zijn geweest op de morfologische ontwikkeling van de Rijn-Maasmonding. Ook in de komende decennia zullen diverse ontwikkelingen de morfologie beïnvloeden. In het kader van Ruimte voor de Rivier zullen in het zomer- en winterbed maatregelen worden uitgevoerd om het rivierprofiel te vergroten. Het bedieningsprogramma van de Haringvlietsluizen zal aangepast worden, waardoor ook tijdens vloed de schuiven gedeeltelijk open zullen staan en zeewater in het Haringvliet kan komen. Hiermee wordt de geleidelijke overgang van zoet naar zout water gedeeltelijk weer hersteld.

Om de effecten van langjarige morfologische processen en menselijk handelen in het gebied te evalueren, is een sedimentbalans een geschikt instrument. Trends in bodemhoogte worden hiermee inzichtelijk gemaakt en het levert kennis over het transporten van zand en slib in de Rijn-Maasmonding. Met deze informatie kunnen rekenmodellen verder worden ontwikkeld, om zo effecten van voorgenomen maatregelen beter te voorspellen of het huidige baggerbeleid te optimaliseren.

Doelstelling van dit rapport is het beschrijven van het langjarig zand- en slibtransport in de Rijn-Maasmonding om inzicht te krijgen in de morfologische veranderingen over de periode 1990-2000. Het onderzoek hiervoor is uitgevoerd in de periode 2002 – 2004. Door de afname van het aantal meetpunten was over de periode 1990-2000 beperkte informatie beschikbaar over het zwevend stofgehalte in het oppervlaktewater. Het ontwikkelen van een methode waarmee perioden met verschillende dichtheid van gegevens goed met elkaar vergeleken kunnen worden is daarom onderdeel van deze studie geweest.

1.3 Leeswijzer

Deze rapportage bestaat uit 2 onderdelen:

- Beschrijven van de trends in de morfologische processen in de Rijn-Maasmonding over de periode 1990-2000 (hoofdttekst).
- Vastlegging van een methode om sedimentbalansen voor de Rijn-Maasmonding op te kunnen stellen (bijlagen).

Hoofdstuk 2 beschrijft de belangrijkste karakteristieken in de Rijn-Maasmonding. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de methode en statistische technieken om de sedimentbalans voor de periode 1990-2000 op te stellen. In dit hoofdstuk staan tevens de uitgangspunten en

randvoorwaarden die gelden met betrekking tot de opgestelde sedimentbalans. In hoofdstuk 4 wordt op basis van deze metingen nagegaan welk deel van de verandering van de bodemligging is veroorzaakt door bagger- en stortwerk en welk deel is veroorzaakt door sedimentatie en erosie. Hoofdstuk 5 gaat vervolgens in op het 'zwevende stof beeld' van de Rijn-Maasmonding. Op basis van de informatie uit hoofdstuk 4 en 5, geeft hoofdstuk 6 een schatting van het bodemtransport in de Rijn-Maasmonding. In hoofdstuk 7 wordt deze informatie geïntegreerd tot een balans waarmee de bewegingen van slib- en zand door de Rijn-Maasmonding kunnen worden beschreven. Hierin worden ook de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek gepresenteerd.

De hoofdstekst van dit rapport geeft een beschrijving van de methode op hoofdlijnen en de morfologische trends die uit de berekeningen volgen. In de bijlagen bij dit rapport is een gedetailleerde toelichting en onderbouwing op de gebruikte methoden en statistische technieken per riviertak uitgewerkt.

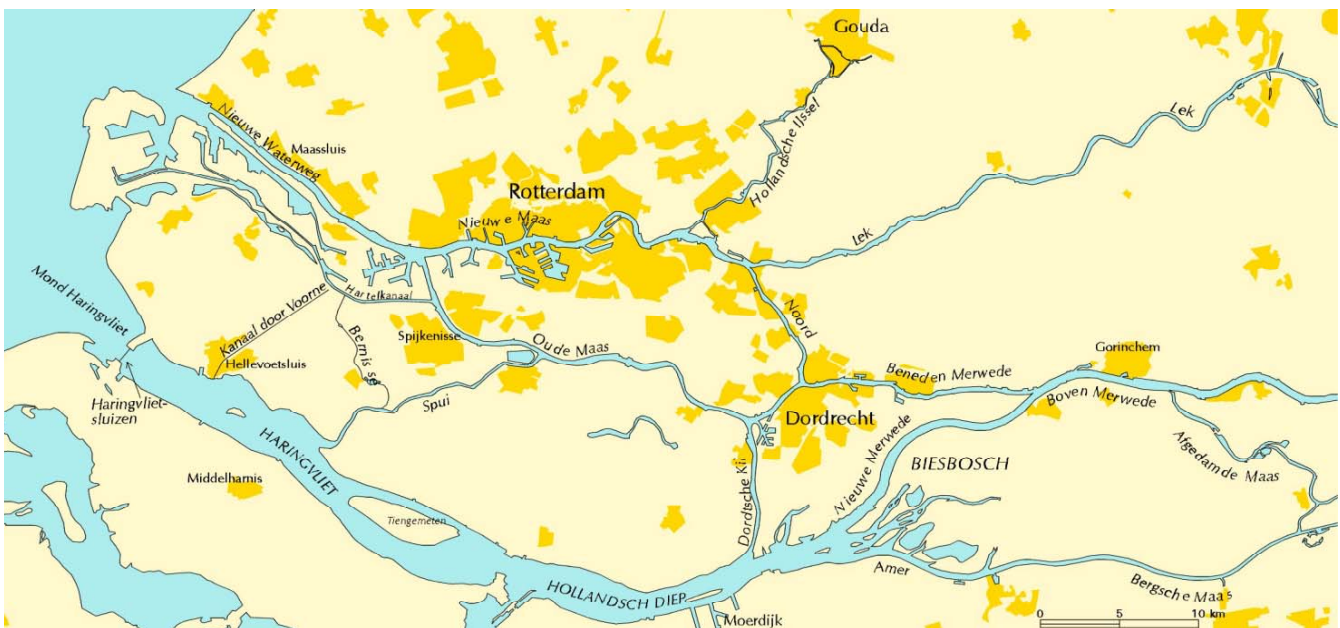
2. Gebiedsbeschrijving

2.1 Inleiding

De Rijn-Maasmonding, ook wel benedenrivierengebied of noordelijk deltabekken genoemd, vormt de overgang van de benedenlopen van de Rijn (Waal en Lek) en de Maas naar de zee en strekt zich uit:

- aan de noordrand vanaf de kop van de splitsingsdam bij Hoek van Holland waar de Nieuwe Waterweg uitmondt in de Noordzee (exclusief de Maasmond), tot aan Nieuwpoort aan de Lek (km 969), inclusief de Hollandsche IJssel tot aan de waaiersluis bij Gouda.
- aan de zuidrand van de Haringvlietsluizen, via de Volkeraksluizen tot aan Hedikhuizen aan de Bergsche Maas (km 226) en Woudrichem aan de Boven Merwede (km 951), juist bovenstrooms van het splitsingspunt met de Afgedamde Maas.

Figuur 2.1
Overzicht Rijn-Maasmonding



Kenmerkend voor de huidige Rijn-Maasmonding zijn de vele splitsingen en samenvloeiingen van riviertakken (zie figuur 2.1). Het merendeel van deze riviertakken is ontstaan in de periode vóór de aanleg van de Deltawerken toen het gebied nog een natuurlijk estuarium was en de invloed van zee en rivieren de ontwikkeling van het gebied bepaalden. In de huidige situatie spelen de afvoer van de rivieren en de indringing van het getij nog steeds een belangrijke rol in de ontwikkeling van het gebied, zij het in beperkte mate ten opzichte van vroeger door de aanleg van de Volkerak- en Haringvlietsluizen. In de loop der tijd is de invloed

van de mens op het systeem sterk toegenomen. Dit heeft niet alleen gevolgen gehad voor de waterbeweging in de Rijn-Maasmonding; ook het proces van sedimentatie (verondieping) en erosie (verdieping) in het gebied is hierdoor beïnvloed. Deze veranderde ligging van de rivierbodem heeft op haar beurt weer een verandering van de waterbeweging tot gevolg. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste karakteristieken en processen die de morfologische veranderingen in de Rijn-Maasmonding bepalen.

2.2 Waterbeweging

De waterbeweging in de Rijn-Maasmonding wordt bepaald door de volgende factoren:

1. de binnendringing van het getij vanuit zee;
2. het lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen;
3. de aanvoer van water door de rivieren en;
4. de wind.

De invloed van getij is merkbaar door de afwisseling van eb en vloed waardoor de waterstanden in het gebied variëren. De invloed van getij is het sterkst op de volgende riviertakken langs de noordrand: de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en het westelijk deel van de Oude Maas. Van daaruit dringt het getij gereduceerd (verzwakkend) door naar het zuidelijk en oostelijk deel. In een groot deel van het gebied treedt over het algemeen viermaal per dag een omkering van de stroomrichting op. Op de Lek, de Beneden Merwede en de benedenloop van de Maas treedt dit proces echter alleen op bij lagere rivierafvoeren (kleiner dan 3000 m³/s bij Lobith). Op de Boven en Nieuwe Merwede, en bij hoge afvoeren ook op de Lek, Beneden Merwede en benedenloop van de Maas zal geen omkering van de stroomrichting optreden

Door dichtheidsverschillen tussen het zoete rivierwater en het zoute zeewater komt in delen van het gebied een situatie voor met een zoute onderlaag en een zoete bovenlaag voor, waarvan de stroomrichtingen soms tegengesteld zijn.

In het westelijk deel van de Rijn-Maasmonding is het verloop van de waterstand op zee meestal bepalend voor de waterstanden die optreden. In het oosten worden de waterstanden in het algemeen bepaald door de rivierafvoeren van de Rijn en de Maas. Naarmate de afvoer hoger wordt zullen ook de waterstanden toenemen. In het middendeel van de Rijn-Maasmonding op de overgang van rivier naar zee bepaalt het samenspel van de grootte van de rivierafvoer en het getijverloop op zee de waterstand op de riviertakken. Zowel door hoge rivierafvoeren als door storm kunnen hoge waterstanden optreden, waarbij de combinatie van deze twee invloeden voor extreem hoge waterstanden zorgt.

De verdeling van de restafvoer (dit is het verschil tussen het eb- en vloeddebiet over één getijperiode) over de Rijn-Maasmonding wordt met behulp van het spuiregime van de Haringvlietsluizen beïnvloed. Er wordt gestreefd naar het handhaven van een minimale restafvoer via de

Maasmond van ongeveer 1.500 m³/s om de verzilting van de mond van de Hollandsche IJssel zo lang mogelijk tegen te gaan.

Ook de wind heeft invloed op de waterbeweging in het gebied. Opwaaiing op zee leidt tot een verhoging van de waterstand waardoor de afvoer van rivierwater naar zee wordt belemmerd. Ook binnen het gebied, met name tijdens stormcondities, kan opwaaiing de waterbeweging beïnvloeden waardoor de waterstanden in vergelijking met normale omstandigheden, afhankelijk van de windrichting, zowel hoger als lager kunnen uitvallen (Houwing, 2001).

2.3 Sedimenttransport

De sedimenten in de Rijn-Maasmonding zijn afkomstig van de rivieren en de zee. Via de Waal wordt de grootste hoeveelheid riviersediment aangevoerd. In de Lek en de Maas wordt de aanvoer van sediment voor een groot deel tegengehouden door stuwen. Bij hoge rivierafvoeren worden deze stuwen geheven. Daardoor neemt vooral de bijdrage van de Lek aan het sedimenttransport toe. Het aangevoerde sediment is ruwweg te onderscheiden in grofkorrelig zand (korrelgrootte > 0,063 mm) en fijnkorrelig cohesief slib (korreldiameter < 0,063 mm).

Zand is relatief gezien zwaar, waardoor het niet gemakkelijk in het water blijft zweven. Daardoor wordt zand voornamelijk over de rivierbodem getransporteerd. Bij hogere snelheden van het rivierwater (als gevolg van hogere afvoeren) kan zand echter ook in het water blijven zweven en in gesuspendeerde vorm getransporteerd worden.

Slib bestaat voor circa 10% uit organische stof en voor circa 90% uit anorganische bestanddelen. Slib kan door de rivieren gemakkelijk over grote afstanden worden verplaatst omdat het een vrij lage valsnelheid heeft, waardoor het in het rivierwater blijft zweven en niet op de rivierbodem terechtkomt. Sedimentatie van slib vindt vooral plaats in de langzame stromende delen van het Haringvliet en het Hollandsch Diep, eenzijdig aangetakte rivieren zoals de Hollandsche IJssel en de Afgedamde Maas, en in havens.

Vanuit zee vindt import van marien sediment plaats. Dit materiaal wordt voornamelijk afgezet in de Maasmond, op de Nieuwe Waterweg en in de Rotterdamse havens. Vanwege de gegarandeerde diepgang voor de zeescheepvaart wordt dit gebied op diepte gehouden middels baggeren.

2.4 Morfologische ontwikkeling

Kenmerkend voor de eerste periode (de jaren 70 van de vorige eeuw) na de afsluitingen is de grootschalige sedimentatie langs de zuidrand van de Rijn-Maasmonding en ten oosten van Dordrecht. Ook langs de noordrand treedt sedimentatie op, maar de vaarweg wordt hier op diepte gehouden vanwege de scheepvaartbelangen.

In de rivieren in het middendeel van het gebied treedt in het algemeen erosie op, waarbij de meeste erosie optreedt in de noord-zuid

georiënteerde riviertakken en in het benedenstroomse deel van de Oude Maas.

Tijdens de tweede periode (de jaren 80 van de vorige eeuw) heeft deze ontwikkeling zich in grote lijnen doorgezet. Alleen de rivieren ten oosten van Dordrecht lijken min of meer een (dynamisch) evenwicht te bereiken. Op enkele plaatsen treedt zelfs enige verdieping op ten gevolge van (onderhouds)baggerwerk. De verondieping langs de zuidrand blijft min of meer hangen net ten westen van de oversteek van de Dordtsche Kil naar Moerdijk, omdat veel sediment wordt afgevangen door de vaargeul van de Dordtsche Kil naar de haven van Moerdijk. Langs de noordrand lijkt de Nieuwe Waterweg te verdiepen (door onvoldoende onderhoud: niet opvullen van verdiepingen). De andere rivieren langs de noordrand worden op diepte gehouden. In het middendeel lijkt de Noord een dynamisch evenwicht te bereiken.

3. Methode

3.1 Inleiding

Dit rapport is vooral een beschrijving van de verdeling van het sediment dat door de Rijn en de Maas wordt aangevoerd over de verschillende takken van de Rijn-Maasmonding naar zee. Om deze sedimentstromen in beeld te kunnen brengen is een sedimentbalans opgesteld voor het gebied voor de periode 1990-2000. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare meetgegevens zoals: lodingen, debieten, metingen van het zwevend stofgehalte en gebaggerde volumina (paragraaf 3.2). Deze basisgegevens zijn vertaald naar een bodemverandering op een bepaalde riviertak. De stappen die nodig zijn om een sedimentbalans op te kunnen stellen voor de Rijn-Maasmonding zijn samengevat in paragraaf 3.3. Voor meer informatie over de uitgevoerde bewerkingen wordt verwezen naar de bijlagen bij dit rapport.

3.2 Basisgegevens

3.2.1. Lodingen

De bodemligging van het zomerbed van alle riviertakken is in de periode 1990-2000 regelmatig gepeild met behulp van echolodgingen. Deze metingen zijn uitgevoerd door de meetdienst van Zuid-Holland. Gedurende de gehele periode is dezelfde meetmethode gehanteerd (single-beam). Deze single-beam gegevens zijn ruimtelijk geïnterpoleerd tot een gebiedsdekkende beeld van de bodemhoogte. De instellingen bij deze interpolatie zijn voor alle jaren gelijk, waardoor de bodemligging van verschillende jaren direct met elkaar kunnen worden vergeleken.

Tabel 3.1

Overzicht beschikbare lodingen per riviertak en moment van opname (X = geen lodingen uitgevoerd).

Riviertak	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Nieuwe Waterweg	Sep	Aug	Sep	Aug	Jul	Aug	Mei	Sep	Jun	Mrt
Nieuwe Maas	Aug	Jul	Jul	Mei	Jun	Sep	Mrt	Jul	Jun	Mrt
Hollandsche IJssel	Feb	Mei	Feb	Jan	Apr	Jan	Mrt	Nov	Sep	Okt
Hartelkanaal										
Oude Maas	Dec	Nov	Nov	Dec	Dec	x	Jan	x	Jan	Jan
Spui	x	x	Mei	x	x	Jun	x	Okt	x	x
Dordtse Kil	Nov	Sep	Nov	Sep	Okt	Sep	Okt	Nov	Okt	Aug
Haringvliet	x	x	Mei	x	x	Jun	x	Okt	x	x
Hollandsch Diep	Sep	Jun	Dec	Nov	Sep	x	Feb	Feb	Jan	Jan
Amer	Jul	Jun	Okt	Sep	Aug	Aug	Okt	Dec	Aug	Sep
Bergsche Maas	Mei	Apr	Mrt	Mrt	Mer	Nov	Okt	Okt	x	Feb
Dordtsche Biesbosch	x	Jan	x	Aug	x	Apr	x	x	x	Apr
Afgedamde Maas	x	Jul	Nov	x	Jul	x	Jun	x	Apr	x

Riviertak (vervolg)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Boven Merwede	Okt	Aug	Okt	Nov	Dec	Nov	Okt	Nov	Feb	Jul
Nieuwe Merwede	Mei	Mei	Jul	Mei	Jun	Aug	Mei	x	Jan	Jun
Beneden Merwede	Mrt	Feb	Feb	Feb	Jul	Jan	Feb	Mrt	Feb	Jul
Noord	Mrt	Jan	Jan	Jan	Feb	Jan	Feb	Feb	Feb	Jun
Lek	Jun	Mei	Aug	Mei	Mei	Aug	Sep	Nov	Jul	Mei

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de beschikbare gegevens per riviertak. Om een goed beeld te verkrijgen van de trend in de bodemligging is het belangrijk om meerdere lodingen in een periode te hebben, omdat de trend in bodemverandering wordt verstoord door incidentele gebeurtenissen zoals hoge rivierafvoeren of baggerwerk op een bepaalde locatie.

3.2.2. Bagger- en stortwerk

Op verschillende plaatsen in de Rijn-Maasmonding wordt de vaarweg op een minimale diepte gehouden om voldoende diepgang te houden voor zee- en binnenvaartschepen. Daarnaast is er gedurende de gehele periode 1990-2000 stortwerk uitgevoerd in het kader van onderhoud van rivier-, oever- en kunstwerken. Ook worden diepe putten in het westelijk deel van het Haringvliet (put van Boele) en buiten het stroomvoerend deel van de Nieuwe Waterweg t.h.v. km 1016 gebruikt om zeezand te ontzilten. Dezelfde hoeveelheid gestort materiaal wordt ook verwijderd uit het systeem. De hoeveelheid materiaal die netto gestort wordt, is zo gering dat dit op de morfologische ontwikkeling in de periode 1990-2000 geen invloed heeft. Stortwerk is in deze studie daarom buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3.2

Gemiddelde hoeveelheid bagger- en stortwerk per riviertak (m³/jaar) in de periode 1990 – 2000 (NB=niet bekend).

Riviertak	Bagger-hoeveelheden (m ³ /jaar)
Nieuwe Waterweg (inclusief Maasmond)	5.271.267
Havens Europoort	NB
Nieuwe Maas	463.888
Hollandsche IJssel	83.403
Hartelkanaal	NB
Oude Maas	50.607
Spui	300
Dordtse Kil	57.991
Haringvliet ¹	-2.953
Hollandsch Diep	274.305
Aandeel Oversteek	182.702
Amer	44.851
Bergsche Maas	58.845
Biesbosch	NB
Nieuwe Merwede	69.133
Beneden Merwede	46.502
Noord	24.767

¹ Netto hoeveelheid (dus incl. stortwerk)

Riviertak	Bagger-hoeveelheden (m ³ /jaar)
Lek	111.451
Afgedamde Maas (noord en zuid)	12.743
Totaal (excl. Europoort, Hartelkanaal en Biesbosch)	6.827.594

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de gemiddelde hoeveelheid baggerwerk per riviertak dat in de periode 1990-2000 is uitgevoerd (opgave RWS Directie Zuid-Holland). Bijlage D geeft een overzicht van de gebaggerde hoeveelheden uitgesplitst naar deeltrajecten en de baggervakken die voor de periode 1982-1992 is gehanteerd door Van Dreumel. In het Europoortgebied worden door het gemeentelijk havenbedrijf Rotterdam eveneens grote hoeveelheden sediment gebaggerd in onder andere de havens, het Calandkanaal, en de Maasmond. Deze hoeveelheden gebaggerd sediment konden echter niet worden achterhaald voor deze sedimentbalans, maar liggen in de orde van miljoenen kubieke meters per jaar.

Door omrekeningen van hoeveelheden naar hoeveelheden vaste stof kunnen grote onnauwkeurigheden zitten in deze gegevens. Ook de daadwerkelijk gebaggerde hoeveelheden kunnen nog wel eens afwijken van de hoeveelheden die bekend zijn uit bestekken. Deze bron van onzekerheid is ook geconstateerd bij de calibratie van het 1D morfologisch model van de Rijn-Maasmonding (Mol, 2004). Een andere onzekerheidsbron is de herkomst en samenstelling van het gebaggerd sediment. Hieronder valt niet alleen de vraag of het sediment afkomstig is van zee of de rivieren. Ook het percentage zand of slib dat gehanteerd wordt in berekeningen is een bron van onzekerheid.

3.2.3. Zwevend stof

Het aantal locaties in de Rijn-Maasmonding waar het zwevend stofgehalte is gemeten in de periode 1990-2000 is beperkt. Bijlage C geeft een overzicht van de gebruikte meetstations met de bijbehorende gemiddelde zwevend stofgehalten voor de periode 1990-2000.

Het zwevend stofgehalte voor deze stations is bepaald door óf in situ rivierwater te centrifugeren (en vervolgens in een laboratorium vast te stellen hoeveel vaste stof door de centrifuge is afgescheiden) óf in een laboratorium een watermonster te filteren en na te gaan hoeveel droge vaste stof in het filter aanwezig is. In de meeste gevallen gaat het om twee-wekelijkse of maandelijkse metingen op circa 3 meter onder de waterspiegel aan het eind van een getijperiode.

Uit modelberekeningen (Sloot, 2000) en theoretische proeven (diagram Hjulström) volgt dat ook fijn zand (< 0,5 mm) via zwevend transport kan worden verplaatst. De zwevend stof metingen die in de Rijn-Maasmonding zijn uitgevoerd geven onvoldoende inzicht om binnen deze studie hierin onderscheid aan te brengen. In deze studie is daarom verondersteld dat al het zwevend materiaal volledig uit slib bestaat (korrelgrootte <0,063 mm) en dus geen fijn zand bevat. Dit wordt toegerekend aan het bodemtransport.

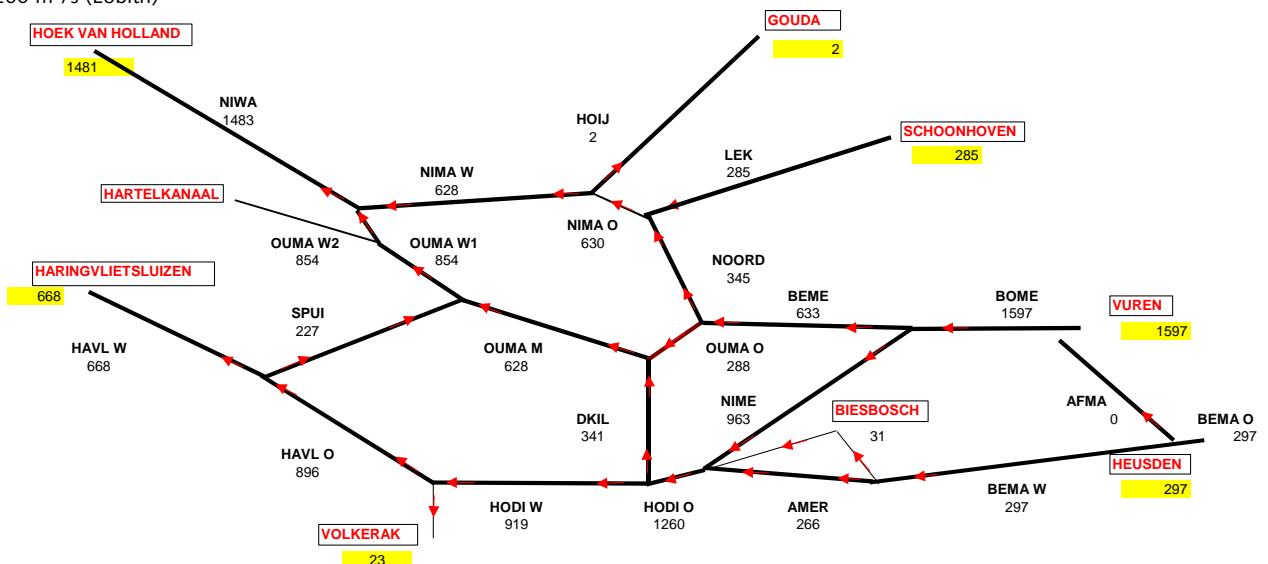
Bij het opstellen van de sedimentbalans is bovendien verondersteld dat het organische deel in het zwevend stof niet via biologische processen wordt afgebroken. Er is dus van uitgegaan dat het organisch stofgehalte van sediment van de toplaag van de waterbodem overeenkomt met dat van het zwevend sediment in het rivierwater.

3.2.4. Debieten

Dagelijkse debieten van de riviertakken en de afvoerverdeling van het rivierwater bij splitsingspunten zijn noodzakelijk om de dagelijkse zwevend stofgehalten op een bepaald punt te vertalen naar een dagelijkse vracht op deze punten in de Rijn-Maasmonding. Voor het berekenen van de vracht op de rivieranden is voor deze sedimentbalans gebruik gemaakt van de beschikbare debietmetingen bij Lobith, Tiel, Hagestein en Lith.

Daarnaast zijn debietgegevens op de riviertakken van belang om het zwevend stofgehalte aan het begin en eind van de riviertakken te bepalen. Hierbij is uitgegaan van restdebieten die zijn berekend met behulp van een hydraulisch model (SOBEK NDB1_0_0). Voor deze sedimentbalans is uitgegaan van een gemiddelde afvoersituatie (2200 m³/s). Een andere mogelijkheid is om uit te gaan van de afvoer waarmee het gemiddelde sedimenttransport wordt gerepresenteerd (ca. 3000 m³/s). Aanbevolen wordt om de gevoeligheid van deze aanname op de eindbalans in een vervolg te onderzoeken.

Figuur 3.1
Overzicht grootte en stromingsrichting jaargemiddelde reststroom (m³/s) in de Rijn-Maasmonding bij een afvoersituatie van 2200 m³/s (Lobith)



Figuur 3.1 geeft een overzicht van de grootte en stromingsrichting van de restdebieten in de Rijn-Maasmonding. In deze sedimentbalans is uitgegaan van de situatie met een gesloten Beerdam. In december 1997 is hierin een opening gegraven waardoor ook afvoer via het Hartelkanaal plaatsvindt en de afvoer via de Nieuwe Waterweg is afgenomen. De

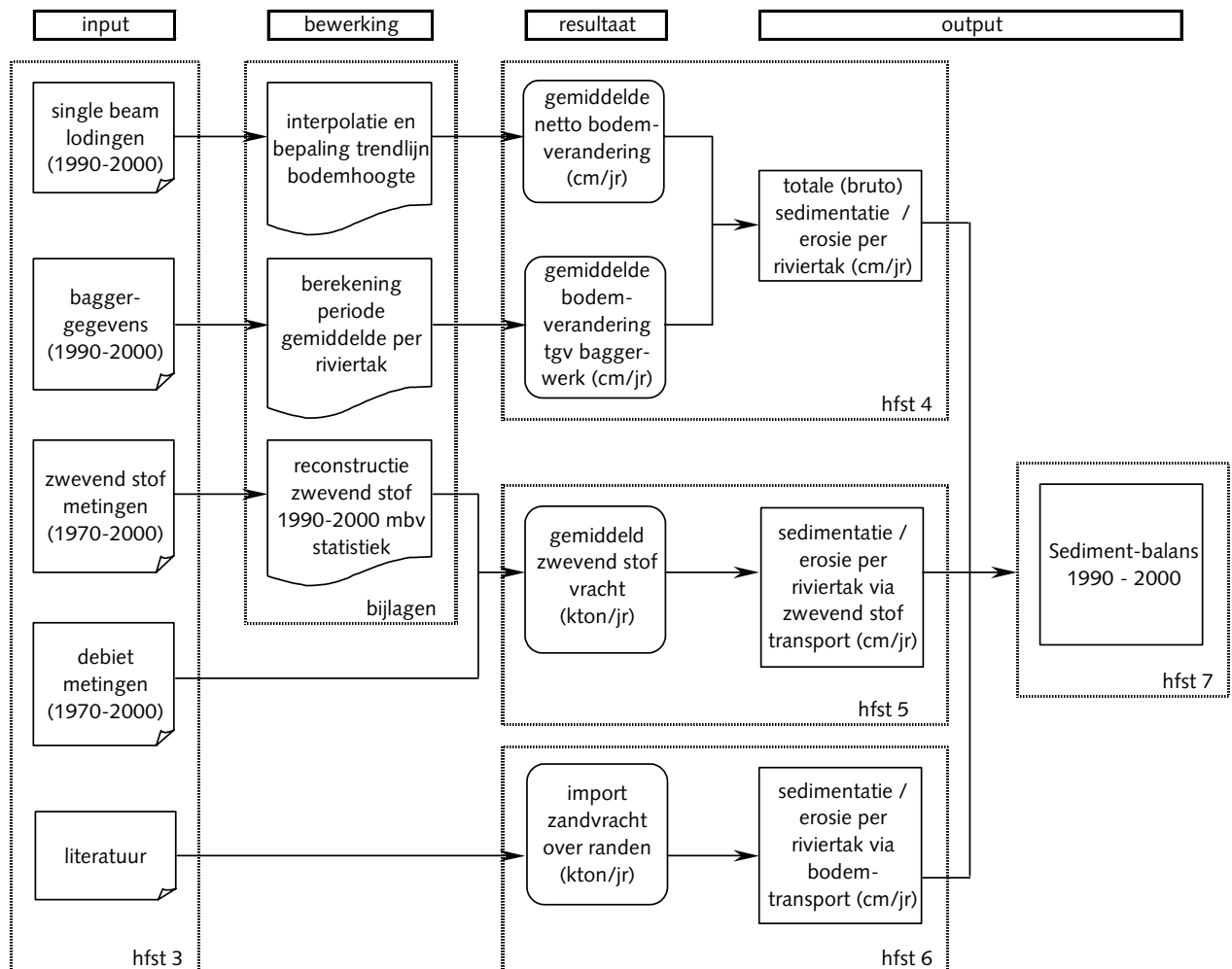
hoeveelheid die via de Maasmond stroomt is echter gelijk gebleven. Op de totale sedimentbalans zal dit geen invloed hebben. Lokaal kan het transport echter wel verschillen. Het gaat echter om een relatief korte periode, waarvoor weinig gegevens beschikbaar zijn om een morfologische trend te kunnen bepalen. Aanbevolen wordt rondom de Beerdam metingen uit te voeren om de gevolgen te kunnen bepalen.

3.3 Toelichting aanpak sedimentbalans

In voorgaande paragrafen zijn de basisgegevens beschreven waarvan in deze studie is uitgegaan. Om te komen tot een sedimentbalans voor de Rijn-Maasmonding is het noodzakelijk deze gegevens te vertalen naar vergelijkbare grootheden. Hiervoor zijn drie onderdelen uitgewerkt:

- natuurlijke verandering bodemligging inclusief het uitgevoerde bagger-/stortwerk;
- verandering bodemligging t.g.v. zwevend stof transport;
- verandering bodemligging t.g.v. bodemtransport.

Figuur 3.2
Stroomschema sedimentbalans



Figuur 3.2 geeft een schematisch overzicht van de stappen die zijn gevolgd om te komen tot een sedimentbalans. De resultaten van afzonderlijke onderdelen zijn beschreven in hoofdstuk 4 t/m 6. De

stappen die per onderdeel zijn gezet en de aannamen worden in de navolgende paragrafen kort toegelicht. Een uitgebreide toelichting en onderbouwing van de methode is opgenomen in de bijlagen bij dit rapport.

3.3.1. Natuurlijke verandering bodemligging

Stap 1: van loding naar gemiddelde bodemverandering

De beschikbare lodingen zijn allereerst geïnterpoleerd tot gebiedsdekkende kaarten. Dit levert een bodemligging per gridcel van 10x10 m. Hieruit is voor opeenvolgende jaren de gemiddelde bodemligging voor een gehele riviertak bepaald. Uit deze opeenvolgende jaargemiddelden is handmatig een trendlijn bepaald. Daarna zijn op basis van deze trendlijn twee jaren geselecteerd die deze trend representeren. Hieruit is vervolgens de gemiddelde bodemverandering (in cm/jaar) bepaald. Deze is voor de gehele rivier representatief gesteld (zie kader en figuur 3.3).

Stap 2: corrigeren voor baggerinspanning

De hierboven beschreven bewerkingen geven inzicht in de netto veranderingen. Een deel hiervan wordt veroorzaakt door (nautisch onderhouds)baggerwerk. Hiervoor is gecorrigeerd door de baggergegevens die door de districten van RWS zijn opgegeven ook te vertalen naar een gemiddelde verandering in bodemligging per jaar (in cm/jaar).

De beschikbare gegevens zijn uitgemiddeld over de gehele riviertak en omgerekend naar een verandering in bodemligging. In de riviertakken waar slechts in een beperkt gebied gebaggerd wordt (zoals bijv. de oversteek naar Moerdijk in het oostelijk deel van het Hollandsch Diep) kan dit een vertekend beeld opleveren doordat de daadwerkelijke bodemverandering wordt uitgespreid over de gehele riviertak.

Rekenvoorbeeld bodemverandering en correctie voor baggerwerk

Uit de trendlijn van de bodemhoogte volgt dat de Bergsche Maas ongeveer 2 cm/jaar erodeert. Deze trend wordt goed beschreven door de jaren 1991 en 1997. Door nu per gridcel het gemiddelde verschil per jaar te berekenen en deze te middelen over de gehele riviertak kon de gemiddelde bodemverandering bepaald worden op -2,1 cm/jaar.

Het totale horizontale oppervlak van het rivierbed (exclusief de uiterwaarden) van de Bergsche Maas bedraagt $485 \cdot 10^4 \text{ m}^2$. In totaal is er over de periode 1990-2000 $588 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ gebaggerd. Door dit te delen door het totale oppervlak leidt dit tot een bodemverandering van:

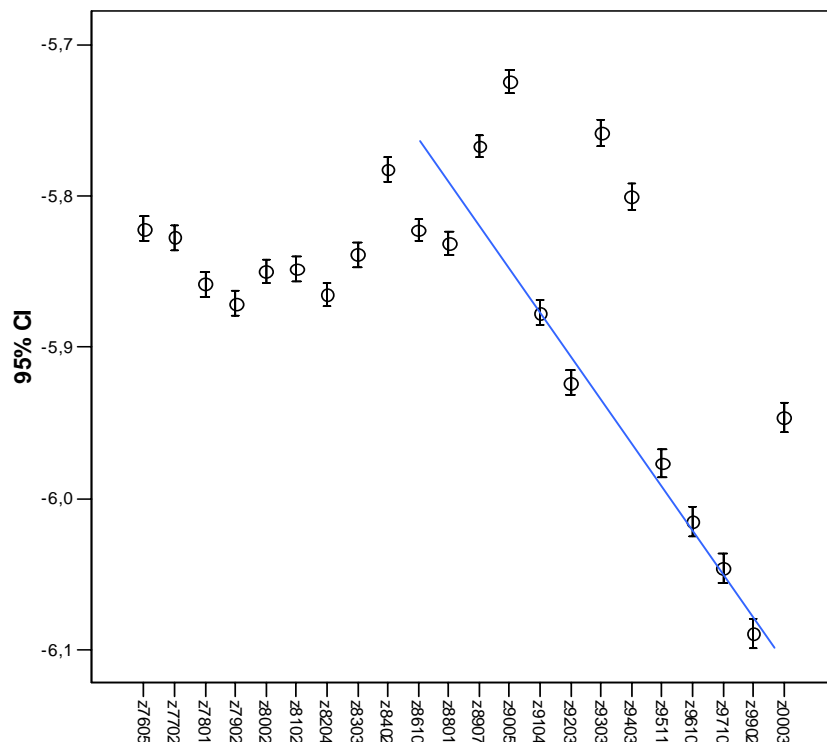
$$58\,845 \text{ m}^3 / 485 \cdot 10^4 \text{ m}^2 = 0,012 \text{ m/jaar} = 1,2 \text{ cm/jaar.}$$

De bodemveranderingen die door transport van zand en slib wordt veroorzaakt bedraagt:

$$-2,1 \text{ cm/jaar} + 1,2 \text{ cm} = -0,9 \text{ cm/jaar (erosie)}$$

De gebaggerde hoeveelheid (in m³/jaar) is gedeeld door het totale horizontale oppervlak van de rivier dat zo dicht mogelijk tegen de oeverlijn aan ligt (in m²). De uiterwaarden vallen hier buiten en zijn dus niet meegenomen. Dit leidt tot een gemiddelde bodemverandering veroorzaakt door baggeren (in cm/jaar).

Figuur 3.3
Voorbeeld geschetste trendlijn Bergsche Maas. De verticale as geeft de bodemligging in m tov NAP, de horizontale as het moment van loden jaar en maand.



3.3.2. Verandering bodemligging t.g.v. zwevend stof transport

Stap 3: van meting naar dagelijkse gehalte

Het aantal meetstations waar het zwevend stofgehalte bepaald wordt, is beperkt. Vanaf 1992 is het aantal meetstations sterk teruggebracht. Dit geldt ook voor de meetfrequentie: deze varieert van 1x per 2 weken tot 1x per maand (zie bijlage B en C).

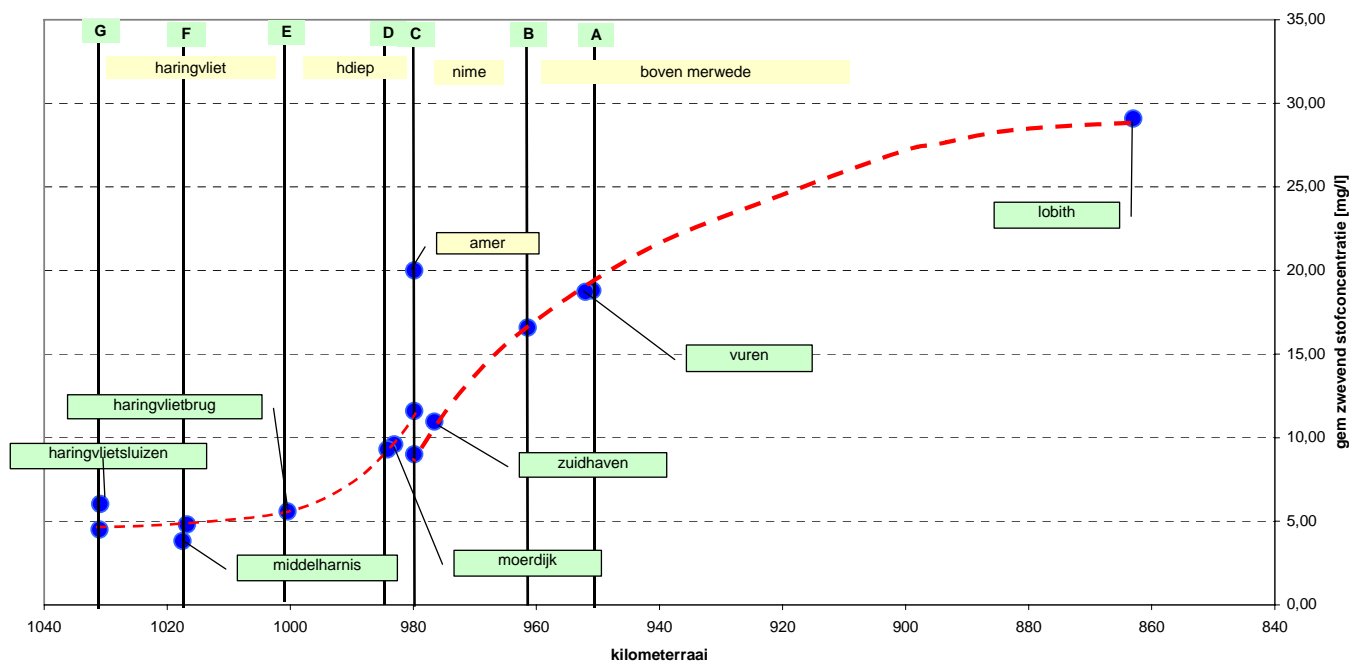
Op basis van metingen uit voorgaande perioden zijn daarom statistische relaties afgeleid voor meerdere locaties in de Rijn-Maasmonding. Voor het traject Lek-Nieuwe Maas-Nieuwe Waterweg en het traject Waal-Boven Merwede-Nieuwe Merwede-Hollandsch Diep-Haringvliet is de relatie gebaseerd op het meetstation Lobith. Voor het traject Maas-Bergsche Maas-Amer zijn de afgeleide relaties gebaseerd op de afvoer van Lith. Bovenstaande aanpak leidt tot dagelijkse waarden voor het zwevend stofgehalte op locaties waar voorheen meetstations waren.

Stap 4: van meetpunt naar knooppunt

Stap 3 leidt tot dagelijkse zwevend stofgehalten op de verschillende locaties in de Rijn-Maasmonding. Hierdoor kan voor elke riviertak op minstens één locatie een gemiddelde zwevend stofgehalte over de periode 1990-2000 worden berekend.

Figuur 3.4

Verloop gemiddelde zwevend stofgehalte (mg/l) voor het traject Lobith-Haringvlietsluizen



Van de meeste riviertakken is geen dagelijkse afvoer beschikbaar. Er kan dus ook geen dagelijkse vracht berekend worden op de meetpunten waar zwevend stof gemeten wordt. Bij een sedimentbalans gaat het echter vooral om de hoeveelheid sediment die over een bepaald traject achterblijft (sedimentatie) of bijkomt (erosie). Daarom is bepaald met welke factor het zwevend stofgehalte over een bepaald riviertraject toe- of afneemt. In figuur 3.4 is een voorbeeld weergegeven voor het traject Lobith tot de Haringvlietsluizen. In deze figuur zijn de concentraties van de metingen grafisch weergegeven en is het gemiddelde verloop geschetst in de lengterichting van de rivier. Hierbij is aangenomen dat het zwevend stofgehalte een vloeiend verloop heeft. Dit is voor elk riviertraject gedaan (zie bijlage C). Uit deze grafieken zijn vervolgens de zwevend stofgehalten afgelezen aan het begin en het einde van ieder riviertak.

Stap 5: zwevend stof vracht op randen

De rivierranden van de Rijn-Maasmonding liggen op de Lek, Boven Merwede en Bergsche Maas bij respectievelijk Schoonhoven, Vuren en Hedel. Om gemiddelde vrachten over een periode op deze locaties te berekenen zijn gegevens nodig over het debiet en het zwevend stofgehalte ter plekke. Beide gegevens zijn niet voor alle takken voor handen. Met name voor het zwevend stofgehalten geldt dat het aantal waarnemingen voor de periode 1990-2000 beperkt is. Voor de Lek en de Bergsche Maas geldt bovendien dat er geen nabij gelegen meetstation is waar zwevend stof gemeten is over de gehele periode.

Uit analyse voor het station Vuren is gebleken dat grote verschillen kunnen ontstaan tussen de gemiddelde concentraties berekend op basis van gemeten waarden en de eerder aangegeven statistisch berekende

waarden (zie bijlage B). Dit werkt door in de vrachten die hieruit worden berekend. Om dit te ondervangen is de relatie bepaald tussen de vrachten bij Vuren en Lobith in de jaren dat er wél een vracht is gemeten bij Vuren. Met de gevonden relatie zijn voor alle dagen dat er bij Lobith vrachten bekend zijn de vrachten voor Vuren berekend.

Voor de Maas ligt de rand van het gebied in de Bergsche Maas bij kilometerraai 226,43. Omdat daar geen meetpunten in de buurt liggen is de zwevend stofvracht en het zwevend stofgehalte van Lith gebruikt. Na 1992 is geen zwevend stofgehalte meer gemeten bij Lith; ook dagelijkse metingen ontbreken. Deze reeks is daarom aangevuld door de relatie te bepalen tussen de zwevend stof vracht en het debiet bij Lith. Hieruit is vervolgens de gemiddelde vracht over de periode 1990-2000 bepaald. Voor het station Lith is dus verondersteld dat de relatie tussen het debiet en het zwevend stofgehalte in de periode 1990-2000 gelijk is aan de voorgaande perioden (zie bijlage B).

Ook voor de Lek is geen meetpunt beschikbaar op de rand van het gebied in de Lek bij kilometerraai 970 (zie bijlage B). Daarom is gebruik gemaakt van de gegevens van Hagestein. Na 1992 is geen zwevend stofgehalte meer gemeten bij Hagestein; ook dagelijkse debietmetingen ontbreken. Deze reeks is daarom aangevuld door de relatie te bepalen tussen de zwevend stof vracht en het debiet bij Lobith. Hieruit is vervolgens de gemiddelde vracht over de periode 1990-2000 bepaald. Voor het station Hagestein is dus verondersteld dat de relatie tussen het debiet en het zwevend stofgehalte in de periode 1990-2000 gelijk is aan de voorgaande perioden.

Stap 6: verdeling zwevend stof over de riviertakken

Op de meeste riviertakken zijn geen dagelijkse afvoeren beschikbaar. Er kan dus ook geen dagelijkse vracht berekend worden op de meetpunten waar zwevend stof gemeten wordt. Bij een sedimentbalans gaat het echter vooral om de hoeveelheid sediment die over een bepaald traject achterblijft (sedimentatie) of bijkomt (erosie). Het is daarom belangrijker te weten met welke factor de zwevend stofvracht aan het eind van een riviertak toe- of afneemt. Aangenomen is dat het debiet over een riviertak gelijk blijft en dat de zwevend stofvracht met dezelfde factor verandert als het zwevend stofgehalte. De zwevend stofvracht aan het eind van een riviertak is vervolgens berekend door de zwevend stofvracht te vermenigvuldigen met de verhouding van zwevend stofgehalte aan het begin en eind van deze riviertak.

Stap 7: samenvloeiingen en splitsingen

De Rijn-Maasmonding kenmerkt zich door de vele samenvloeiingen en vertakkingen. Het zwevend stof dat via de rivieranden het gebied binnenkomt, verspreidt zich via deze splitsingen en samenvloeiingen.

Bij een splitsing is aangenomen dat het zwevend stofgehalte aan het begin van de benedenstroomse riviertakken gelijk is aan de concentratie aan het eind van de bovenstroomse tak. M.a.w. de concentraties op de knooppunten rondom de splitsing is voor alle riviertakken gelijk. De vracht zal zich dus naar evenredigheid van de restdebieten verdelen.

Bij een samenvloeiing van riviertakken is aangenomen dat de zwevend stofgehalten zullen mengen evenredig met het debiet. De totale vracht aan het begin van de benedenstroomse riviertak zal daarmee gelijk zijn aan de som van de vrachten aan het eind van de twee bovenstroomse riviertakken die bij elkaar komen.

Rekenvoorbeeld splitsing en samenvloeiing

Bij Werkendam splitst de Boven Merwede zich in de Nieuwe Merwede en de Beneden Merwede (knooppunt B). De gemiddelde concentratie aan het eind van de Boven Merwede (km 961) is 16,6 mg/l. Voor het zwevend stofgehalte aan het begin van zowel de Beneden Merwede (km 961,4) als de Nieuwe Merwede (km 961) is eveneens uitgegaan van 16,6 mg/l.

Bij Deeneplaat voegen de Nieuwe Merwede en de Amer zich samen en stromen uit in het Hollandsch Diep (knooppunt C). De concentratie in de Nieuwe Merwede (km 980) is 9 mg/l, in de Amer (km 262) bedraagt deze 20 mg/l. De restdebieten in de Nieuwe Merwede en de Amer bedragen respectievelijk 963 m³/s en 297 m³/s; in het Hollandsch Diep is deze 1260 m³/s. De concentratie aan het begin van Hollandsch Diep (km 980) is nu:
$$(9 \cdot 963 + 20 \cdot 297) / (1260) = 11,6 \text{ mg/l}$$

Stap 8: van sedimentatie en erosie naar bodemverandering

Uit stap 3 tot en met 7 volgt uiteindelijk de hoeveelheid materiaal die op een bepaald riviertraject is achtergebleven (sedimentatie) of is verdwenen (erosie).

Rekenvoorbeeld omrekening zwevend stofvracht

Uit de berekeningen voor de Nieuwe Merwede volgt dat er $356 \cdot 10^3$ ton slib per jaar achterblijft. Omgerekend komt dit neer op een hoeveelheid van $274 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Dit leidt tot een bodemverandering van 3 cm/jaar bij een horizontaal oppervlak langs de oeverlijn (exclusief uiterwaarden) van $915 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ van de Nieuwe Merwede.

Om de hoeveelheid zwevend stofvracht te vertalen naar (profielgemiddelde) verandering in de bodemhoogte (m) is aangenomen dat 1 ton gesedimenteerd slib 1300 kg per m³ weegt en dus equivalent is met een volume van 0,77 m³. Hierbij is aangenomen dat de porositeit van gesedimenteerd slib op de rivierbodem 0,8 bedraagt en de soortelijke massa van droog slib inclusief 5% organische stof gelijk is aan 2,5 ton/m³. Deze hoeveelheid (in m³) is uiteindelijk gedeeld door het totale horizontale oppervlak van de riviertak langs de oeverlijn (exclusief de uiterwaarden) om te komen tot een gemiddelde bodemverandering.

3.3.3. Verandering bodemligging t.g.v. bodemtransport

Over het gemiddeld bodemtransport op de verschillende takken van de Rijn-Maasmonding is weinig bekend. Daarom is de bodemverandering door zandtransport afgeleid uit de voorgaande stappen. Hierbij is in feite de omgekeerde weg gevolgd als voor het zwevend stof transport.

Stap 9: van bodemverandering naar sedimentatie/erosie

Het resultaat van stap 1 tot en met 8 is een gemiddelde bodemverandering per riviertak. Het verschil tussen de bodemverandering die volgt uit stap 2 en stap 8 moet verklaard worden uit het zandtransport. Door de resterende bodemverandering (m) te vermenigvuldigen met het horizontale oppervlak van het rivierbed langs de oeverlijn, exclusief de uiterwaarden (m²) kan de hoeveelheid materiaal die sedimenteert dan wel erodeert worden bepaald (m³).

Stap 10: zandvracht op de rivierranden

Voor de binnenkomende zandvracht vanaf de rivieren is enkel gebruik gemaakt van literatuur. Uit metingen en daaruit afgeleide sedimentbalans voor de Rijntakken (Ten Brinke, 2001) volgt dat bij Vuren jaarlijks gemiddeld 0,75 megaton zand de Rijn-Maasmonding binnenkomt. Voor de Lek bedraagt deze hoeveelheid 0,15 megaton/jaar. Dit is tevens gebaseerd op de studie van Ten Brinke. Voor de Maas zijn geen gegevens voor Lith bekend uit de literatuur. Voor het bepalen van de zandvracht voor deze rivierrand is aangenomen dat de zand-slib verhouding voor Waal en de Maas gelijk zijn. Dit is gebleken uit de voorgaande periode (Van Dreumel, 1995). Dit leidt tot een zandvracht van 0,16 megaton/jaar die via de Maas het gebied binnenkomt.

Stap 11: verdeling zand over de riviertakken

De zandvracht op de randen is vervolgens doorvertaald naar de benedenstrooms gelegen knooppunten. Hierbij zijn de zandvrachten gecorrigeerd voor de berekende hoeveelheid achtergebleven of geërodeerd materiaal die volgt uit stap 9. Hierbij is een omrekenfactor van 1,3 gehanteerd om de hoeveelheid te vertalen naar een vracht. Aangenomen is dat er geen transport van zand over de bodem via de Haringvlietsluizen en de Volkeraksluizen het gebied verlaat, omdat de drempel in deze constructies dit beperkt. Bij samenvloeiingen zijn de berekende zandvrachten bij elkaar opgeteld. Bij splitsingen is in eerste instantie uitgegaan van zandverdeling over de riviertakken die over de periode 1982-1992 is berekend (Van Dreumel, 1995). Deze verhouding is op enkele plaatsen aangepast om een sluitende balans te krijgen (zie tabel 6.1). Opgemerkt wordt dat in de Rijn-Maasmonding hierover nog weinig bekend is op basis van metingen. Dit is daarmee een van de onzekerheidsbronnen voor deze sedimentbalans.

4. Verandering bodemligging

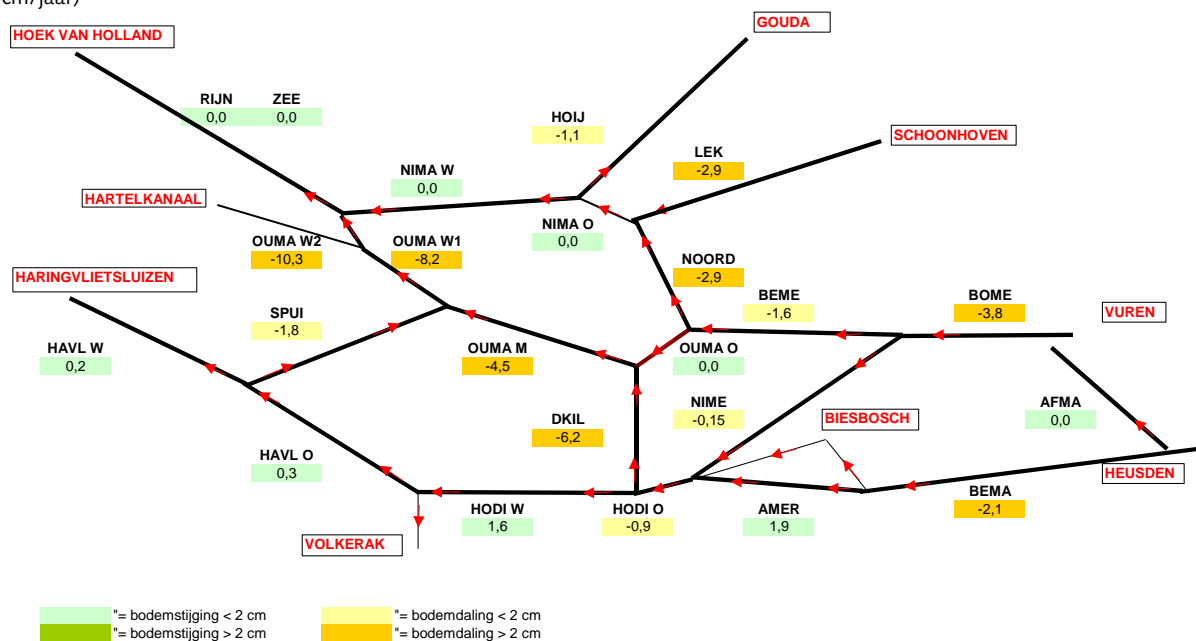
4.1 Inleiding

Veranderingen in de ligging van de rivierbodembodem zijn het gevolg van erosie- en sedimentatieprocessen enerzijds en menselijke ingrijpen in de vorm van bagger- en stortwerk anderzijds. De netto veranderingen in bodemhoogte volgen direct uit lodingen. De waargenomen trends op de verschillende riviertakken in de periode 1990 – 2000 worden beschreven in paragraaf 4.2. Een deel van deze veranderingen is het gevolg van bagger- en stortwerk. Paragraaf 4.3 gaat daar dieper op in. Het verschil tussen beide wordt veroorzaakt door sedimentatie en erosie. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de sedimentatie en erosie die volgt uit het zwevend stof beeld voor de Rijn-Maasmond. Het resultaat van hoofdstuk 4 en hoofdstuk 4 en 5 is het uitgangspunt geweest voor de berekening van de sedimentatie en erosie van zand ten gevolge van bodemtransport. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 6. De totale balans voor de Rijn-Maasmond wordt beschreven in hoofdstuk 7.

4.2 Trends in bodemhoogte

Voor het volgen van de veranderingen van bodemligging in riviertakken wordt gebruik gemaakt van de resultaten van periodiek uitgevoerde lodingen. Deze metingen geven een beeld of de bodem van een riviertak over een bepaalde periode stijgt of daalt.

Figuur 4.1
Trends in bodemligging periode 1990-2000 (in cm/jaar)



Figuur 4.1 geeft de trend weer die is waargenomen in de lodingen op de riviertakken in de Rijn-Maasmonding voor de periode 1990-2000. Voor de Rijn-Maasmonding levert dit het volgende beeld. In de zuidrand is sprake van een geleidelijke verondieping. In het middengebied en de meest oostelijke riviertakken (Bergsche Maas, Lek, Boven, Beneden en Nieuwe Merwede) neemt de gemiddelde diepte juist toe. In de noordrand is de bodem min of meer constant. Hieronder volgt een korte beschrijving per riviertak

- De bodem stijgt gemiddeld over de gehele riviertak het snelst in de Amer (ca. 2 cm per jaar).
- In de Bergsche Maas daarentegen daalt de bodem (2 cm/jaar).
- Ter plaatse van de oversteek van de Dordtsche Kil naar het industrieterrein bij Moerdijk in het Hollandsch Diep Oost is sprake van een lichte daling van de bodem (0,9 cm/jaar). Hier wordt intensief gebaggerd, bovendien is de onderhoudsdiepte toegenomen om de haven bereikbaar te maken voor schepen met grotere diepgang. In de rest van het Hollandsch Diep is echter sprake van een stijging van de bodem met een snelheid van 1,6 cm/jaar.
- In het Haringvliet is nauwelijks sprake van een stijging van de bodem (enkele mm's per jaar).
- In de riviertakken van de Merwede (Boven, Beneden en Nieuwe Merwede) is juist sprake van een geleidelijke verdieping van de bodem. Deze gaat het snelst op de Boven Merwede (gemiddeld 3,8 cm/jaar). Op de Beneden Merwede neemt de diepte toe met 1,6 cm per jaar. Op de Nieuwe Merwede is de variatie tussen de onderlinge jaren groot waardoor een trend moeilijk is waar te nemen (Fioole en Steenkamp, 2000). Binnen de periode 1990 –2000 is gemiddeld over de Nieuwe Merwede sprake van zowel stijging als daling van de rivierbodem. In de periode 1990-2000 ligt de bodem gemiddeld op NAP – 4,10 m. Als trend is uitgegaan van een geleidelijke daling met 0,15 cm/jaar.
- In het middengebied (Oude Maas, Noord, Spui en Dordtsche Kil) is op bijna alle riviertakken sprake van een geleidelijke verdieping van de rivierbodem. Uitzondering vormt het gedeelte van de Oude Maas ter hoogte van Dordrecht vanaf de splitsing met de Noord en de Beneden Merwede tot aan de aftakking van de Dordtsche Kil. Hier is de trend dat er geen stijging van de bodem is (0 cm/jaar).
- De verdieping gaat het snelst in de meest westelijke gelegen delen van de Oude Maas (4,5 tot ruim 10 cm/jaar) en de Dordtsche Kil (6,2 cm/jaar).
- In het Spui is sprake van een geleidelijke daling van de bodem met 1,8 cm per jaar.
- Op de Noord en de Lek is de trend een daling van de bodem met ongeveer 3 cm/jaar. Voor de Lek geldt echter dat het bodemverloop grillig is. Binnen de periode is gemiddeld over de Lek niet alleen sprake van een daling van de bodem; in opeenvolgende jaren wordt gemiddeld over de Lek ook een stijging waargenomen.
- In de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg wordt intensief gebaggerd (zie paragraaf 4.3). Hierdoor blijft de bodem vrijwel constant (veranderingen in de bodemligging zijn kleiner dan enkele mm's per jaar).

-
- Op de Hollandsche IJssel is sprake van een verdieping. Dit kan voornamelijk worden toegeschreven aan de forse baggerinspanning in het kader van de sanering van de Hollandsche IJssel in 1997.
 - De bodem van de Afgedamde Maas is vrijwel gelijk gebleven over de periode 1990-2000.

Een kwantitatieve vergelijking met de voorgaande periode 1982-1992 is moeilijk te maken, omdat voor de periode 1990 - 2000 is uitgegaan van de trend in verandering van bodemhoogte en niet van een inhoudsverandering (op basis van kuberingen). Het beeld dat in de periode 1990-2000 wordt waargenomen komt in grote lijnen overeen met de periode 1982-1992. Een stijging van de bodem in de zuidelijke takken (Hollandsch Diep, Haringvliet en Amer). Ook de daling van de bodem van de Oude Maas in de omgeving van Dordrecht en de daling in de overige delen van de Oude Maas treedt in beide perioden op. De inhoudstoename op de Merweden zijn min of meer gelijk gebleven. Hetzelfde geldt voor de geringe veranderingen in de Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg. Op basis van een ruwe inschatting lijkt het er op dat de bodem van de Bergsche Maas en de Lek sneller daalt dan in de voorgaande periode (factor 10 verschil). In het Haringvliet en Hollandsch Diep lijkt juist sprake te zijn van een afname van de snelheid waarmee de bodem stijgt. Dit wordt verklaard door het feit dat de aanvoer van zwevend stof vanaf de rivieren ook is afgenomen.

4.3 Verandering bodemligging door bagger- en stortwerk

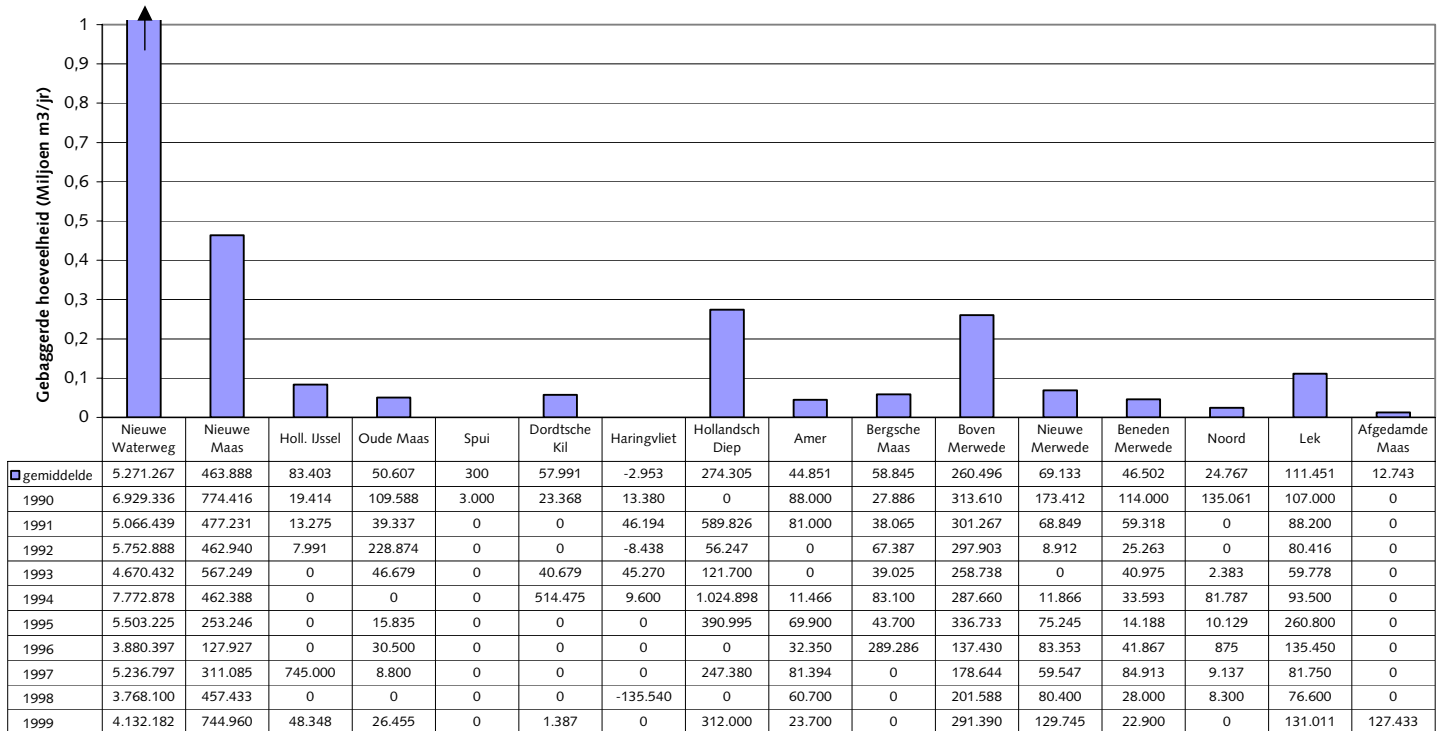
Op verschillende plaatsen in het gebied wordt de rivierbodem op een minimale diepte gehouden ten behoeve van de scheepvaart. In deze studie is het bagger- en stortwerk dat in de periode 1990 – 2000 is uitgevoerd, verwerkt tot een gemiddelde bagger/stort- hoeveelheid voor de periode 1990 – 2000 per riviertak. De Rotterdamse havens zijn hierbij buiten beschouwing gelaten wegens het ontbreken van voldoende gegevens. Figuur 4.2 geeft een overzicht in welke takken gemiddeld het meest gebaggerd wordt. Tevens zijn in deze figuur de jaarlijkse totalen per riviertak weergegeven in de tabel.

In de periode 1990 – 2000 is totaal gemiddeld circa 21,5 miljoen m³/jaar sediment uit de Rijn-Maasmonding weggebaggerd. Dit is inclusief de Maasmond en de havens in het Europoortgebied. Verreweg het meeste baggerwerk is uitgevoerd in de omgeving van het havengebied van Rotterdam. Totaal is hier circa 10 miljoen m³ weggebaggerd. Dit is 46% procent van de totale hoeveelheid in de gehele Rijn-Maasmonding. Ongeveer 30% van de totale hoeveelheid in de Rijn-Maasmonding wordt op de benedenlopen van de Neder-Rijn, Waal en Maas gebaggerd. De Merweden nemen hiervan het grootste deel (circa 3/5) voor hun rekening. De Bergsche Maas en Amer ongeveer 1/4 deel. Op de Lek wordt relatief gezien het minst gebaggerd.

Behalve op de noordrand en de oostelijke riviertakken wordt ook intensief gebaggerd op het Hollandsch Diep in de oversteek van de Dordtsche Kil naar het industrieterrein bij Moerdijk en het deel ten zuiden van de Sassenplaat in het verlengde van de oversteek. Op de

overige riviertakken wordt minder dan 5% van de totale hoeveelheid gebaggerd. In de zeezandlokatie ter hoogte van Hellevoetsluis is in de periode 1990-2000 zeezand gestort, dat later weer is gebaggerd. Netto heeft dit geresulteerd in een kleine hoeveelheid gebaggerd sediment.

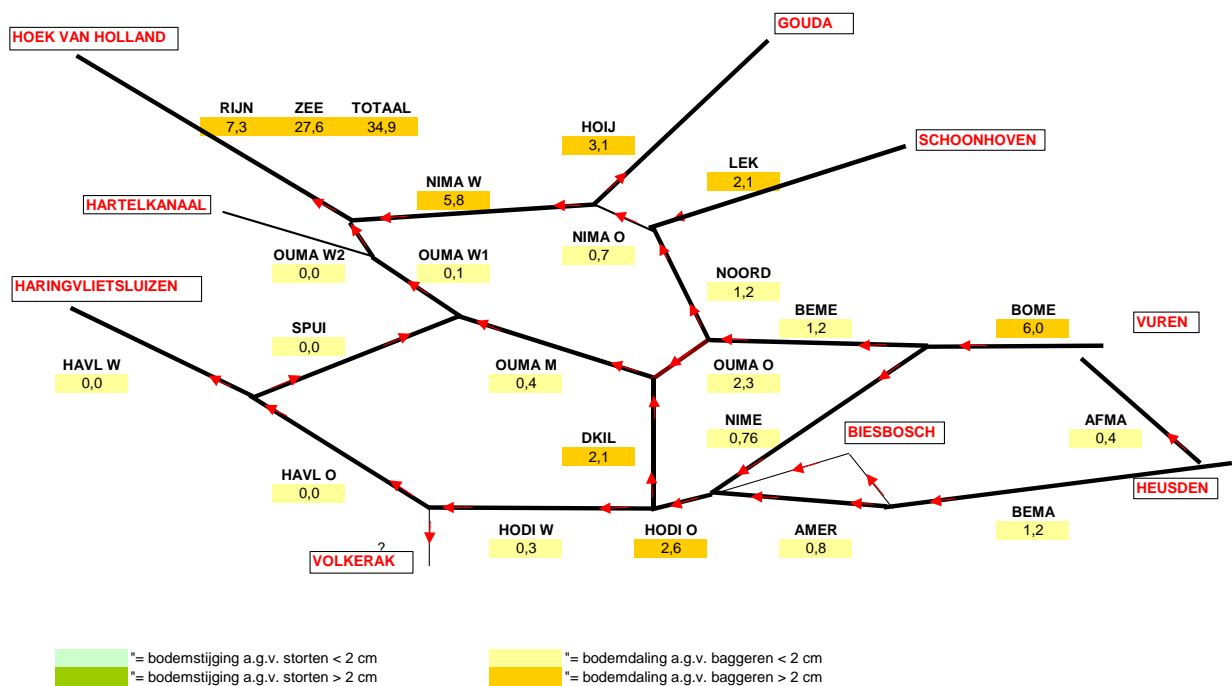
Figuur 4.2
Overzicht baggerwerk (gemiddelde en jaarlijkse totalen per riviertak).



In vergelijking met de voorgaande balansperiode (1982-1992) is in totaal minder gebaggerd in de Rijn-Maasmonding. Ook het stortwerk is in de periode 1990-2000 minder geweest in vergelijking met 1982-1992. In de periode 1982-1992 werd op meerdere plaatsen zand gewonnen. Voor de periode 1990-2000 heeft stortwerk enkel plaatsgevonden om sediment te ontzilten. Rekening houdend met gerealiseerd stortwerk is het totaal gebaggerde volume met 17% afgenomen in de periode 1990 – 2000 ten opzichte van de vorige balansperiode. De verdeling van baggerwerk over de Rijn-Maasmonding is echter gelijk gebleven. Ook in de periode 1982-1992 is het meeste baggerwerk in de noordrand en op de Merweden uitgevoerd. Relatief gezien (ten opzichte van de totale hoeveelheid in de periode) is de bijdrage van de Lek en de Bergsche Maas en Amer groter in de periode 1990 – 2000.

Figuur 4.3 geeft voor de gehele Rijn-Maasmonding een overzicht van de gemiddelde laagdikte die als gevolg van baggeren is weggehaald. Hierbij is de gemiddelde gebaggerde hoeveelheid gedeeld door het totale horizontale oppervlak van het rivierbed (exclusief de uiterwaarden).

Figuur 4.3
Gemiddelde dikte gebaggerde laag
periode 1990-2000 (cm/jaar)



De grootste veranderingen in bodemhoogte zijn ook op die plaatsen te zien waar het meest intensief gebaggerd wordt (Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Boven Merwede). Op de Lek is de gebaggerde hoeveelheid (in m^3) relatief gezien klein. Deze riviertak is echter smal waardoor dit zich vertaalt in een dikke laag weggebaggerd sediment. Het omgekeerde geldt voor het Hollandsch Diep. Daar wordt hoofdzakelijk gebaggerd in de oversteek van de Dordtsche Kil naar het industrieterrein bij Moerdijk. Dit komt tot uiting in de grote hoeveelheden baggerwerk en relatief grote bodemverandering ten gevolge van baggeren in het Hollandsch Diep Oost.

Voor een aantal riviertakken geldt dat het baggerwerk zich concentreert op een specifieke locatie binnen een riviertraject. In de balans die in het kader van deze studie is opgesteld zijn deze specifieke locaties niet apart onderscheiden: de gebaggerde hoeveelheden zijn gemiddeld over de gehele periode en vertaald in jaarlijks gemiddelde bodemverandering (cm/jr) voor de hele rivier.

Hieronder wordt per riviertak aangegeven waar de grootste baggerinspanning is gerealiseerd in de periode 1990-2000.

- In de Nieuwe Waterweg is ca 63% gebaggerd tussen km 1017 en km 1024, de zgn. bocht van Maassluis.
- In de Nieuwe Maas is gemiddeld ca 94% gebaggerd tussen km 1004,7 en km 1012, het deel van de rivier waar de grote Rotterdamse havens liggen.
- Op het Hollandsch Diep is uitsluitend gebaggerd in de oversteek van de Dordtsche Kil naar het industrieterrein bij Moerdijk en het deel ten zuiden van de Sassenplaat in het verlengde van de oversteek.

-
- Dit geldt ook voor het aangrenzende zuidelijk deel van de Dordtsche Kil (tussen km 983,6 en km 988,6).
 - Op de Oude Maas heeft de de grootste baggerinspanning plaatsgevonden op het traject km 988 en km 991,5 (het gebied in de buurt van de Heinenoordtunnel).
 - Op de Boven Merwede is in de hele rivier gebaggerd. Het merendeel (70-90%) is uitgevoerd tussen km 952,5 en 956,5 ter hoogte van Gorinchem.
 - Op de Beneden Merwede is het grootste deel van het baggerwerk uitgevoerd in het gedeelte direct benedenstrooms van het splitsingpunt met de Nieuwe Merwede.
 - Op de Nieuwe Merwede is vooral tussen km 961,3 en km 968,0 gebaggerd.
 - In de Hollandsche IJssel is in de jaren 1993 t/m 1996 en 1998 niet gebaggerd. In 1997 heeft een sanering van de vaargeul plaatsgevonden. In dat jaar is bijna 90% van de totaal gebaggerde hoeveelheid in de gehele periode weggehaald.
 - In de Amer is in de periode 1990 – 2000 gedurende drie jaar niet gebaggerd. Baggerwerk heeft alleen in het bovenstroomse deel van de Amer plaatsgevonden.
 - In de jaren 1997 t/m 2000 is niet gebaggerd in de Bergsche Maas. De grootste hoeveelheid is in 1996 gebaggerd in het benedenstroomse deel van de rivier (tussen km 246,2 en 250,0
 - Op de Noord zijn in 1990 en 1994 de grootste hoeveelheden gebaggerd, respectievelijk 33% en 55% van de totaal in de periode 1990 – 2000 gebaggerde hoeveelheid. Dit is verspreid over de gehele rivier
 - Op de Lek is het baggerwerk eveneens verspreid over de gehele rivier.
 - Het overgrote deel van het baggerwerk op de Afgedamde Maas is uitgevoerd in 1999 in het Heusdens Kanaal en in het deel van de Afgedamde Maas ten noorden van de Wilhelminasluis. Vóór 1999 is geen baggerwerk uitgevoerd.

5. Zwevend stoftransport

5.1 Inleiding

Vanaf de rivieren en de Noordzee worden grote hoeveelheden sediment aangevoerd naar de Rijn-Maasmonding. Dit sediment kan grofweg in twee categorieën worden ingedeeld te weten zand (>0,063 mm) en slib (<0,063 mm). Aanvoer van slib vindt vooral plaats via zwevend transport. Aanvoer van zand overwegend via bodemtransport. Dit hoofdstuk beschrijft op welke riviertakken in de periode 1990-2000 erosie of sedimentatie van zwevend stof heeft plaatsgevonden en tot welke veranderingen van de bodemligging dit heeft geleid. De effecten van zandtransport over de bodem zullen in hoofdstuk 6 worden besproken. Paragraaf 5.2 gaat in op de verschillen in zwevend stof gehalte tussen de riviertakken van de Rijn-Maasmonding in de periode 1990 – 2000. Via de zwevend stof vracht op de randen (paragraaf 5.3) is dit vertaald naar een gemiddelde verandering in bodemhoogte (paragraaf 5.4). De werkwijze wordt uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3 en bijlage B en C.

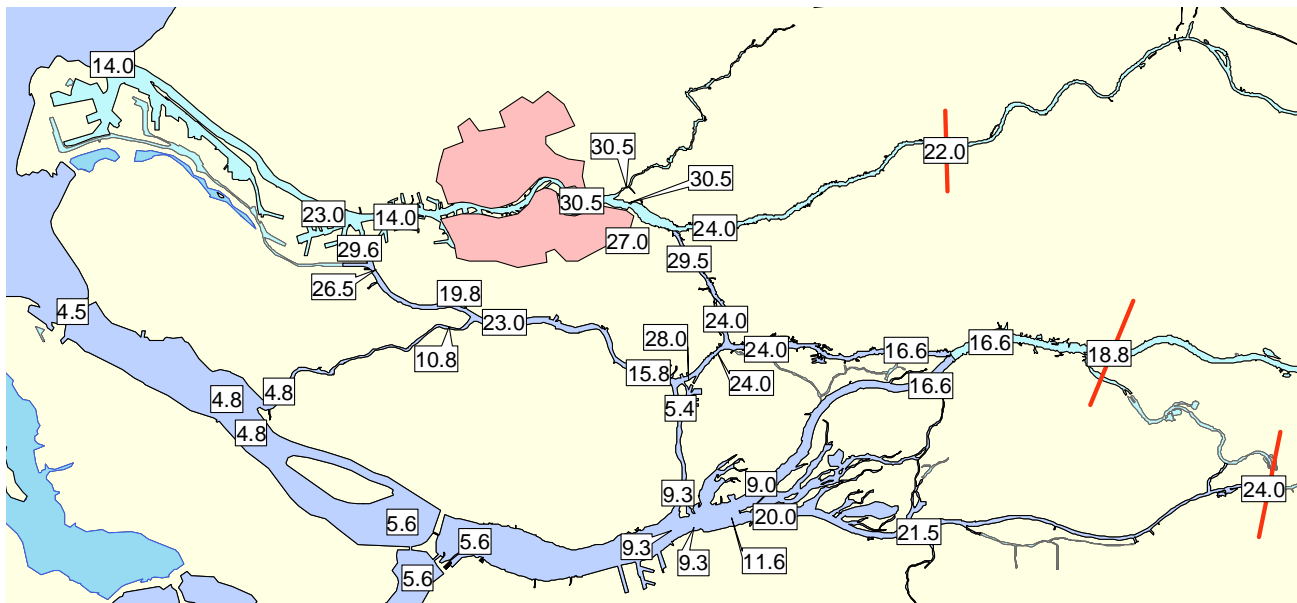
5.2 Verloop in zwevend stofgehalte

Het verloop van het zwevend stofgehalte over een bepaald traject is van belang om te bepalen of erosie dan wel sedimentatie heeft plaatsgevonden. Een toename van de concentratie in stroomafwaartse richting is het gevolg van erosie; een afname duidt op sedimentatie. Het aantal locaties in de Rijn-Maasmonding waar het zwevend stofgehalte is gemeten in de periode 1990-2000 is beperkt. Om de verdeling van het sediment via zwevend stof transport in te kunnen schatten zijn alle beschikbare metingen sinds de afsluiting van het Haringvliet gebruikt om vrachten aan begin en eind van de riviertakken te bepalen.

Het verloop van de zwevend stofgehalten in de riviertakken van de Rijn-Maasmonding wordt beschreven aan de hand van de stroomrichting van het restdebiet bij gemiddelde omstandigheden (afvoer Lobith van 2200 m³/s). In de meeste riviertakken van de Rijn-Maasmonding stroomt het restdebiet in westelijke richting. Het Spui, en de Dordtsche Kil vormen hierop een uitzondering. Onder gemiddelde omstandigheden stroomt het restdebiet in deze takken normaliter van zuid naar noord. Bij hogere afvoeren keert de stroomrichting van het restdebiet echter om en is sprake van een noord-zuid gerichte stroming.

Figuur 5.1

Gemiddeld zwevend stofgehalte (mg/l) en de richting van de reststroom in de riviertakken van de Rijn-Maasmonding.



Figuur 5.1 laat het volgende beeld zien:

- Over het gehele traject van de Boven Merwede (Vuren), Nieuwe Merwede, Hollandsch Diep tot aan de Haringvlietsluizen treedt sedimentatie op. De sedimentatie is het sterkst op de Nieuwe Merwede. De (gemiddelde) zwevend stofgehalte neemt over een traject van 18 km af van 16,6 mg/l tot 9 mg/l aan het eind van de Nieuwe Merwede bij Anna Jacominaplaat. Waar de Amer (Maaswater) zich bij het Rijnwater voegt, neemt de concentratie toe doordat zwevend stof wordt aangevoerd vanaf de Amer. Hierdoor stijgt de gemiddelde concentratie tot 11,6 mg/l. Vervolgens neemt de concentratie in westwaartse richting geleidelijk af en bereikt bij de Haringvlietsluizen een waarde van 4,5 mg/l.
- In de (Bergsche) Maas/Amer vanaf Lith tot aan het Hollandsch Diep treedt sedimentatie op: het zwevend stofgehalte neemt af van 24 mg/l tot 20 mg/l. Over de Amer neemt de concentratie iets meer af dan over de Bergsche Maas, door de verbreding van de rivier en de aftakkingen naar de Biesbosch waardoor de stroomsnelheid afneemt en zwevend stof kan sedimenteren.
- Op het traject Beneden Merwede - Oude Maas treedt tot aan de Nieuwe Waterweg erosie op. Op de Beneden Merwede en de Oude Maas-oost neemt het zwevend stofgehalte toe van 16,6 mg/l op het splitsingspunt met de Nieuwe Merwede bij Werkendam tot resp. 24 mg/l en 28 mg/l bij de splitsingen met de Noord en de Dordtsche Kil nabij Dordrecht. Op de Oude Maas, ter plaatse van de aftakking van zowel de Dordtsche Kil als het Spui neemt de concentratie af doordat de concentratie op deze takken lager is. Bij de uitmonding van de Oude Maas in de Nieuwe Maas is de concentratie opgelopen tot bijna 30 mg/l.
- Bij gemiddelde afvoer is de richting van de restafvoer in de Dordtsche Kil van zuid naar noord. Op de Dordtsche Kil neemt de concentratie

-
- van zuid naar noord af van 9,3 mg/l tot 5,4 mg/l. Bij afvoeren hoger dan 5000 m³/s (te Lobith) keert de richting van de restafvoer om en loopt van noord naar zuid. Uit de praktijk is bekend dat de Dordtsche Kil erodeert. De beschikbare gegevens zijn echter ontoereikend om te kunnen bepalen welke omstandigheden bepalend zijn voor de morfologische ontwikkeling en het netto sedimenttransport.
- Hetzelfde geldt voor het Spui. De richting van de restafvoer keert bij afvoeren hoger dan 3000 m³/s (te Lobith) om van zuid-noord naar noord-zuid. De concentratie van het zwevend stof neemt gaande van noord naar zuid af van 10,8 mg/l tot 4,8 mg/l. Uit de praktijk volgt echter dat erosie optreedt in deze riviertak. Dit duidt er op dat hogere afvoeren de morfologische ontwikkeling bepalen. Er is echter te weinig bekend over de sedimenttransporten onder verschillende afvoeromstandigheden.
 - Op het gehele traject van de Lek tot aan de Nieuwe Maas ten oosten van de Hollandsche IJssel treedt erosie op. Op de Lek neemt het zwevend stofgehalte geleidelijk toe van 20 mg/l bij Hagestein tot 24 mg/l ter hoogte van Krimpen aan de Lek. Ten gevolge van het hogere zwevend stof gehalte in de Noord vertoont het zwevend stof verloop een sprong ter plaatse van de samenvloeiing. Het gehalte in de Nieuwe Maas neemt vervolgens toe van 27 mg/l tot 30,5 mg/l ter plaatse van de Hollandsche IJssel.
 - In de Noord is net als op de Beneden Merwede en de Lek sprake van erosie. In deze riviertak neemt het gehalte toe van 24 mg/l tot 29,5 mg/l bij de samenvloeiing met de Lek.
 - Op de Nieuwe Maas vanaf de Hollandsche IJssel sedimenteert zwevend stof. De concentratie neemt af tot aan het splitsingspunt met de Oude Maas. Deze afname bedraagt 16 mg/l. Door de samenvloeiing met de Oude Maas neemt de concentratie toe van 14 mg/l tot 23 mg/l. In de Nieuwe Waterweg neemt vervolgens de concentratie verder af en bedraagt aan het benedenstroomse einde weer 14 mg/l.

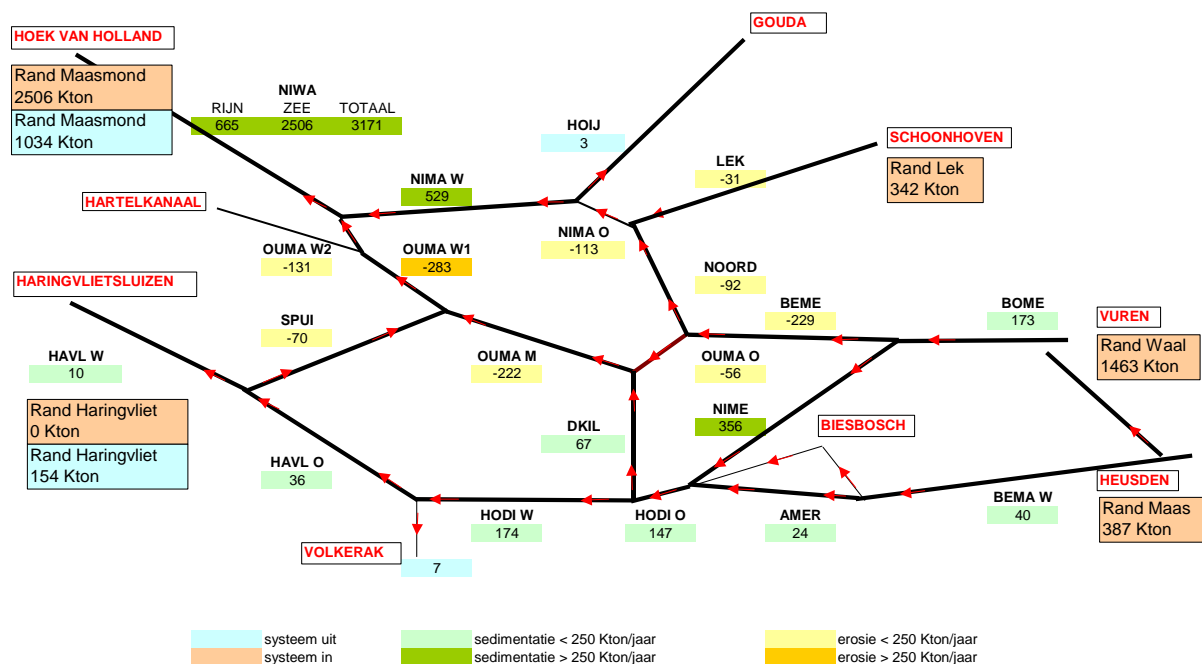
Voor de gehele Rijn-Maasmonding leidt dit tot het volgende beeld. Op de zuidrand is langs het gehele traject sprake van een afname van het zwevend stofgehalte. Dit duidt op sedimentatie van slibrijk materiaal. In het middendeel (Beneden Merwede, Oude Maas, Dordtsche Kil en Spui) en op de Lek tot aan de Hollandsche IJssel is sprake van een toename van het zwevend stofgehalte. Dit duidt op erosie van slib.

5.3 Aanvoer van slib

In paragraaf 5.2 is op basis van het concentratieverloop beschreven op welke riviertakken erosie danwel sedimentatie van zwevend stof is opgetreden in de periode 1990-2000. Deze informatie is gebruikt om te bepalen hoe de zwevend stof vracht die door vanaf de Neder-Rijn, de Waal en de Maas worden aangevoerd zich verdeelt over verschillende riviertakken van de Rijn-Maasmonding. In hoofdstuk 3 en bijlage B en C wordt beschreven hoe de vrachten op de randen en de verdeling over de riviertakken bepaald zijn. Deze paragraaf beschrijft de resultaten die uit deze berekeningen volgen.

Figuur 5.2

Overzicht sedimentatie en erosie van slib in de Rijn-Maasmonding (in kton/jaar)



Figuur 5.2 geeft weer in welke riviertakken dit aangevoerde zwevend stof sedimenteert of waar erosie optreedt. Hierin is tevens weergegeven hoeveel sediment over de verschillende randen wordt aangevoerd of het gebied verlaat. Deze figuur laat het volgende beeld zien:

- Het meeste zwevend stof (slib) wordt aangevoerd vanaf de Waal (1463 kton/jaar) en de zee via de Nieuwe Waterweg (2506 kton/jaar). De Lek en de Maas voeren respectievelijk 342 kton/jaar en 387 kton/jaar aan.
- Aangenomen is dat al het van zee aangevoerde slib sedimenteert in het Rotterdams havengebied.
- Binnen de Rijn-Maasmonding heeft in de periode 1990-2000 de meeste sedimentatie plaatsgevonden in de Nieuwe Waterweg (3171 kton/jaar), het westelijk deel van de Nieuwe Maas (529 kton/jaar) en de Nieuwe Merwede (356 kton/jaar).
- Langs de gehele zuidrand en de Boven Merwede en de Dordtsche Kil heeft eveneens sedimentatie plaatsgevonden. De hoeveelheden per riviertak zijn echter aanzienlijk kleiner dan de riviertakken langs de noordrand waar sedimentatie plaatsvindt.
- Opvallend is dat in de Beneden Merwede, het Spui en alle riviertakken rondom IJsselmonde sprake is van erosie van slib. Deze is het grootst op (delen van) de Oude Maas en de Beneden Merwede (circa 200 kton/jaar). De hoeveelheden die via de Hollandsche IJssel en de Volkeraksluizen het gebied verlaten zijn marginaal.
- Geschat wordt dat via de Haringvlietsluizen en de Maasmond respectievelijk 154 kton/jaar en 1034 kton/jaar het gebied verlaat.

Het bleek niet mogelijk om de methode die Van Dreumel in zijn studie heeft toegepast te reproduceren. Ook geldt dat in de periode 1990-2000 minder meetgegevens beschikbaar waren. Hierdoor is een directe vergelijking van de hoeveelheden gesedimenteerd slib in de afzonderlijke riviertakken niet mogelijk. Hiervoor zal op basis van de gegevens van Van Dreumel en de in deze studie gevolgde methode een nieuwe reconstructie gemaakt moeten worden. In kwalitatieve zin kan echter worden gesteld dat het beeld dat Van Dreumel vindt voor de afzonderlijke riviertakken goed overeenstemt met het beeld in deze studie. De morfologische processen zetten zich dus voort.

In vergelijking met voorgaande periode (1982-1992, Van Dreumel) is minder rivierslib vanaf de Neder-Rijn, de Waal en de Maas aangevoerd naar de Rijn-Maasmonding in de periode 1990-2000. Deze afname is evenwel zeer aannemelijk omdat het zwevend stof gehalte in het Rijnwater bij Lobith gedurende het tijdvak 1980-2000 aanmerkelijk is gedaald van gemiddeld 35 mg/l in 1980 naar 22 mg/l in 2000.

In deze studie waren onvoldoende gegevens om de omvang van import van marien sediment te bepalen. De hoeveelheid van zee aangevoerd van slib is gelijk gesteld aan de periode 1982-1992, omdat er geen aanwijzingen zijn dat er veranderingen zijn opgetreden.

5.4 Verandering bodemligging door zwevend stoftransport

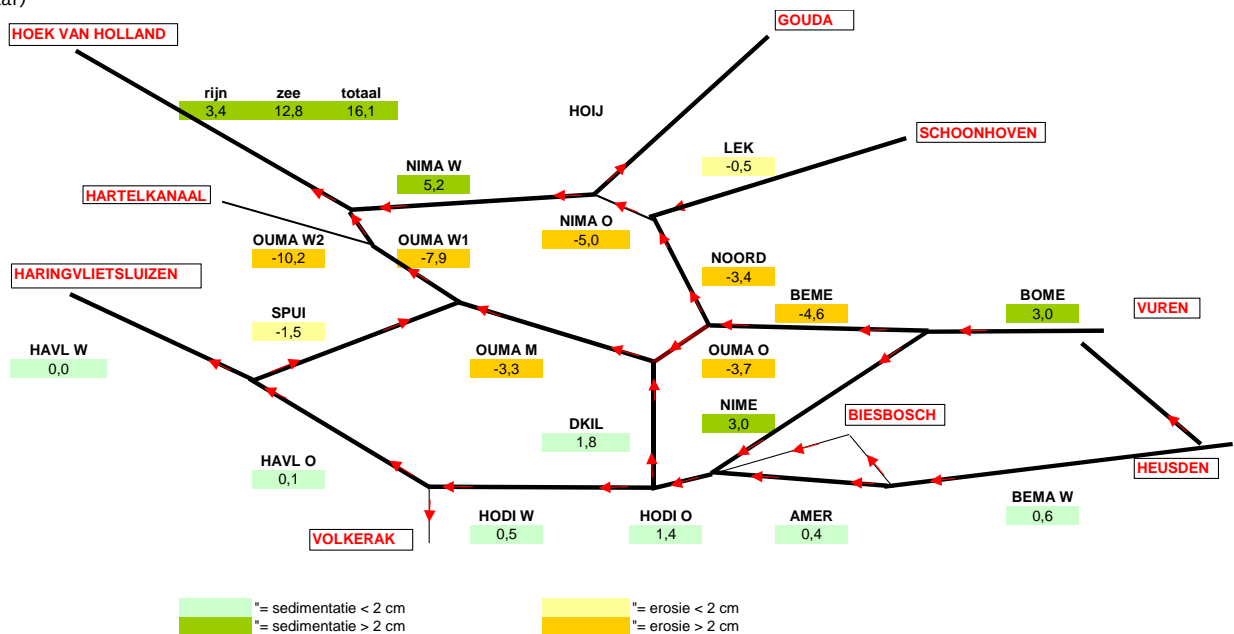
In paragraaf 5.2 is het verloop van het zwevend stofgehalte beschreven in de verschillende riviertakken van de Rijn-Maasmonding. Op basis van dit concentratieverloop is aangegeven of sprake is van sedimentatie van zwevend stof dan wel erosie. De mate waarin wordt bepaald door de hoeveelheid materiaal die uiteindelijk achterblijft of verdwijnt. Dit kan worden bepaald uit het verschil in zwevend stof vracht tussen twee punten. Voor deze studie is uitgegaan van de zwevend stof vracht op de randen. Op basis van de (procentuele) verandering in het concentratieverloop is deze doorvertaald naar de vrachten op de verschillende knooppunten in het gebied. Om de bijdrage van het zwevend stof transport aan de totale verandering in bodemhoogte te kunnen bepalen zijn de hoeveelheden die uit de vorige paragraaf volgen vertaald naar een verandering in bodemligging (zie paragraaf 3.3.2).

Figuur 5.3 geeft een overzicht van de sedimentatie- of erosiesnelheden (cm/jaar) ten gevolge van transport van zwevend stof in de Rijn-Maasmonding. Sedimentatie van zwevend materiaal treedt op in de zuidelijke riviertakken en riviertakken in het Rotterdamse havengebied.

- In de periode 1990-2000 vinden de grootste veranderingen in bodemligging ten gevolge van sedimentatie van zwevend stof plaats in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas ten westen van de Hollandsche IJssel. De verandering in bodemhoogte in deze riviertakken is respectievelijk 3,4 cm en 5,2 cm.
- Ook op de Boven Merwede en de Nieuwe Merwede is sprake van forse sedimentatie van slibrijk materiaal. In beide riviertakken is de gemiddelde verandering in bodemhoogte 3 cm.

- Op de overige takken van de zuidrand (Bergsche Maas, Amer, Hollandsch Diep en Haringvliet) vertaalt de sedimentatie van zwevend stof zich in een verandering in bodemhoogte van minder dan 0,5 cm per jaar. Uitzondering hierop wordt gevormd door het Hollandsch Diep Oost. Hier is de verandering in bodemhoogte ten gevolge van sedimentatie van zwevend stof circa 1,4 cm per jaar over de periode 1990-2000. Dit wordt toegeschreven aan de oversteek van de Dordtsche Kil naar het industrieterrein van Moerdijk. Deze wordt regelmatig gebaggerd en fungeert daardoor als sedimentvang.

Figuur 5.3
Gemiddelde snelheid sedimentatie en erosie ten gevolge van transport zwevend stof in de periode 1990-2000 (in cm/jaar)



Erosie van bodemmateriaal dat via zwevend stof wordt getransporteerd vindt met name plaats in het middengebied van de Rijn-Maasmonding (Beneden Merwede, Oude Maas, Dordtsche Kil, Spui en de Noord) en de Lek ten oosten van de Hollandsche IJssel.

- Op de Oude Maas heeft dit in de periode 1990-2000 geleid tot grote veranderingen in bodemhoogte. In het meest westelijk deel van de Oude Maas, tussen het Hartelkanaal en de uitmonding in de Nieuwe Waterweg, is meer dan 10 cm bodemmateriaal geërodeerd en in de richting van de Nieuwe Waterweg als zwevend materiaal getransporteerd. Ter hoogte van Dordrecht tussen de Noord en de Dordtsche Kil is dit bijna 4 cm/per jaar en op het traject tussen het Hartelkanaal en de Dordtsche Kil meer dan 3 cm per jaar over de periode 1990-2000.
- Op de Beneden Merwede en de Nieuwe Maas ten oosten van de Hollandsche IJssel heeft erosie geleid tot een bodemverlaging van respectievelijk 4,6 cm/jaar en 5,0 cm/jaar. Op de Noord is dit 3,4 cm/jaar.

-
- Op de Lek is de verdieping in de periode 1990-2000 het kleinst. Over het traject Schoonhoven – Krimpen aan de Lek vertaalt het verschil in zwevend stof vrachten zich naar een verlaging van de bodemhoogte van 0,5 cm per/jaar.
 - In de Nieuwe Waterweg is de bodem circa 16 cm minder diep geworden ten gevolge van sedimentatie van zwevend stof. Het merendeel (circa 80 procent) wordt veroorzaakt door sedimentatie van marien slib. Het overige deel wordt veroorzaakt door sedimentatie van rivierslib (afkomstig van de Rijn). Dit komt redelijk overeen met metingen van baggerslib uit de Nieuwe Waterweg (Verlaan, 1993). Hieruit bleek dat gemiddeld 80 procent bestaat uit zeeslib.

6. Bodemtransport

6.1 Inleiding

Sedimenttransport vindt plaats via zwevend stof transport of via transport over de bodem, afhankelijk van de samenstelling van het sediment en de hydraulische omstandigheden. De grens tussen beide vormen van sedimenttransport is niet scherp. Grofweg geldt echter dat zandtransport overwegend via bodemtransport plaatsvindt en slib via zwevend stof transport.

Naar het bodemtransport in de Rijn-Maasmonding zijn (nog) weinig metingen verricht. Daardoor is weinig bekend over de hoeveelheid en verdeling van het zandtransport over de verschillende riviertakken. Wel zijn in de afgelopen jaren enkele metingen uitgevoerd naar de samenstelling van het sediment in de toplaag van de bodem. Hierdoor kan een redelijk beeld geschetst worden over de bodemsamenstelling in de huidige situatie. Dit geeft een indicatie waar het zandtransport een groot aandeel heeft aan de morfologische ontwikkeling en waar deze minder van belang is. Begin 2004 is tevens een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd rondom het splitsingspunt van de Nieuwe Merwede, de Boven Merwede en de Beneden Merwede. Deze resultaten zijn echter nog onvoldoende uitgewerkt om in deze sedimentbalans mee te nemen.

Dit hoofdstuk geeft achtereenvolgens een overzicht van de huidige inzichten in de bodemsamenstelling (paragraaf 6.2), de aanvoer en transport van zand over de verschillende riviertakken (paragraaf 6.3) en de verandering in bodemligging ten gevolge van (verschillen in) bodemtransport (paragraaf 6.4).

6.2 Bodemsamenstelling

In de afgelopen jaren is onderzoek verricht naar de samenstelling van het bodemsediment. In de Rijn-Maasmonding zijn twee soorten metingen verricht:

- Bepaling zand-slib gehalte van de toplaag op basis van radiometrische metingen (in 1999, 2001, 2002 door Medusa)
- Korrelgrootte bepaling van de toplaag op basis van bodemmonsters van de bovenste laag (in 2002 door FUGRO)

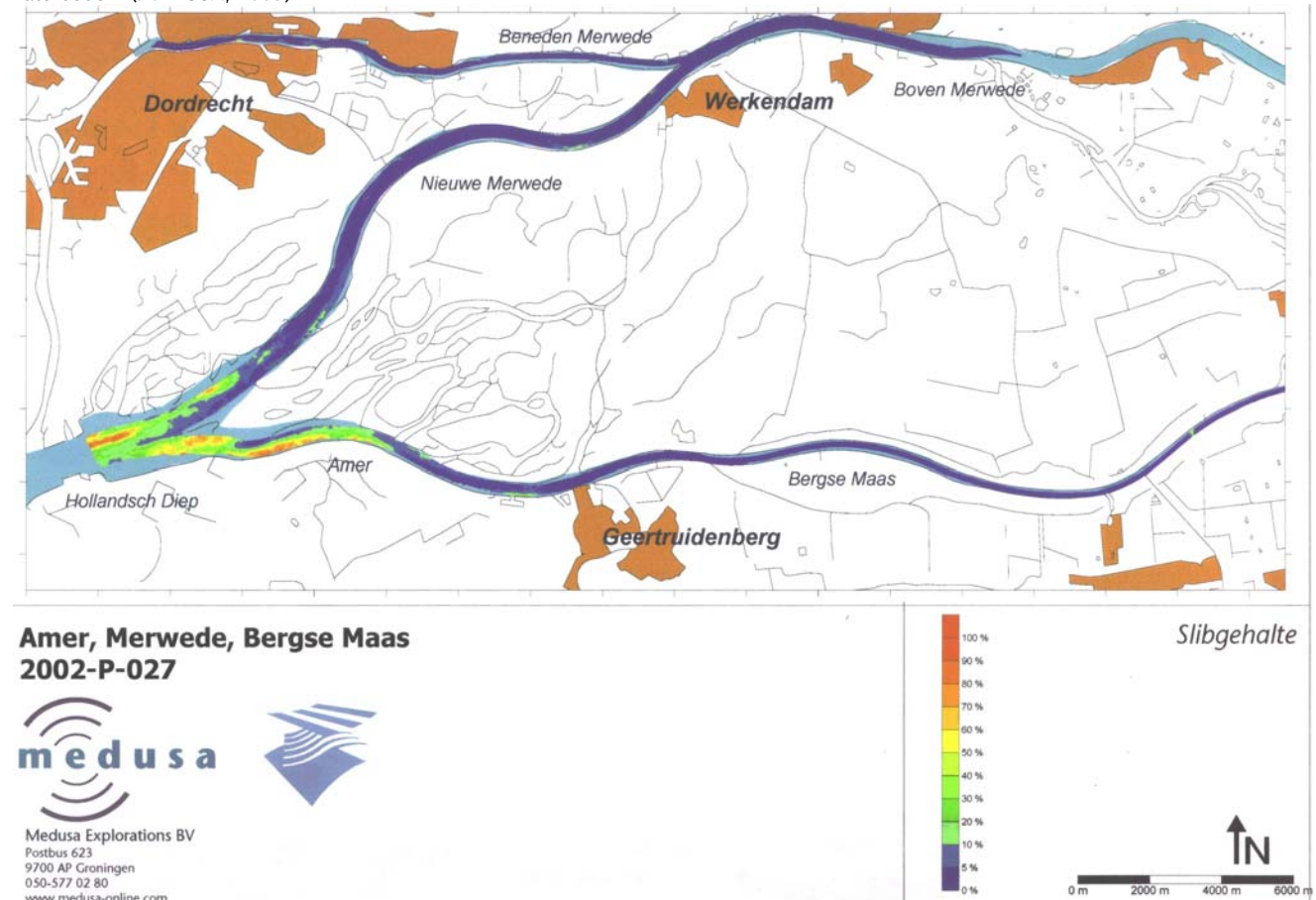
De resultaten van beide metingen beperken zich tot de bovenste 30-50 cm van de rivierbodem en worden hieronder besproken.

6.2.1. Zand-slib toplaag

De MEDUSA kartering resulteert in gebiedsdekkende kaarten van onder andere het zand- en slibgehalte in de toplaag van de waterbodem. In

1998 is dit voor het Hollandsch Diep gedaan, in 1999 en 2001 voor het Haringvliet en in 2002 voor de riviertakken Bergsche Maas, Amer, Boven Merwede, Nieuwe Merwede en Beneden Merwede. Figuur 6.1 geeft de resultaten van het meest recente onderzoek weer (Amer, Merweden en Bergsche Maas). Hierop tonen de rode kleuren de slibbige bodems en de blauwe kleuren de zandige bodems.

Figuur 6.1
Zand-slibgehalten in de toplaag van de waterbodem (MEDUSA, 2003)



Het percentage slib in de Merwedes is over het algemeen laag. Dit geldt eveneens voor de Bergsche Maas. Ook in het noordelijk stuk van de Nieuwe Merwede zijn de slibgehalten laag. In het zuidelijk deel van de Nieuwe Merwede en in het westelijk deel van de Amer neemt de slibconcentratie toe in de richting van het Hollandsch Diep. De slibverdeling laat hier een sterke gradiënt zien dwars op de rivier.

Bij de samenvloeiing van de Amer en de Nieuwe Merwede zijn de slibgehalten hoog, maar laten een sterke ruimtelijke variatie zien. Er is een duidelijke scheiding tussen de stroomgeulen van de Nieuwe Merwede en de Amer.

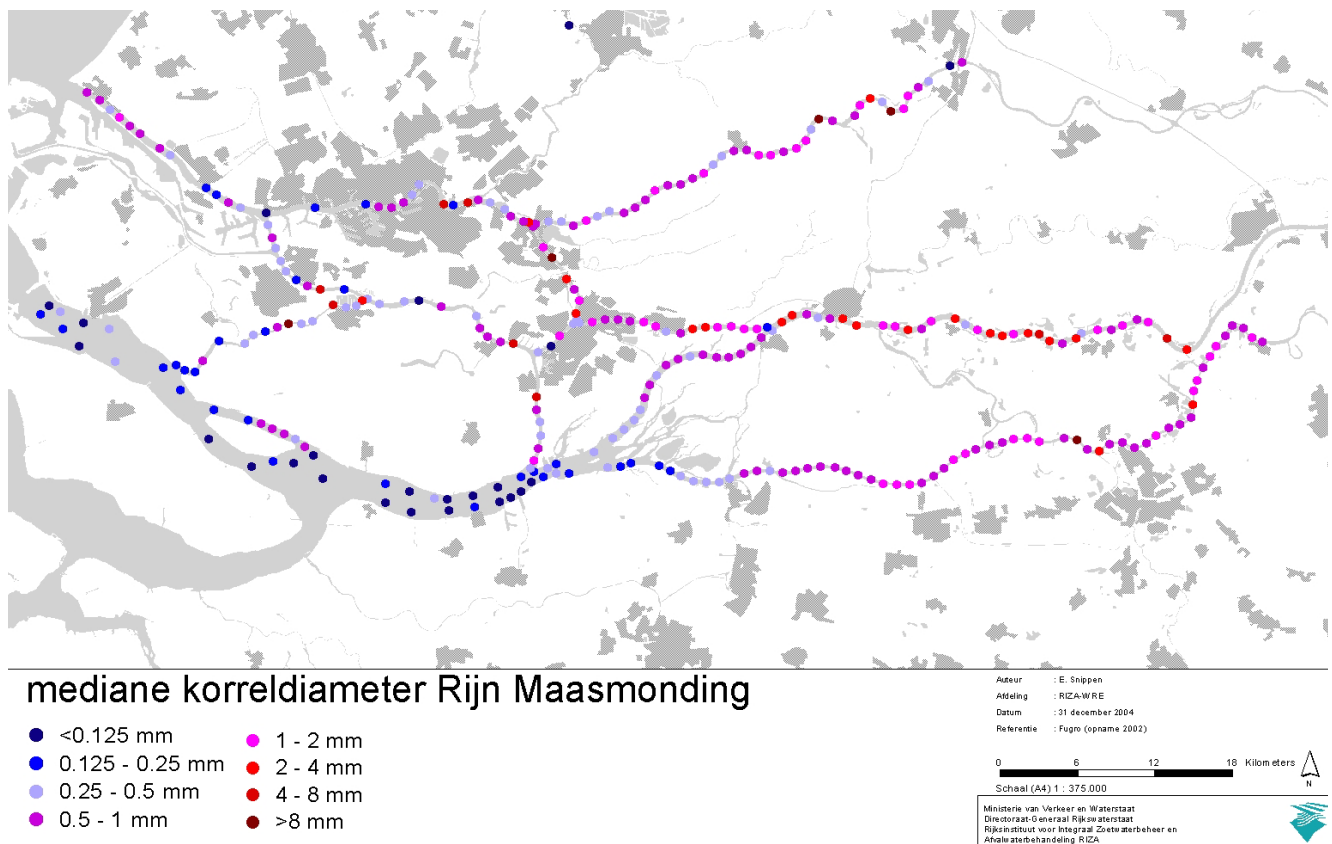
Dit is ook geconstateerd bij de metingen in het Hollandsch Diep en het Haringvliet (Koomans, 2002) waar de voormalige vloed- en ebgoulen relatief meer slib bevatten dan de ondiepe platen en oevers. Dit is in overeenstemming met de morfologische ontwikkeling van het systeem. Het zand dat door de Rijn en de Maas wordt aangevoerd sedimenteert

vrijwel direct bij de instroom van elk van de rivieren; de overgang van zand naar slib is overal duidelijk herkenbaar. Dit is bijvoorbeeld waargenomen bij de instroom van de Dordtsche Kil. Het zand dat op andere plaatsen aan de oppervlakte komt, is het oude sediment waarmee het estuarium eeuwen lang werd opgebouwd. In de geulen is de stroomsnelheid laag genoeg voor het voornamelijk slibrijke sediment om te sedimenteren. In de ondiepe zones wordt dat verhinderd door opwerveling door windgolven. Tevens valt op dat het slibgehalte in de riviertakken, gaande van oost naar west, eerst toeneemt en vervolgens afneemt. Ook dit is in overeenstemming met de morfologische ontwikkeling, waarbij het systeem, zich opvult van oost naar west. Het meeste slib sedimenteert in het Hollandsch Diep, waardoor de slibvracht naar het Haringvliet sterk afneemt. De diepe putten in het Haringvliet zijn te herkennen aan relatief hoge slibgehalten.

6.2.2. Korrelgrootte

In 2002 zijn in vrijwel alle riviertakken in de Rijn-Maasmonding monsters genomen van de bodem in het midden van de rivier. Vervolgens is in het laboratorium bepaald hoeveel van een aantal fracties in het bodemmonster wordt aangetroffen (zeefkromme). Uit deze gegevens is vervolgens voor elke monsterlocatie de mediane korreldeurter bepaald. Het resultaat is weergegeven in figuur 6.2.

Figuur 6.2
Mediane korreldeurter in de Rijn-Maasmonding in mm (Fugro, 2002).



topografische ondergrond (c) Topografische Dienst Emmen

De resultaten van deze studie konden niet gebruikt worden bij de kwantitatieve bepalingen van bodemveranderingen. Binnen een riviertak en zelfs binnen een dwarsraai kan de bodemsamenstelling soms ver uiteenlopen. Uit enkele proefmetingen in de Amer is bekend dat op de ene locatie zand wordt aangetroffen, terwijl 10 meter verder voornamelijk slibrijk materiaal wordt bovengedaald. Dit maakt dat de resultaten van deze studie slechts een globaal beeld geven.

Figuur 6.2 laat zien dat het bodemmateriaal van oost naar west steeds fijner wordt. Het meest fijne sediment wordt aangetroffen in het Haringvliet en Hollandsch Diep. Opvallend is dat de riviertakken de Dordtsche Kil, Spui en de Noord grover sediment bevat dan de omliggende takken. Op deze plaatsen zijn ook onder gemiddelde omstandigheden de stroomsnelheden relatief hoog waardoor nauwelijks slib kan bezinken, maar eerder sediment zal eroderen. Daarnaast is het mogelijk dat op deze plaatsen oude (zandige) lagen aan de oppervlakte komen. Dit kan echter niet uit de resultaten van deze studie worden afgeleid. Ook in het Vuilegat ten noorden van het eiland Tiengemeten wordt relatief grof sediment aangetroffen. In de mond van de Nieuwe Waterweg wordt relatief veel grof (marien) sediment aangetroffen.

6.3 Aanvoer van zand

Vanaf de rivieren wordt zand aangevoerd via de Lek, de Waal en de Maas. Vanaf zee wordt marien zand aangevoerd via de Maasmond en de Nieuwe Waterweg. Dit marien zand sedimenteert vooral in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas. Via de Haringvlietsluizen vindt geen import van zand plaats, omdat, met uitzondering van een proefperiode in 1997 de sluisen alleen bij vloed gesloten zijn.

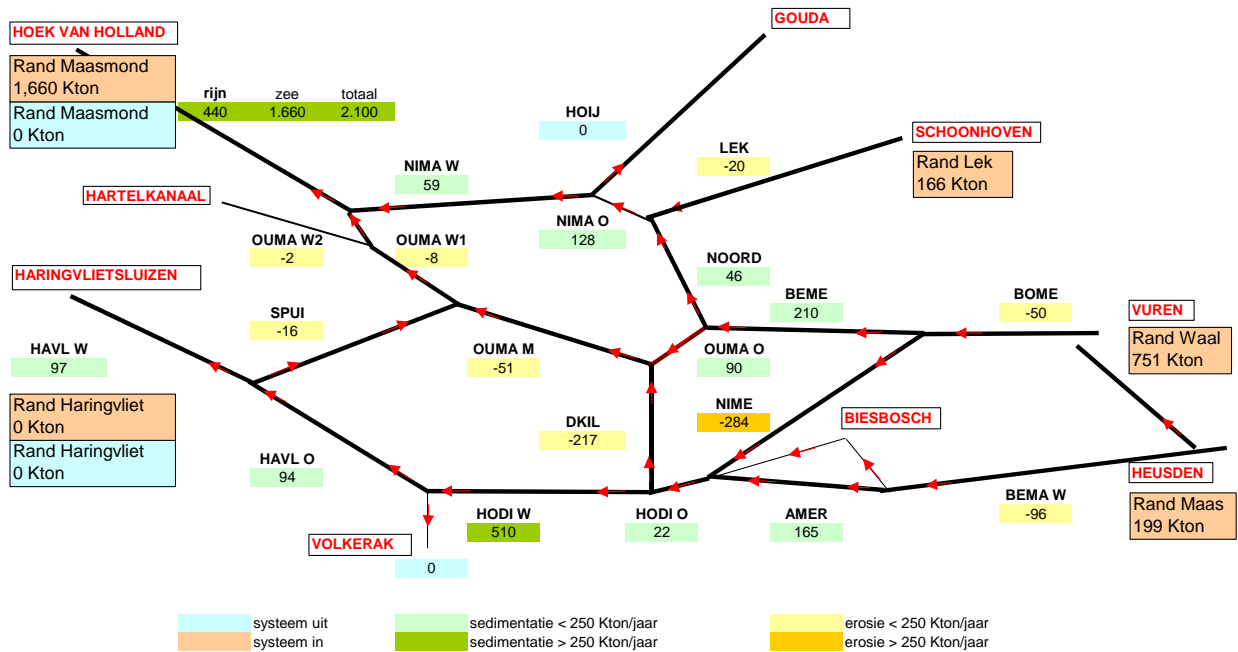
De aanvoer van zand vanaf de rivieren is gebaseerd op de resultaten van voorgaande studies (Van Dreumel, 1995; Ten Brinke, 2001). Voor de Maasmond zijn in deze studie enkel de hoeveelheid fluviatiel sediment gepresenteerd die het gebied verlaat en de hoeveelheid marien sediment dat volgens deze studie via de Maasmond moet binnenkomen en daadwerkelijk sedimenteert in de hoofdgeul van de Nieuwe Waterweg en het westelijk deel van de Nieuwe Maas. In werkelijkheid zal de hoeveelheid in- en uitstromend sediment via de Maasmond groter zijn, omdat niet al het sediment tot bezinking komt, of in de havens in het Europoortgebied sedimenteert, waarna het weer weggebaggerd wordt.

Figuur 6.3 geeft een overzicht van de gemiddelde hoeveelheid zand die jaarlijks in de verschillende riviertakken sedimenteert danwel erodeert in de periode 1990-2000. Dit levert het volgende beeld:

- In totaal wordt op jaarbasis 1116 kton vanaf de rivieren de Lek (166 kton/jaar), de Waal (751 kton/jaar) en de Maas (199 kton/jaar) aangevoerd naar de Rijn-Maasmonding. De totale aanvoer van zeezand naar de Nieuwe Waterweg dat uiteindelijk in de hoofdgeul sedimenteert is gelijk aan 1660 kton/jaar.
- de meeste sedimentatie van zand vindt plaats in het westelijk deel van het Hollandsch Diep en de Nieuwe Waterweg.

- Daarnaast sedimenteert zand in het Haringvliet, de Amer, de Oude Maas Oost, de Beneden Merwede, de Noord, de Nieuwe Maas en de Oude Maas W2. Qua hoeveelheid is dit zeer beperkt.
- De meeste erosie vindt plaats in de Nieuwe Merwede en de Dordtsche Kil.
- Daarnaast is sprake van lichte erosie van zand op de riviertakken de Lek, de Boven Merwede en de Bergsche Maas en op de Oude Maas en het Spui.

Figuur 6.3
Overzicht sedimentatie en erosie van zand in de Rijn-Maasmonding (in kton/jaar)



De methode die Van Dreumel in zijn studie heeft toegepast is lastig te vergelijken met de methode in deze studie. Hierdoor is een directe vergelijking van de hoeveelheden gesedimenteerd zand in de afzonderlijke riviertakken niet valide. Wel kan in kwalitatieve zin worden gesteld dat het beeld dat Van Dreumel vindt voor de afzonderlijke riviertakken goed overeenstemt met het beeld in deze studie. Erosie treedt in dezelfde riviertakken op. Wel is in de periode 1990-2000 minder rivierzand naar de Rijn-Maasmonding aangevoerd dan in 1980-1990. De hoeveelheid is met bijna 30 procent afgenomen. Mogelijk dat dit veroorzaakt wordt door het gewijzigde baggerbeleid op de Waal.

6.4 Verandering bodemligging door bodemtransport

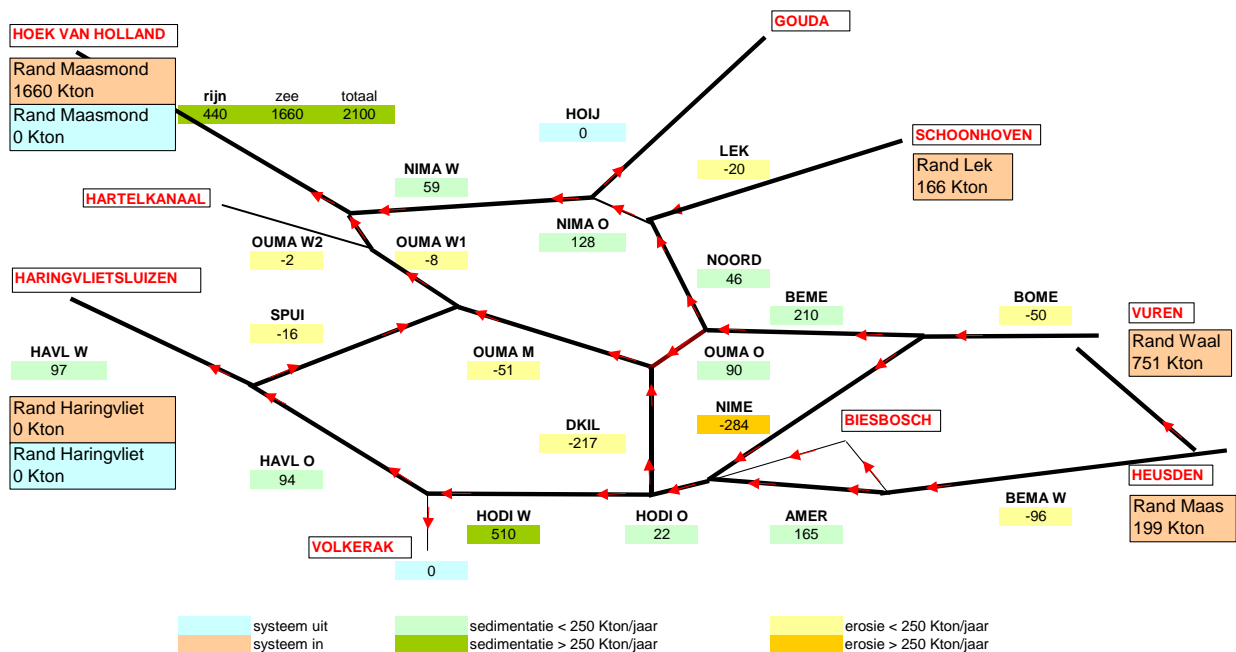
In paragraaf 6.2 is al aangegeven dat er nog weinig gemeten is aan het bodemtransport in de Rijn-Maasmonding. De nu gepresenteerde verandering ten gevolge van het bodemtransport (het eroderen en sedimenteren van zand) is de resultante van de geconstateerde verandering van de bodemligging die volgt uit de loding, rekening houdend met het uitgevoerde baggerwerk (zie paragraaf 4.3) en de sedimentatie/erosie van zwevend stof (zie paragraaf 5.3). Het zandtransport is daarmee de sluitpost voor deze sedimentbalans. Voor de

verdeling van zand bij splitsingen is in eerste instantie uitgegaan van verdeling die over de periode 1982-1992 is berekend (Van Dreumel, 1995). Op enkele plaatsen is deze verhouding aangepast, om de sedimentbalans sluitend te krijgen. Over de daadwerkelijke sedimentverdeling op splitsingspunten in de Rijn-Maasmonding is echter weinig bekend uit metingen. Dit rechtvaardigt het gebruik van deze term als sluitpost, maar vormt tegelijkertijd een onzekerheidsbron voor de totale balans.

Tabel 6.1
Overzicht geschatte verhoudingen zandtransport op splitsingspunten (NB=Niet bekend).

Van (tak 1)	Naar (tak 2)	% Zand van tak 1 naar tak 2	
		1990-2000 (deze studie)	1982-1992 (Van Dreumel)
Haringvliet	Spui	0	20
Hollandsch Diep	Dordtsche Kil	10	10
Beneden Merwede	Noord	41	41
Boven Merwede	Beneden Merwede	52	45
Nieuwe Maas	Hollandsche IJssel	5	NB

Figuur 6.4
Gemiddelde snelheid sedimentatie en erosie ten gevolge van bodemtransport (zand) in de periode 1990-2000 (in cm/jaar)



Door de natuurlijke omstandigheden, vooral de afvoer van de Rijn, de Lek en de Maas, treedt in de rivieren van de Rijn-Maasmonding erosie en sedimentatie van zand op. Het resultaat van de uitgevoerde berekeningen is weergegeven in figuur 6.4. Voor de erosie van zand laat dit het volgende beeld zien:

- Op de oostelijke riviertakken de Lek (0,3 cm/jaar), de Boven Merwede (0,9 cm/jaar) en de Bergsche Maas (1,5 cm/jaar) treedt

-
- geringe erosie (minder dan 2 cm per jaar) op. Het optreden van erosie op deze riviertakken stemt overeen met het onderzoek naar de mediane korreldiameter: op deze riviertakken worden in de toplaag van de bodem ook de grofste korrels aangetroffen.
- In het Spui en de Oude Maas tussen de Dordtsche Kil en het Hartelkanaal is erosie eveneens gering (tussen de 0,1 en 0,8 cm/jaar). Uit de verdeling van de mediane korreldiameter in het Spui blijkt dat vooral in het noordelijke deel van het Spui de grovere korrels voorkomen, zodat de geconstateerde erosie van zand mogelijk vooral in dit deel plaatsvindt. In de Oude Maas liggen de plaatsen met grovere korrels verspreid over de gehele Oude Maas. Dit is een indicatie dat het optreden van erosie binnen deze riviertak kan variëren.
 - de grootste bodemveranderingen tgv erosie van zand zijn te vinden in de Nieuwe Merwede (2,4 cm/jaar), en de Dordtsche Kil (6,0 cm/jaar). Uit de verdeling van de mediane korreldiameter blijkt dat vooral in het noordelijke deel van de Nieuwe Merwede de grovere korrels voorkomen. Dit doet vermoeden dat vooral in dat deel de geconstateerde erosie van zand zal plaats vinden. Dit kan echter niet uit de resultaten van deze balans herleid worden. Op de Dordtsche Kil lijkt over de hele lengte de grovere korrels voor te komen, zodat de erosie over de hele Dordtsche Kil op zal treden.

In de andere rivieren van de Rijn-Maasmonding treedt sedimentatie van zand op. Dit geeft het volgende beeld:

- In de Nieuwe Waterweg (18,7 cm/jaar, waarvan bijna 80% marien sediment), Nieuwe Maas (0,6 cm/jaar) westelijk van de splitsing met de Hollandsche IJssel, de Noord (1,7 cm/jaar) en het Hollandsch Diep westelijk van de splitsing met de Dordtsche Kil (1,4 cm/jaar) is de sedimentatie gering. Het zand dat in de Nieuwe Waterweg sedimenteert, wordt voornamelijk vanuit zee aangevoerd. Bekend is dat de meeste sedimentatie optreedt ter hoogte van Maassluis. Uit de mediane korreldiameter blijkt dat vooral in het bovenstroomse deel van de Nieuwe Maas-west grovere korrels voorkomen, waarschijnlijk zal ook hier het grootste deel van de sedimentatie optreden. Uit de informatie over de mediane korrelgrootte blijkt dat in de hele Noord grovere korrels worden gevonden. Dit is een aanwijzing dat de geconstateerde sedimentatie verspreid over de gehele Noord optreedt. Gelet op de forse hoeveelheid baggerwerk ter plaatse van de oversteek van de Dordtsche Kil naar de haven van Moerdijk moet de sedimentatie van zand die geconstateerd wordt in het oostelijk deel van het Hollandsch Diep ook daar plaatsvinden.
- In het Haringvliet treedt weinig sedimentatie van zand op (0,2 cm/jaar). Het meeste zand sedimenteert voornamelijk in de oversteek naar Moerdijk waardoor relatief weinig zand nog naar het Haringvliet wordt getransporteerd. Gelet op de mediane korrelverdeling van de toplaag is het waarschijnlijker dat dit sedimenteert op de hoger gelegen platen van het Haringvliet en niet in het Vuile Gat en de voormalige eb- en vloedgeulen.

-
- In de Amer treedt ook sedimentatie op. Deze is in de orde van 2,4 cm/jaar. Dit kan verklaard worden uit het feit dat de rivier hier breder wordt en de stroomsnelheid op de rivier lager zal zijn dan op de Bergsche Maas. Opvallend is echter dat in deze rivier juist sediment met een fijnere korreldiameter wordt aangetroffen.
 - De meeste sedimentatie treedt op in de Oude Maas voor Dordrecht (6,0 cm/jaar), de Beneden Merwede (4,2 cm/jaar) en het deel van de Nieuwe Maas direct na het splitsingspunt met de Lek en de Noord (5,7 cm/jaar). Dit is redelijk in overeenstemming met het onderzoek naar de mediane korreldiameter waar in deze rivieren ook de grovere fracties worden aangetroffen.

Samengevat leidt dit voor de Rijn-Maasmonding als geheel tot het beeld dat vooral langs de noordrand en zuidrand zand sedimenteert en dat in het bovenstroomse en middendeel vooral erosie de overhand heeft. Dit komt in grote lijnen overeen met de kennis over de samenstelling van de rivierbodem. De riviertakken waar erosie van zand wordt geconstateerd, wordt ook relatief grof materiaal in de bodem aangetroffen.

7.Synthese

7.1 Inleiding

De voorgaande hoofdstukken geven onder meer inzicht in de bodemveranderingen die veroorzaakt worden door respectievelijk baggeractiviteiten (hoofdstuk 4), transport van zwevend stof (hoofdstuk 5) en transport van zand (hoofdstuk 6). In dit laatste hoofdstuk zijn deze resultaten geïntegreerd tot een sedimentbalans voor de periode 1990-2000. Op basis van deze balans kan nu worden nagegaan welke trends zich in 1990-2000 hebben voorgedaan in de Rijn-Maasmonding. Naast het beschrijven van de morfologische ontwikkeling in de periode 1990-2000 heeft deze studie tot doel gehad om een eenduidige methode te ontwikkelen en vast te leggen. In hoofdstuk 3 zijn de verschillende stappen en keuzes beschreven, zodat kan worden nagegaan hoe deze balans tot stand is gekomen. In dit hoofdstuk wordt tevens ingegaan op de onzekerheden van de gehanteerde methode.

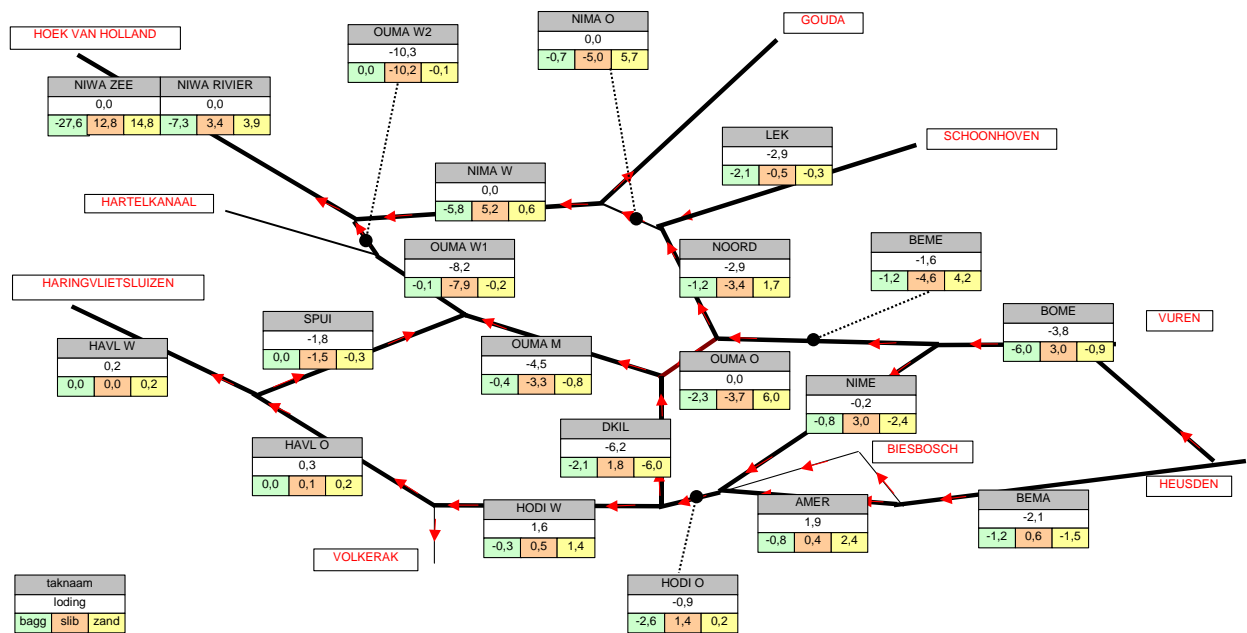
De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt. Paragraaf 7.2 beschrijft de eindresultaten van de sedimentbalans en de morfologische veranderingen in de Rijn Maasmonding voor de periode 1990-2000 aan de hand van twee figuren. Paragraaf 7.3 gaat vervolgens in op de belangrijkste onzekerheden die deze studie in zich heeft. Tenslotte worden de conclusies en aanbevelingen die uit deze studie volgen gepresenteerd in respectievelijk paragraaf 7.4 en paragraaf 7.5.

7.2 Sedimentbalans 1990-2000

De resultaten uit voorgaande hoofdstukken zijn in figuur 7.1 en figuur 7.2 samengebracht. Figuur 7.1 geeft per riviertak de totale bodemverandering weer in cm/jaar. Een negatieve waarde in deze figuur betekent een verdieping van de rivier, een positieve waarde betekent een verondieping van de rivier. De waargenomen (netto) bodemverandering volgt uit de lodingen en de daaruit afgeleide trendlijn voor de periode 1990-2000 (paragraaf 4.2). Tevens is per riviertak aangegeven in welke mate baggerwerk (paragraaf 4.3), danwel erosie of sedimentatie van slib (paragraaf 5.4) of zand (paragraaf 6.4) hebben bijgedragen aan de verandering van de bodemligging.

Figuur 7.1

Gemiddelde bodemveranderingen per riviertak in de periode 1990-2000 (cm/jaar)



Figuur 7.1 laat het volgende beeld zien:

- In de noordelijke riviertakken (Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas) is sprake van forse sedimentatie. De bodemligging verandert echter nauwelijks, omdat deze om nautische redenen op diepte gehouden wordt. Zand en slib dat in het (westelijk) deel van de Nieuwe Waterweg en de Maasmond sedimenteert wordt niet alleen door het afstromende rivierwater aangevoerd. Ook wordt via de vloedstroom en via de zoute onderstroom als gevolg van dichtheidverschillen veel slib en zand vanuit zee aangevoerd. In een groot gedeelte van de getijperiode is dit sedimenttransport landinwaarts gericht.
- In de Oude Maas heeft verdieping van het rivierbed plaatsgevonden. Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheid water die sinds de aanleg Haringvlietsluizen en de afsluiting van het Volkerak gedurende elk getij door deze riviertakken stroomt. Hetzelfde geldt, zij het in mindere mate, voor de Dordtsche Kil en het Spui. Deze trend is in voorgaande perioden ook reeds waargenomen.
- In de riviertakken langs de zuidrand (Haringvliet, Hollandsch Diep, Amer en de Nieuwe Merwede) treedt netto sedimentatie op. De sedimentatie in het Haringvliet is beperkt. Dit komt vooral doordat in de oversteek van de Dordtsche Kil naar Moerdijk intensief gebaggerd wordt (**Hollandsch Diep Oost**). De oversteek, die dwars in het Hollandsch Diep ligt, fungeert daardoor in feite als sedimentvang. Er komt daardoor nog maar weinig sediment in het Haringvliet terecht, waardoor de sedimentatie ten westen van de oversteek marginaal is.
- Op de oostelijke riviertakken (de Lek, de Merweden en de Bergsche Maas) vindt netto verdieping plaats. Op de Lek, de Beneden Merwede en de Bergsche Maas is dit een natuurlijk

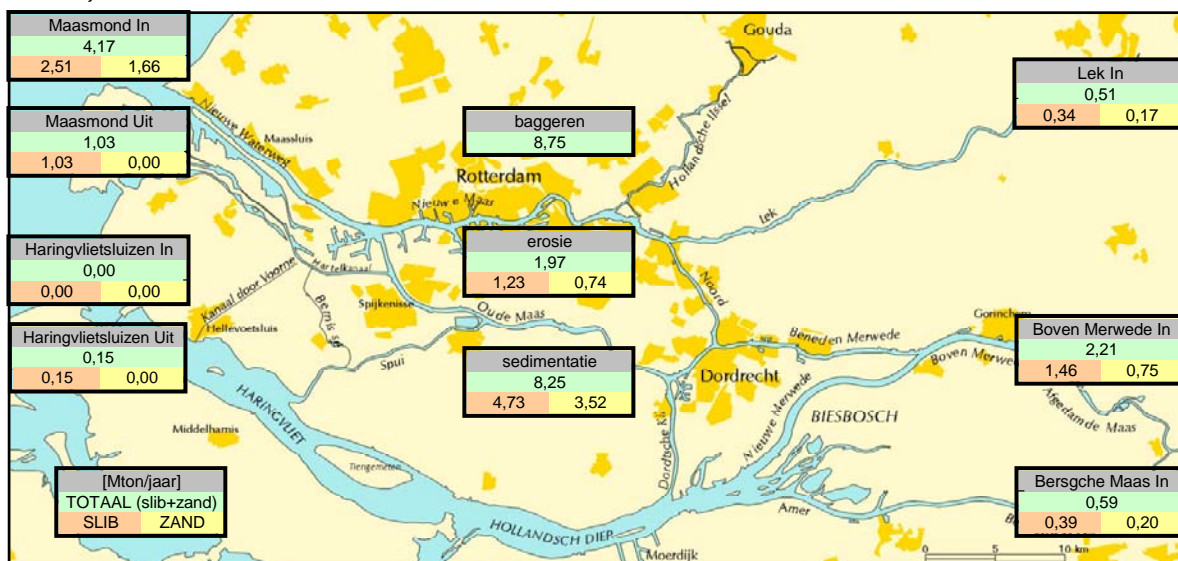
proces, dat door baggerwerk wordt versterkt. Op de Boven Merwede en de Nieuwe Merwede is de natuurlijk trend sedimentatie. Uit lodingen volgt echter gemiddeld een verdieping. Dit wordt veroorzaakt doordat de gebaggerde hoeveelheden groter zijn dan de hoeveelheid sedimentatie in deze riviertakken.

- Opmerkelijk is dat voor een aantal riviertakken tegengestelde processen worden waargenomen: namelijk erosie van zand en sedimentatie van slib in dezelfde riviertak (bijvoorbeeld Dordtsche Kil) of omgekeerd sedimentatie van zand en erosie van slib (bij de Noord). Vanuit fysisch oogpunt is dit lastig te verklaren. Bedacht moet echter worden dat het hier gaat om één gemiddelde over een bepaald riviertraject en over één of meerdere jaren. De sedimentatie en erosie hoeven dus niet op hetzelfde moment op te treden en ook niet op dezelfde locatie binnen een riviertak.

Naast inzicht in de oorzaak van veranderingen in bodemligging is het voor de morfologische ontwikkeling van belang te weten hoeveel sediment over de verschillende randen het gebied binnenkomt. Deze zijn gegeven in figuur 7.2. De hoeveelheden die bij sedimentatie, erosie en baggeren in het midden van deze figuur staan genoemd zijn berekend uit de informatie in figuur 7.1. De sedimentvrachten op de randen zijn bepaald op basis van statistische relaties en literatuurgegevens (zie hoofdstuk 3 en bijlage B). Voor de hoeveelheden die via de Maasmond in en uitgaan geldt het volgende: de uitgaande vracht is enkel het aandeel riviersediment dat het gebied verlaat. De inkomende sedimentvracht geeft de hoeveelheid marien sediment weer dat volgens deze sedimentbalans in de riviertakken Rijn-Maasmonding moet zijn gesedimenteerd. In werkelijkheid is de sedimentvracht uit zee groter, omdat een deel van het marien sediment niet tot bezinking zal komen en meteen het gebied weer zal verlaten en omdat een groot deel ook in de Europoorthavens sedimenteert en weer wordt weggebaggerd. Omdat deze hoeveelheden niet bepaald konden worden zijn deze buiten beschouwing gelaten. Verwacht wordt echter dat deze niet veel zullen afwijken van de hoeveelheden die Van Dreumel heeft bepaald voor de periode 1982-1992.

Figuur 7.2 laat het volgende beeld zien. Ten opzichte van de voorgaande periode (1982-1992) is de hoeveelheid sediment die in de periode 1990-2000 vanaf de rivieren en zee is aangevoerd naar de Rijn-Maasmonding afgenomen. Van de rivieren heeft de Waal nog steeds de grootste bijdrage. De hoeveelheid die vanaf de Maas wordt aangevoerd is ongeveer gelijk gebleven. Op de Lek is de hoeveelheid aangevoerd sediment praktisch gehalveerd.

Figuur 7.2
Sedimentbalans Rijn-Maasmonding
1990-2000 (in Mton/jaar)².



Om deze balans sluitend te krijgen is verondersteld dat er netto gezien geen bodemtransport (van zand) via de Maasmond en de Haringvlietsluizen naar zee plaatsvindt. Deze keuze is gemaakt, omdat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn over de samenstelling en hoeveelheid baggerwerk in het Europoortgebied om een goede balans voor dit deelgebied op te stellen. Hierdoor is een directe kwantitatieve vergelijking met voorgaande perioden moeilijk te maken. Wel volgt uit deze sedimentbalans dat in vergelijking met de periode 1982-1992 ongeveer dezelfde hoeveelheid fluviaal sediment het gebied weer verlaten moet hebben. Daarentegen blijkt uit deze balans dat relatief meer marien slib dat via de Maasmond binnenkomt in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas sedimenteert. Voor marien zand volgt uit deze balans dat de hoeveelheid die uiteindelijk sedimenteert moet zijn afgenomen. Dit kon echter niet met metingen geverifieerd worden. In totaal is in de periode 1990-2000 ruim 8 Mton zand en slib in de Rijn-Maasmonding gesedimenteerd. In totaal wordt meer dan deze hoeveelheid weer weggebaggerd (8,75 Mton). In vergelijking met de voorgaande periode (1982-1992) is er echter minder slib gesedimenteerd. De hoeveelheid zand die is gesedimenteerd is vrijwel gelijk gebleven. In totaal lijkt dus de sedimentatie te zijn afgenomen. Het is echter verstandig om de gevoeligheid van een aantal aannames op het eindresultaat te onderzoeken. De belangrijkste onzekerheden worden in de volgende paragraaf bediscussieerd.

7.3 Discussie onzekerheden

- Een belangrijke onzekerheidsbron zijn de gebruikte basisgegevens. Allereerst is ervoor gekozen om de netto

² In deze figuur is ook de hoeveelheid baggerwerk weergegeven. De hoeveelheden erosie en sedimentatie zijn echter bepaald uit voor baggerwerk gecorrigeerde lodingen. De balans is dus in evenwicht indien het baggerwerk niet meegerekend wordt.

bodemverandering per riviertak te baseren op een trendlijn. In de lodingen zelf zitten onzekerheden die in de trendlijn door kunnen werken. Voor de Boven Merwede is onderzocht dat de trend niet wordt beïnvloed door het corrigeren van de lodingsgegevens voordat je de trend vaststelt (zie bijlage A). Vooral voor de baggergegevens geldt dat er fouten kunnen zitten die het eindresultaat beïnvloeden. Ook is de samenstelling van het gebaggerde sediment onbekend, waardoor de omrekening naar een bodemverandering een bron van onzekerheid vormt. In de gevolgde methode zal dit voornamelijk effect hebben op het zandtransport, omdat deze term de sluitpost is voor deze sedimentbalans.

- Een belangrijk vertrekpunt voor deze sedimentbalans is de zwevend stofvracht die vanaf de rivieren wordt aangevoerd. Deze vrachten zijn berekend middels een relatie tussen de frequentieverdelingen van de gemeten vrachten en de gemeten afvoeren. Bij deze relatie wordt de fout in de gemeten vracht voor een groot deel uitgefilterd. Immers de relatie geeft een gemiddelde vracht bij een bepaalde afvoer. De spreiding om deze gemiddelde vracht, die veroorzaakt wordt door mogelijke fouten in de gemeten zwevend stofgehalte en/of gemeten debiet, wordt niet meegenomen in het bepalen van de totale jaarvracht. Het gevolg is dat de onzekerheid in de jaarvracht vrij klein zal zijn.
- Behalve de zwevend stofvracht is ook inzicht nodig in de zandvracht die door de rivieren wordt aangevoerd. Voor de Lek en de Boven Merwede zijn bij deze sedimentbalans de zandvrachten gebruikt zoals deze door Ten Brinke berekend zijn (Ten Brinke, 2001). De onzekerheid hierin is terug te vinden in de sedimentbalans voor de Rijntakken. De zandvracht voor de Bergse Maas is berekend uit de slibvracht door de verhouding slib/zand zoals die gevonden is voor de Boven Merwede toe te passen. In hoeverre deze aanname correct is voor de periode 1990-2000 kan moeilijk gezegd worden, omdat hierover nauwelijks metingen beschikbaar zijn. Echter, door Van Dreumel (1995) is voor de periode 1982-1992 gevonden dat de zand-slib verhouding voor beide riviertakken gelijk is. Het effect op de resultaten van deze studie is echter niet zo groot, omdat de aanvoer van sediment vanaf de Maas kleiner is ten opzichte van aanvoer vanaf de Waal.
- Naast de onzekerheden in het aangevoerde sediment vormen de debieten ook een bron van onzekerheid. Voor deze balans zijn de getijgemiddelde restdebieten gebruikt bij een afvoersituatie van 2200 m³/s te Lobith. Dit hoeft echter niet de hoeveelheid te zijn waarbij het merendeel van het sediment wordt aangevoerd. Bovendien is bekend dat de waterverdeling door de opening in de Beerdam vanaf 1997 enigszins is gewijzigd. Het debiet speelt alleen een rol bij de verdeling van sediment op enkele splitsingspunten. Het zou echter goed zijn om de gevoeligheid hiervan op de uitkomsten te onderzoeken.

7.4 Conclusies

- Het beeld over erosie- en sedimentatiegebieden in de Rijn-Maasmonding is door deze studie niet veranderd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het proces van aanpassing naar een evenwichtssituatie, dat in eerdere onderzoeken (o.a. Van Dreumel) is geconstateerd, nog steeds gaande is. De vraag is echter of het evenwicht bereikt zal worden, aangezien in de Rijn-Maasmonding intensief gebaggerd wordt. De baggerinspanning in het gebied is van dezelfde orde grootte als de hoeveelheid sedimentatie in het gebied. Feitelijk wordt de grootschalige sedimenthuishouding van het gebied volledig bepaald door de baggerinspanning, waardoor maar beperkt sprake is van een natuurlijk morfologisch systeem.
- Ten opzichte van de sedimentbalans voor de periode 1982-1992 is relatief minder slib gesedimenteerd in het gebied. Dit is in overeenstemming met de afname van hoeveelheden slib dat via zwevend stof transport over de zee- en rivierranden de Rijn-Maasmonding binnenkomt.
- Op de oostelijke riviertakken wordt op een beperkt aantal locaties gebaggerd. Met name op de Boven Merwede is relatief veel gebaggerd in de periode 1990-2000. Het huidige baggerbeleid heeft hier tot een gemiddelde verdieping geleid, doordat er meer gebaggerd is dan dat er sedimentatie heeft plaatsgevonden.
- Het grootste deel van de Oude Maas (vanaf de Dordtsche Kil bij Dordrecht) is nog steeds aan het verdiepen.
- De noordelijke riviertakken worden om nautische redenen op diepte gehouden. Voor deze riviertakken geldt dan ook dat de baggerinspanning in evenwicht is met de hoeveelheid sedimentatie.
- De riviertakken langs de zuidrand (Nieuwe Merwede, Amer, Hollandsch Diep en Haringvliet) zijn netto gezien sedimentatiegebieden. Uitzondering hierop wordt gevormd door de Nieuwe Merwede. In de periode 1990-2000 heeft hier erosie van zand plaatsgevonden.

7.5 Aanbevelingen

- In deze studie is veelvuldig gebruik gemaakt van statistische technieken om op basis van een beperkte hoeveelheid gegevens een sluitende sedimentbalans op te kunnen stellen. Met name voor het afleiden van zwevend stofgehalten en van vrachten op de randen is daarbij verondersteld dat de gegevens uit voorgaande perioden representatief zijn voor de periode 1990-2000. Echter, voor een goed begrip van de fysische processen die in de Rijn-Maasmonding optreden blijft het noodzakelijk om structurele metingen in het gebied uit te blijven voeren. Indien dit niet meer gebeurt dan zal het in de toekomst niet meer mogelijk zijn om trendbreuken en externe veranderingen te verklaren of om eventuele fouten in meetgegevens te kunnen signaleren.

-
- De grootste onbekende in deze studie is de grootte van het zandtransport. Tijdens het hoogwater in 2002 is op het splitsingspunt van de Nieuwe Merwede en de Beneden Merwede hiernaar onderzoek verricht. Aanbevolen wordt om dit onderzoek uit te breiden naar de riviertakken rondom het Eiland van Dordrecht en onder verschillende omstandigheden te kijken. Met name voor de Dordtsche Kil geldt dat de stromingsrichting kan omkeren, waardoor het netto sedimenttransport niet goed bepaald kan worden. Bij het opstellen van deze balans is wel gebleken dat met name de sedimentverdeling op de splitsingspunten rondom het Eiland van Dordrecht bepalend is voor de hoeveel riviersediment dat de Rijn-Maasmonding via de Maasmond verlaat.
 - De resultaten van deze studie (sedimentbalans 1990-2000) en voorgaande sedimentbalansen (1970-1992) konden enkel kwalitatief met elkaar vergeleken worden. De belangrijkste reden hiervoor is dat de tussenstappen van eerdere studies niet in beeld gebracht zijn, waardoor ook keuzes en aannames in voorgaande studies niet gereproduceerd kunnen worden. Om die reden is in dit rapport in hoofdstuk 3 en bijlage A en B uitgebreid ingegaan op de methode. Voor toekomstige balansstudies wordt aanbevolen om de in deze studie ontwikkelde methode te gebruiken, zodat keuzes op een consistente manier worden gemaakt en resultaten goed met elkaar kunnen worden vergeleken.
 - Bij het opstellen van de sedimentbalans 1990-2000 is gebruik gemaakt van gegevens die bij de beheerder RWS Zuid-Holland beschikbaar waren. Met name de baggergegevens bleken moeilijk te achterhalen. Ook zijn in deze studie fouten geconstateerd in de aangeleverde baggergegevens. Aanbevolen wordt om een apart onderzoek te doen naar de juistheid en onzekerheden in de baggergegevens die in deze studie gehanteerd zijn.
 - In deze studie zijn verschillende aannames gedaan om te komen tot een (sluitende) sedimentbalans waarmee de morfologische ontwikkelingen beschreven konden worden. De doorwerking van deze keuzes en de gevoeligheid van de uitgangspunten en onzekerheden in de basisgegevens zijn niet grondig onderzocht. Aanbevolen wordt om, op basis van de in dit rapport gepresenteerde sedimentbalans en onderliggende methode, een onzekerheidsanalyse uit te voeren. Dit stelt de beheerder in staat om een afweging te maken naar welke aspecten in de toekomst een meetinspanning verricht moet worden. In deze onzekerheidsanalyse dient in ieder geval gekeken te worden naar: het effect van veranderingen in de restafvoer op verschillende riviertakken, onzekerheden in de baggergegevens, de keuze van de trendlijn uit lodingen, de aanvoer van sediment over de randen en de sedimentverdeling op splitsingspunten. Dit zijn de belangrijkste onzekerheden die op basis van de analyses in deze studie zijn geconstateerd.
 - In 1997 is de Beerdam geopend. In deze studie zijn de effecten hiervan buiten beschouwing gelaten, omdat hiervoor te weinig

gegevens beschikbaar waren om de morfologische gevolgen van deze ingreep in beeld te kunnen brengen. Aanbevolen wordt om de gegevens die in deze balans gebruikt zijn aan te vullen en het effect van deze ingreep op de morfologische ontwikkeling apart in beeld te brengen.

Referenties

Allersma, E., 1988. Morfologisch onderzoek Noordelijk Deltabekken; morfologische modellering, deel 1 t/m 4. WL Delft Hydraulics, Z71-03.

Ten Brinke, W.B.M. (red.), 2001. Sedimentbalans Rijntakken 2000. Rijkswaterstaat RIZA, rapportnummer 2001-043.

Dreumel, P.F. van, 1995. Slib- en zandbeweging in het Noordelijk Deltabekken: in de periode 1982-1992. Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland.

Fioole, A. en Steenkamp, B.P.C., 2000. Effect hoge afvoeren op de bodemontwikkeling van de Nieuwe Merwede. Rijkswaterstaat RIZA, werkdocument 2000-200X.

Fioole, A., 2000. De nauwkeurigheid bij het ruimtelijk interpoleren (met SURFIS) – van bodemhoogten in het Spijkerboor. Rijkswaterstaat RIZA, rapportnummer 2000-003.

Fugro Ingenieursbureau, 2002. Laboratoriumresultaten betreffende morfologisch modelleren (datarapport). opdracht nummer H-4086.

Houwing, E.J. en Blom, G., 2001. Sedimenttransport en morfologische ontwikkeling van het Noordelijk Deltabekken. Rijkswaterstaat RIZA, rapportnummer 2001-021.

Koomans, R.L., 2002a. Bodemsamenstelling Haringvliet: sediment karakterisatie en analyse. Medusa Explorations BV, 2001-P-015-R4.

Koomans, R.L., 2003. Medusa kartering Amer, Merwede, Bergsche Maas: verontreiniging van de waterbodem. Medusa Explorations BV, 2002-P-027.

Mol, A.C.S., 2003. Morfologische gevolgen van rivierverruimende maatregelen langs de Merweden. Universiteit Twente, afstudeerrapport.

Mol, A.C.S., 2004. Morfologische effecten Ruimte voor de Rivier in het benedenriviereengebied. Universiteit Twente, 2004R-007/WEM-010.

Sloot, J.S. en G.A. van den Berg, 2000. Evaluatie instellingen regionaal model Zuidrand Noordelijk Deltabekken. Rijkswaterstaat RIZA, werkdocument 1999.103X.

Verlaan, P.A.J. en Spanhoff, R., 1993. Aanslibbing in de Maasmond: inventarisatie en heranalyse. Rijkswaterstaat RIKZ.

Bijlage A Berekening trend bodemhoogte

Om een sedimentbalans op te kunnen stellen over het tijdvak 1990 t/m 1999 is het nodig te weten wat de jaargemiddelde verandering van de bodemhoogte is. De bodemhoogte die hier gebruikt is, is de ruimtelijk (met SURFIS) geïnterpoleerde bodemhoogte (met een gridgrootte van 10 X 10 meter) die gemeten is middels single beam dieptepeilingen.

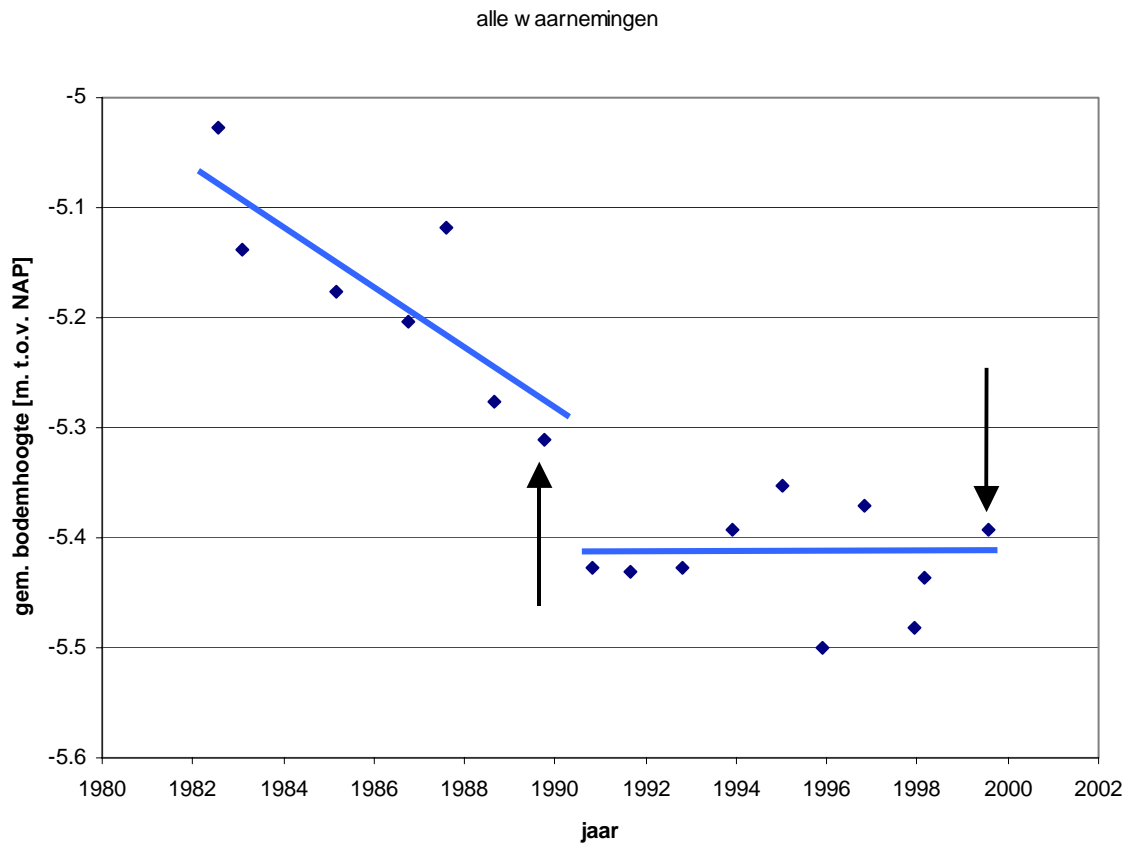
De trend (gemiddelde bodemverandering per jaar) kan op meerdere manieren vastgesteld worden.

1. Bereken de jaargemiddelden van 1990 en 1999. Bepaal vervolgens het verschil tussen deze 2 jaren en reken dit verschil om naar cm/jaar.
2. Bereken eerst alle jaargemiddelden en bereken middels regressie de trend (richtingscoëfficiënt is trend).
3. Bereken eerst alle jaargemiddelden. Kies 2 jaar die de trend beschrijven. Bereken het verschil van de gemiddelden en reken dit verschil om naar cm/jaar.

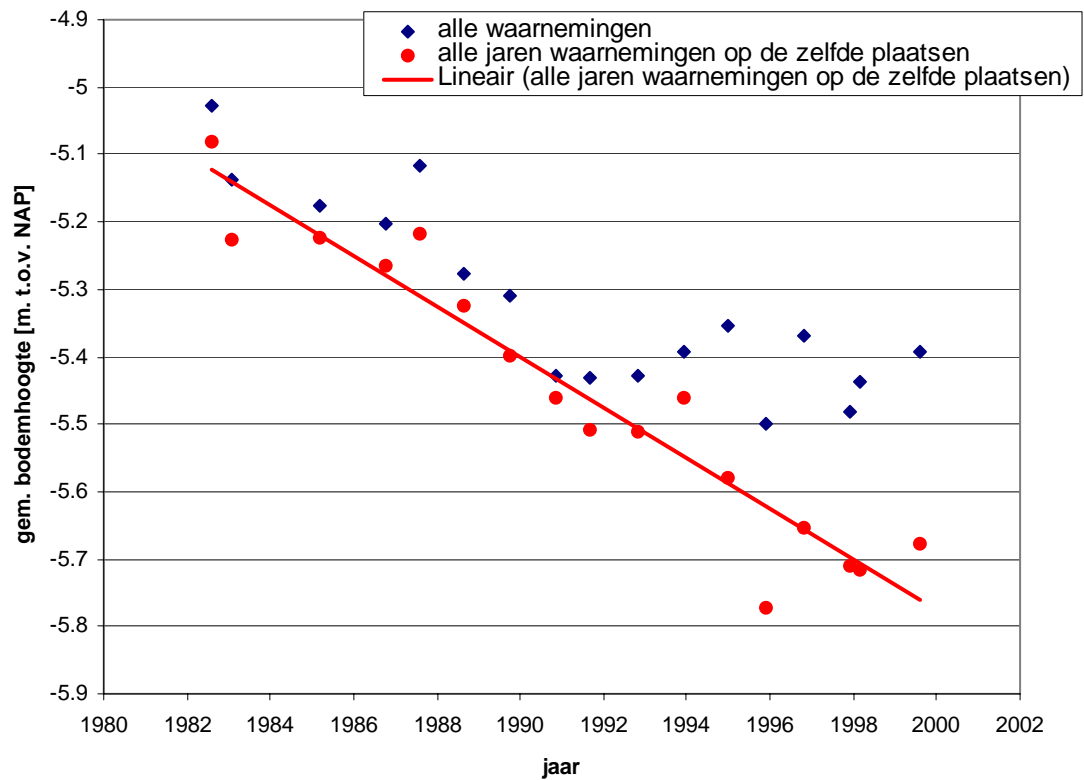
Als voorbeeld zijn in onderstaande figuur de jaargemiddelde bodemhoogtes in de Boven Merwede uitgezet tegen de jaren van meten. Langs de horizontale as staat steeds het jaar en maand van opname (bijv z9312 betekent opname bodemligging december 1993). Langs de verticale as staat steeds de gemiddelde bodemligging voor een riviertak ten opzichte van NAP, waarbij tevens het 95% betrouwbaarheidsinterval is aangegeven (CI=Confidence Interval).

Als voor de trend in gemiddelde bodemverandering gekozen wordt voor de eerste manier, dan is het mogelijk dat de gekozen jaren niet de trend beschrijven. Als de verandering van de bodemhoogte bepaald wordt uit de jaren 1990 en 1999 (de zwarte pijlen in de figuur geven deze jaren aan), dan zal de conclusie zijn dat de bodemhoogte ongeveer 9 cm in 10 jaar = 0,9 cm/jaar gedaald is.

De trend bepalen op de tweede manier kan alleen als er geen trendbreuk bestaat in de ontwikkeling van de bodemhoogte (zie de blauwe lijn die de mogelijk trend beschrijft). Er moet dus een periode gezocht worden waar geen trendbreuk in aanwezig is. In de figuur is dat de periode 1991 t/m 2000. De regressielijn door de gemiddelden van deze jaren laat zien dat er vrijwel geen verandering van de bodemhoogte aanwezig is. Een voorwaarde om door middel van regressie de trend te bepalen is wel dat de regressielijn goed te bepalen moet zijn. Dit is niet altijd het geval. Soms liggen de punten (gemiddelden) zodanig dat de berekende lijn niet de trend beschrijft. Beter is het dan ook om op het oog de trend vast te stellen en vervolgens twee jaren te kiezen die deze trend beschrijven. Dit is de werkwijze die met methode 3 bedoeld wordt. Zo is in de figuur te zien dat de trend niet alleen beschreven wordt door de jaren 1991 en 1999, maar ook door de jaren 1994 en 2000.



Bij het vaststellen van de jaargemiddelde bodemhoogtes is het echter belangrijk dat deze gemiddelden gebaseerd zijn op de zelfde locaties. Immers, als in het eerste jaar niet tussen de kribben gemeten wordt en in het tweede jaar wel, dan kan de situatie ontstaan dat de gemiddelde bodemhoogte, ondanks dat er een duidelijke verdieping plaats heeft gevonden, gelijk blijft. Dit is te zien in onderstaande figuur. In deze figuur zijn de blauwe punten de gemiddelde bodemhoogtes van alle gemeten locaties, de rode punten zijn gemiddelden waarbij in alle jaren waarnemingen waren.

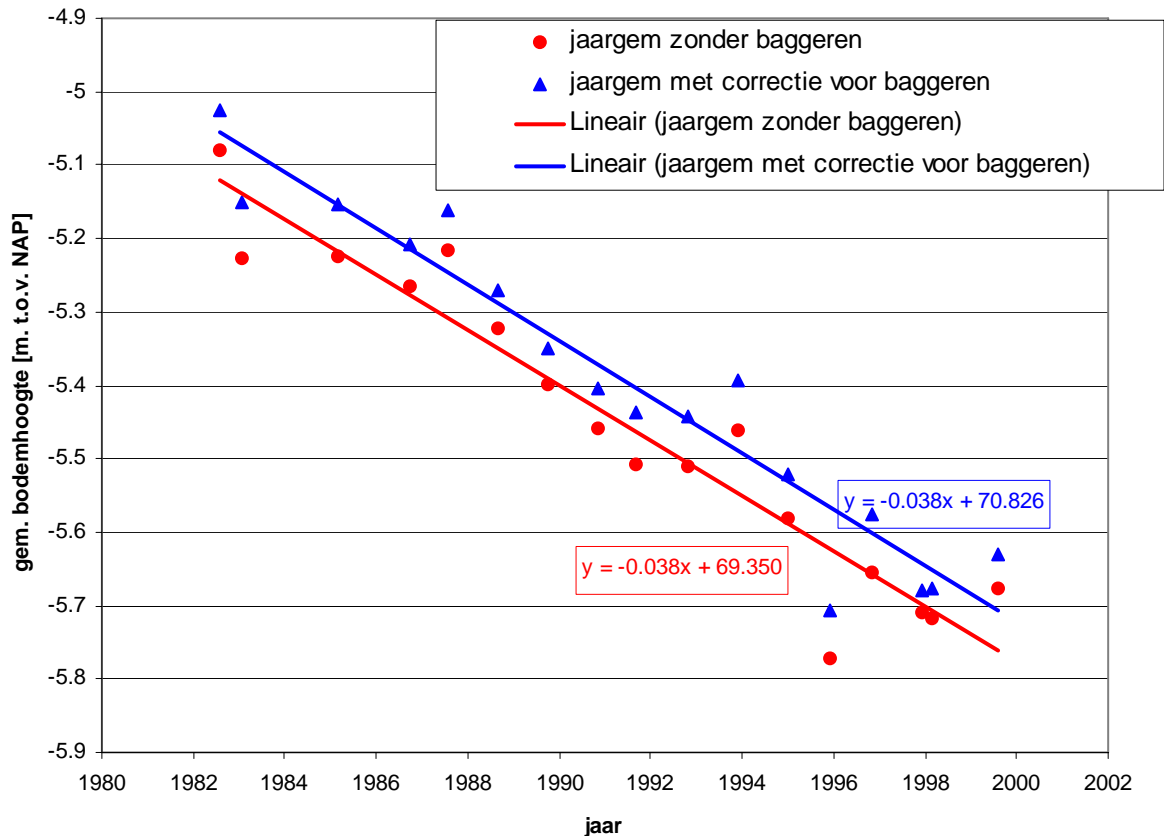


In de figuur is te zien dat de trendbreuk na 1991 (zoals te zien was in de vorige figuur) veroorzaakt wordt door het feit dat er na 1991 meer op ondiepe plaatsen is gemeten dan in de jaren voor 1991.

Conclusie uit dit alles:

De trend kan het beste bepaald kan worden met methode 3, waarbij als voorwaarde gesteld moet worden dat er op dezelfde plaatsen is gemeten.

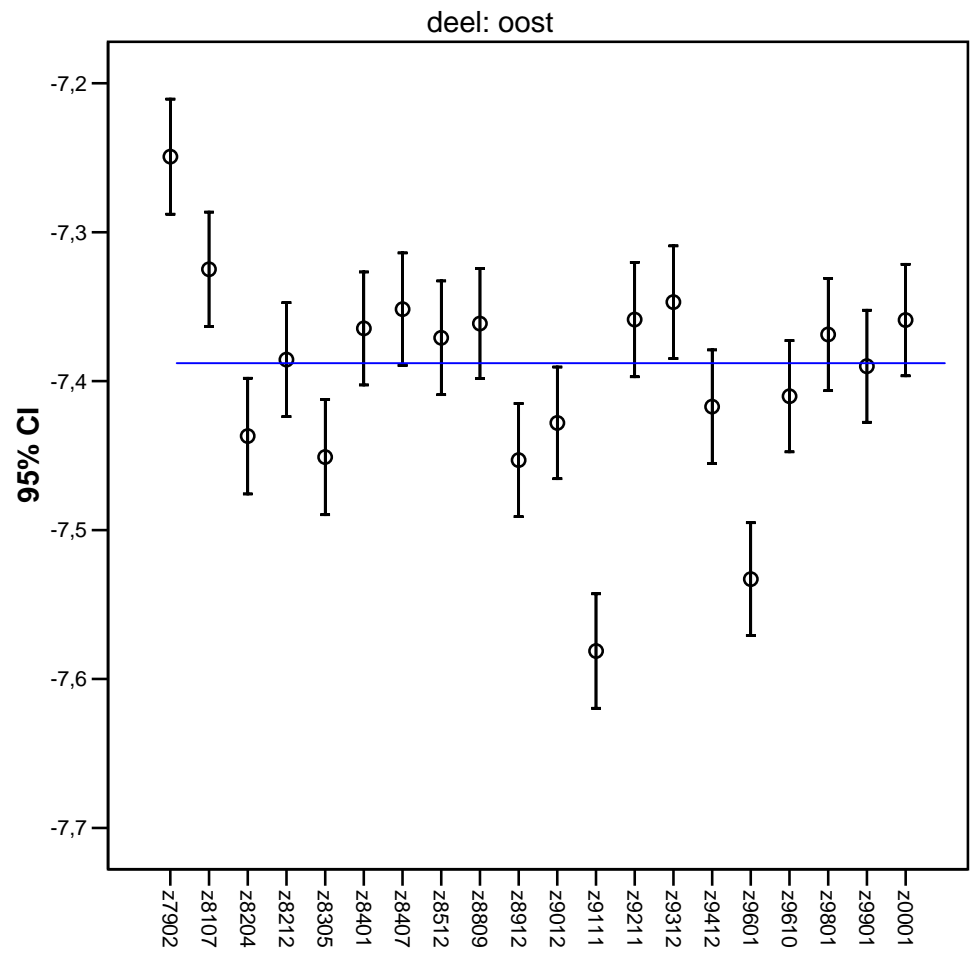
Voordat alle trends per riviertak bepaald zijn is eerst nog onderzocht of de (gemiddelde) bodemhoogtes eerst gecorrigeerd moesten worden voor baggeren of dat dit ook achteraf kon. Om dit te onderzoeken is voor 1 riviertak (de Boven Merwede) bekeken wat de verschillen zijn. In onderstaande figuur zijn de jaargemiddelde bodemhoogtes van de verschillende jaren uitgezet tegen het moment van meten. Dit is gedaan voor de gemeten gemiddelden (rode punten) en voor de (voor baggeren) gecorrigeerde bodemhoogtes. Tevens zijn door deze gemiddelden de regressielijnen berekend. Zoals in de figuur te zien is, zijn de richtingscoëfficiënten van beide lijnen gelijk (-3.8 cm/jaar).



De conclusie die hier uit getrokken kan worden is dat baggeren de trend in de verandering van de bodemhoogte niet beïnvloed.

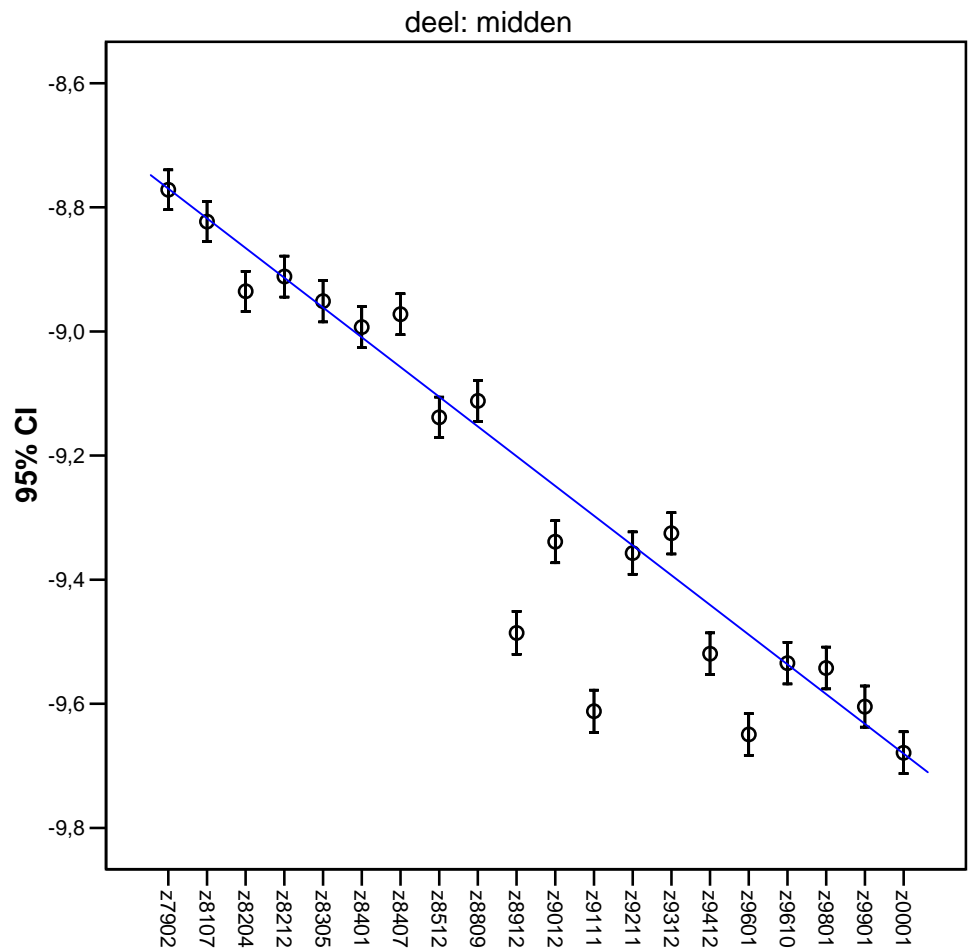
In de volgende paragrafen zijn per riviertak de jaargemiddelde bodemhoogtes, (gebaseerd op dezelfde locaties) als functie van tijd weergegeven. Tevens is in alle grafieken de aangenomen trend ingetekend. Onder de grafieken is vermeld welke jaren de trend beschrijven en wat de gemiddelde verandering van de bodemhoogte in de tijd is.

OUDE MAAS OOST



De blauwe lijn in de figuur geeft het mogelijke verloop van de bodem aan. De gemiddelde bodemverandering is dan ook 0 cm/jaar.

OUDE MAAS MIDDEN



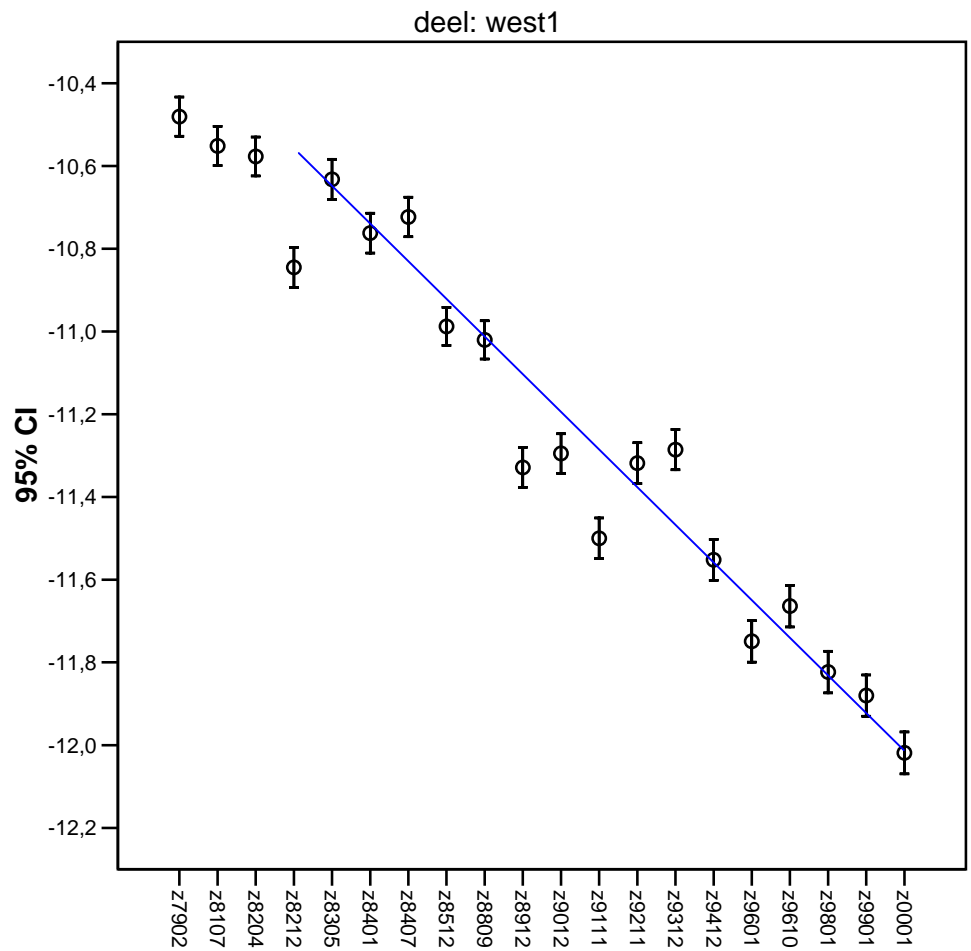
Als gekozen wordt voor de blauwe lijn dan zijn de representatieve momenten van dieptepeilingen november 1992 en januari 2000 (op de horizontale as resp. Z9211 en Z001). Het gemiddelde verschil tussen de gepaarde gridcellen is te zien de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	40452	-7.26	5.67	-.3176	.87951
Valid N (listwise)	40452				

Dit betekent dat er een gemiddelde daling is van 31.76 cm in 7 jaar. Dat is dus 4.5 cm per jaar.

OUDE MAAS WEST 1



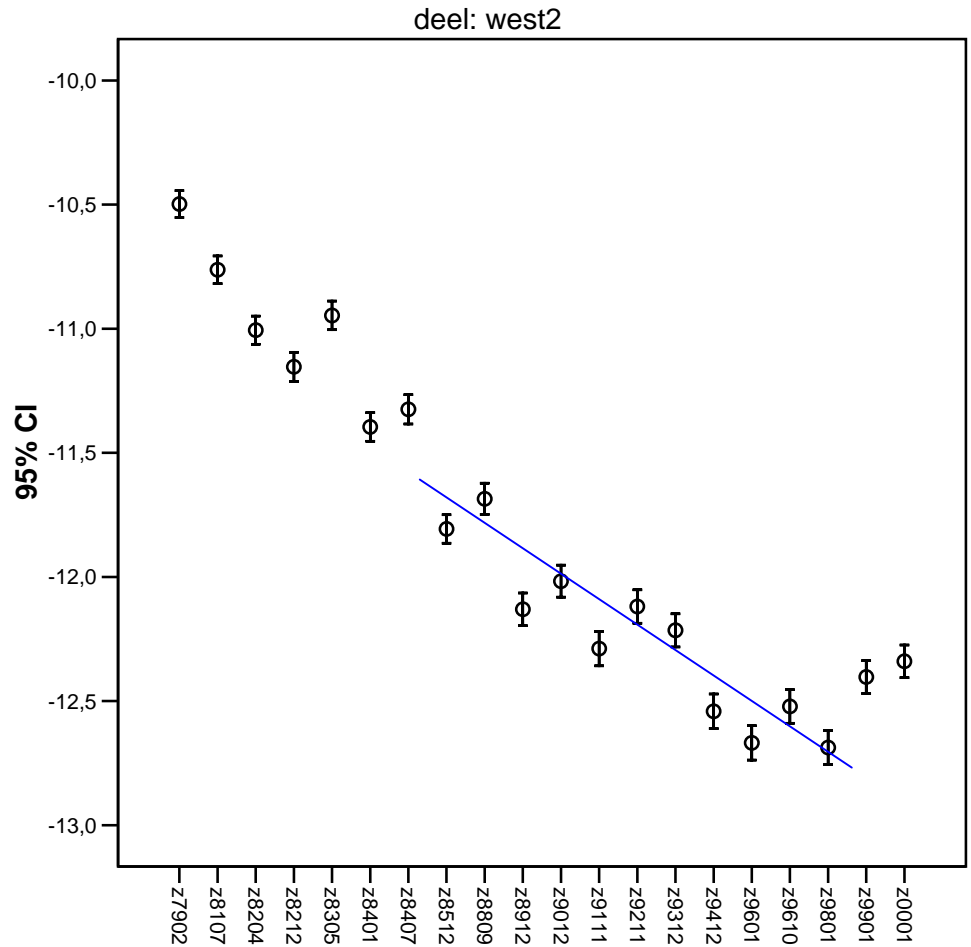
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 De representatieve momenten van dieptepeilingen zijn december 1994 en januari 2000 (op de horizontale as resp. Z9412 en Z0001).
 Het gemiddelde verschil tussen de gepaarde gridcellen is te zien de de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	26497	-6.38	4.86	-.4084	.65719
Valid N (listwise)	26497				

In de tabel is te zien dat de gemiddelde daling in 5 jaar 40.84 cm is.
 Dit betekent dus een gemiddelde daling van 8.2 cm per jaar.

OUDE MAAS WEST 2



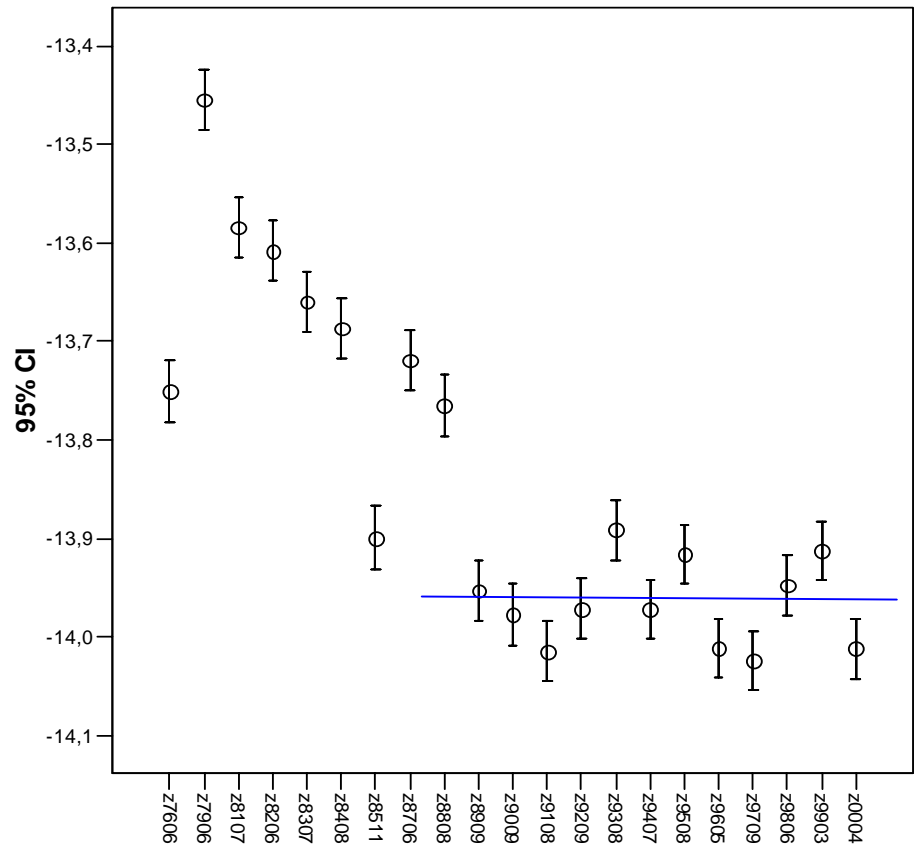
Als trend voor de jaren 1990-2000 kan de blauwe lijn gekozen worden. De representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend beschrijven zijn december 1990 en januari 1998 (op de horizontale as resp. Z9012 en Z9801). Het gemiddelde verschil tussen de gepaarde cellen is te zien de de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	7971	-10.43	6.30	-.7215	1.28705
Valid N (listwise)	7971				

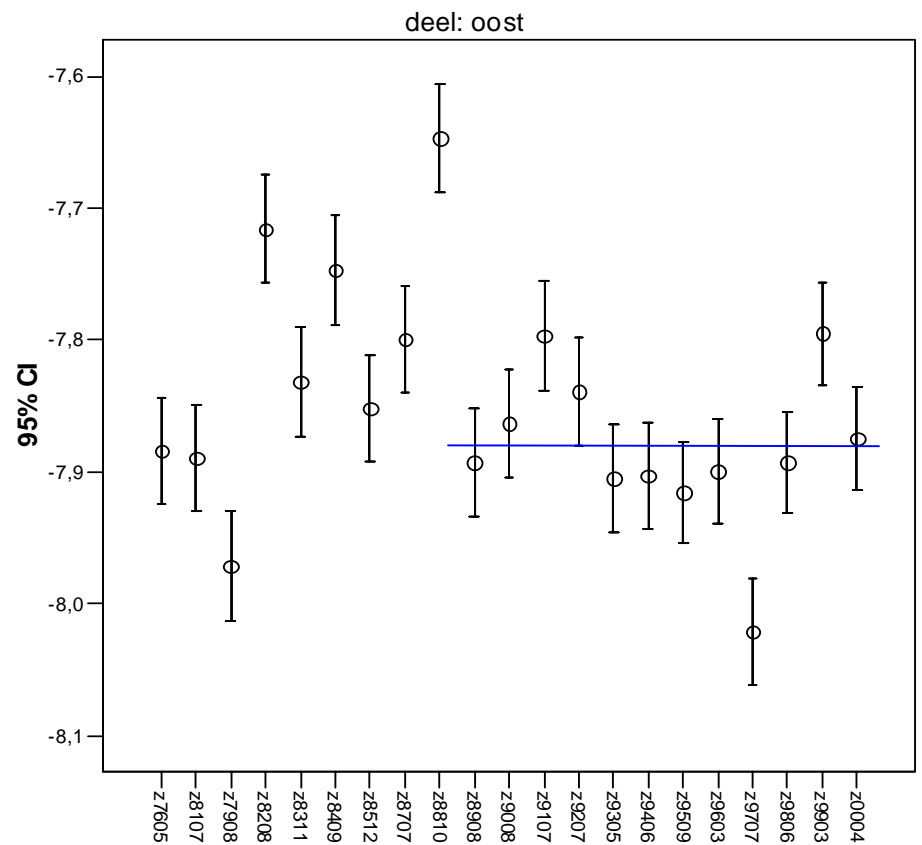
In de tabel is te zien dat de gemiddelde daling in 7 jaar 72.15 cm is. Dit betekent dus een gemiddelde daling van 10.3 cm per jaar.

NIEUWE WATERWEG



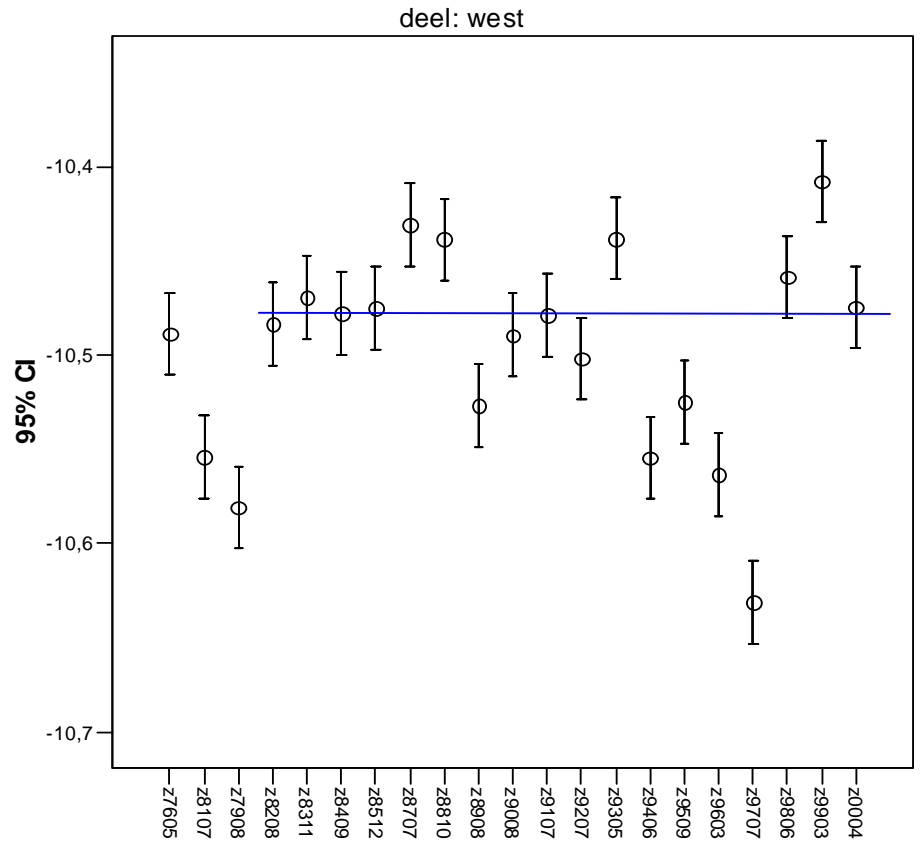
In de figuur is te zien dat er na 1989 geen trend meer aanwezig is. Alles wat sedimenteert wordt weer weggebaggerd. De gemiddelde bodemverandering is dan ook gesteld op 0 cm/jaar.

NIEUWE MAAS OOST



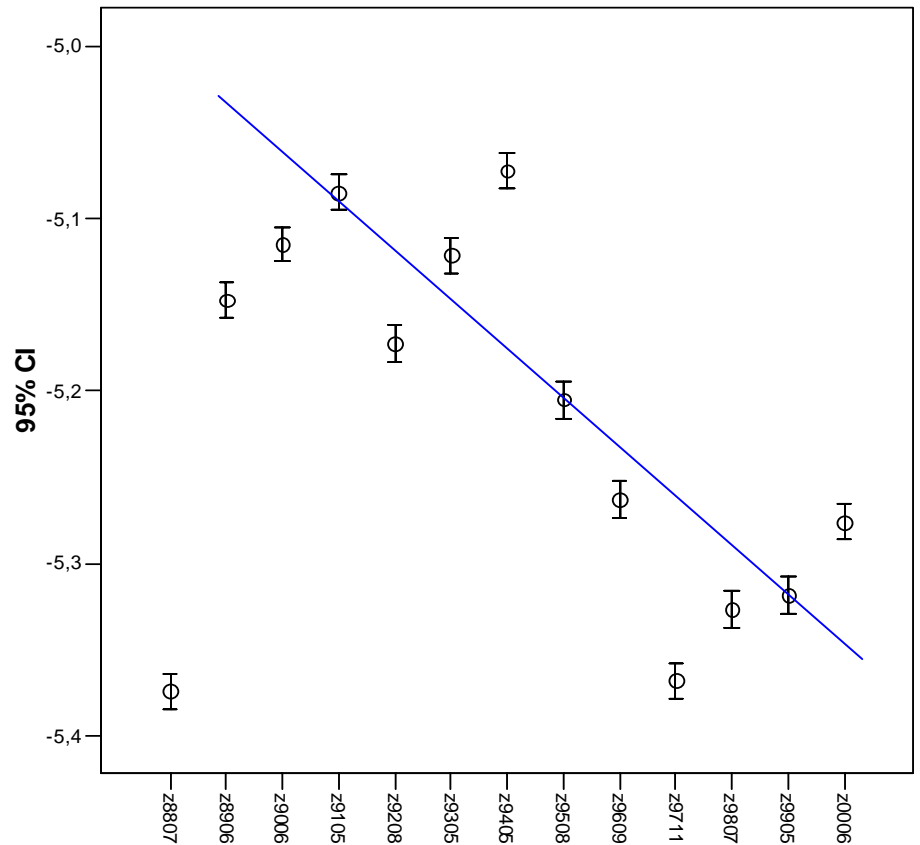
In de figuur is te zien dat er na 1989 geen duidelijke trend aanwezig is. Ook hier wordt alles weggebaggerd wat sedimenteert. De gemiddelde verandering van de bodemhoogte is dan ook op 0cm/jaar gesteld.

NIEUWE MAAS WEST



In de figuur is te zien dat er geen duidelijke trend aanwezig is. Alles wat sedimenteert wordt weer gebaggerd.
De gemiddelde verandering van de bodemhoogte is dan ook op 0cm/jaar gesteld.

LEK



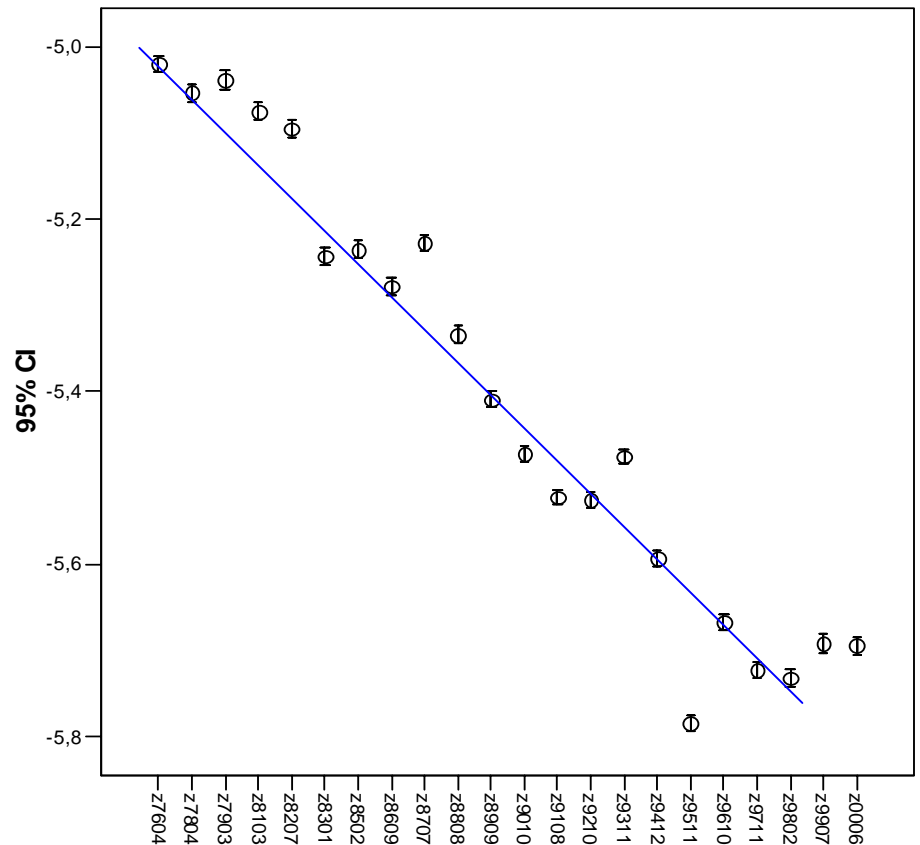
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn mei 1991 en mei 1995 gekozen (op de horizontale as resp. Z9105 en Z9905).
 De gemiddelde verandering is in de tabel te zien.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	46236	-5.00	4.82	-.2286	.54341
Valid N (listwise)	46236				

De daling van de bodem is gemiddeld 22.86 cm in 8 jaar.
 Dus de gemiddelde bodemdaling bedraagt 2.9 cm/jaar.

BOVEN MERWEDE



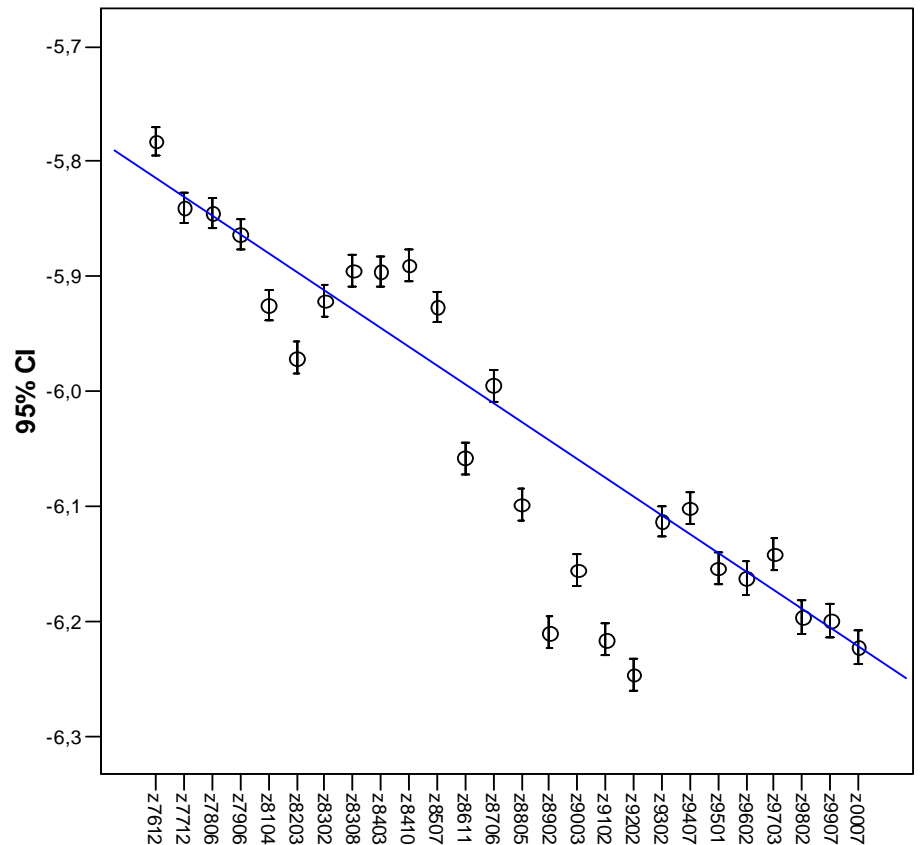
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn. Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn februari 1998 en september 1986 gekozen (op de horizontale as resp. Z9802 en Z8609). De gemiddelde verandering van de bodemhoogte is in de tabel te zien.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	34668	-4.80	8.30	-.4325	.70960
Valid N (listwise)	34668				

De gemiddelde bodemdaling in 11.5 jaar bedraagt 43.25 cm. Dit betekent dat de gemiddelde daling 3.8 cm per jaar is.

BENEDEN MERWEDE



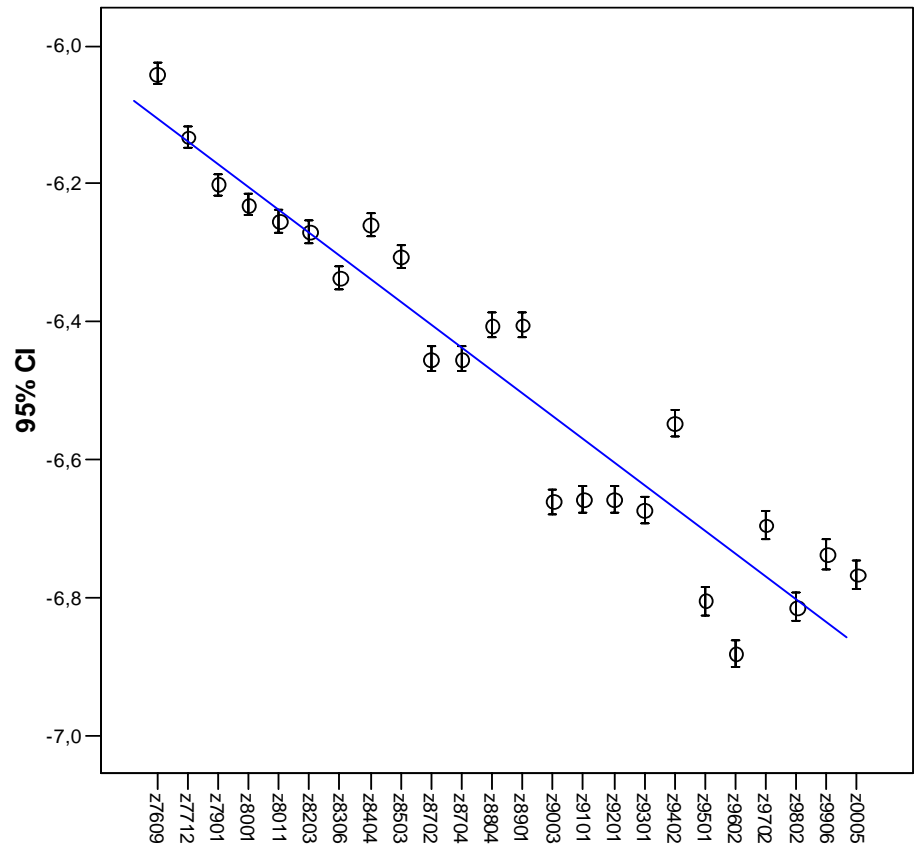
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn juni 1978 en juli 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z7806 en Z0007).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	35120	-7.61	6.69	-.3578	.88284
Valid N (listwise)	35120				

De bodemdaling in 22 jaar bedraagt 35.78 cm. Dit betekent dat de bodem gemiddelde met 1.6 cm per jaar daalt.

NOORD



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.

Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn april 1987 en februari 1998 gekozen (op de horizontale as resp. Z8704 en Z9802).

Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

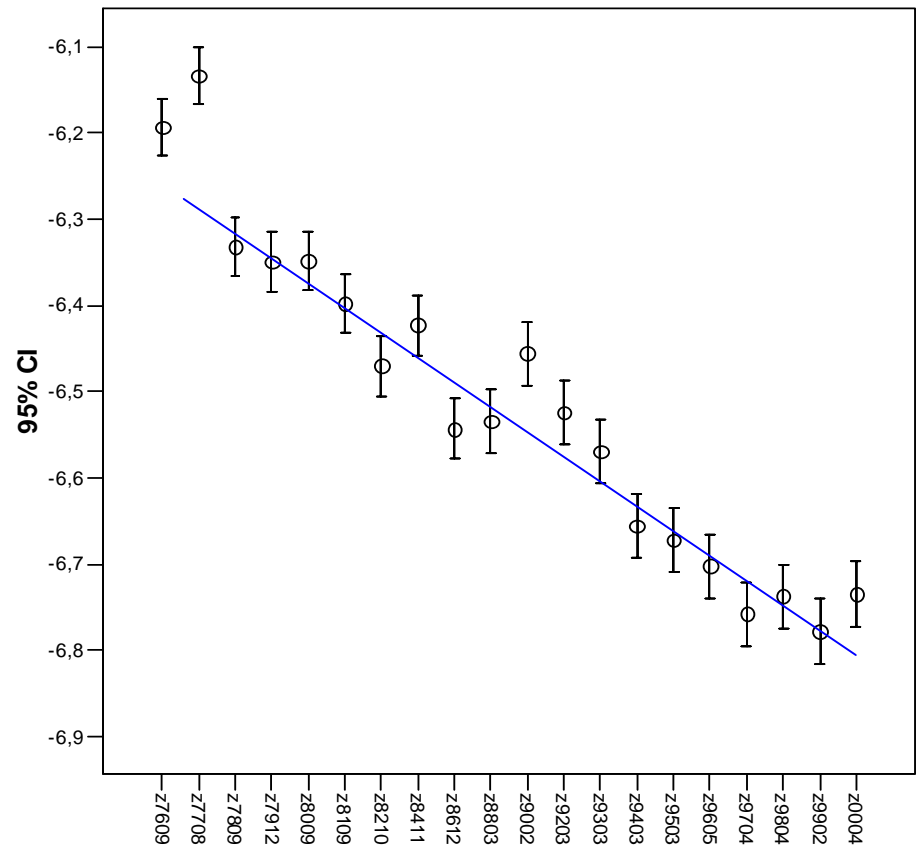
Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	19012	-3.42	4.40	-.3172	.65535
Valid N (listwise)	19012				

In de tabel is te zien dat de bodemdaling in 11 jaar gemiddeld voor de gehele rivier 31.72 cm bedraagt.

Dit betekent dat de gemiddelde bodemdaling voor de noord 2.9 cm per jaar bedraagt.

SPUI



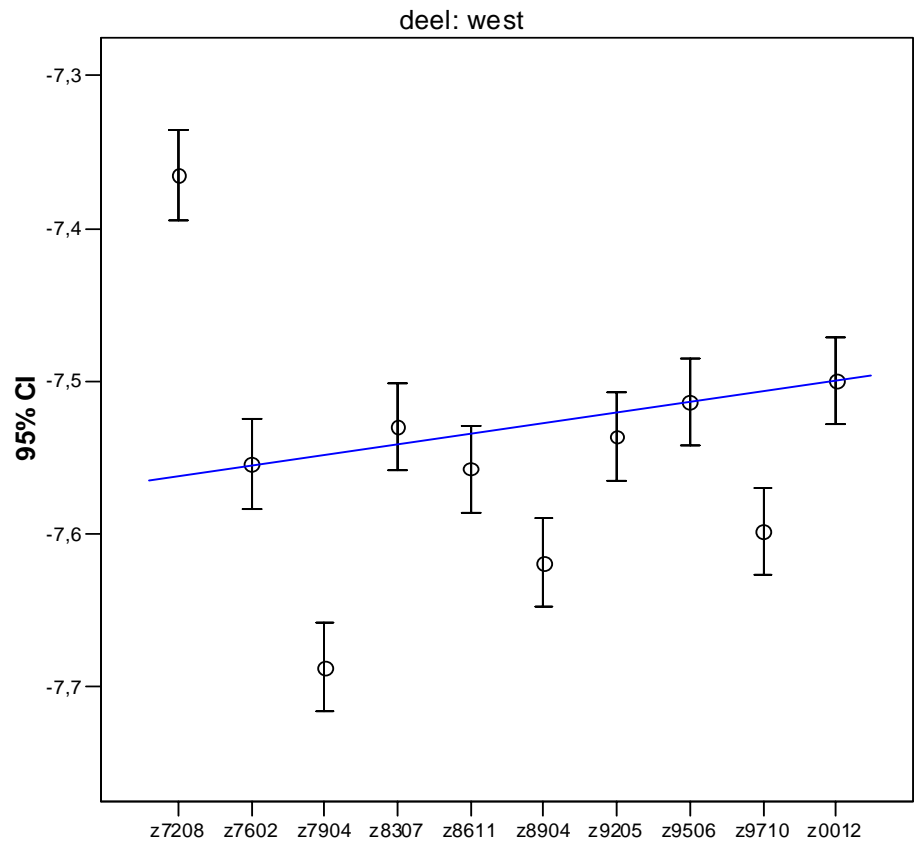
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn december 1979 en februari 1999 gekozen (op de horizontale as resp. Z8704 en Z9802). Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	28368	-9.56	7.01	-.3501	1.08544
Valid N (listwise)	28368				

De gemiddelde bodemdaling per jaar bedraagt $35.01/19=1.8$ cm/jaar

HARINGVLIET WEST



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn juli 1983 en december 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z8704 en Z9802).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

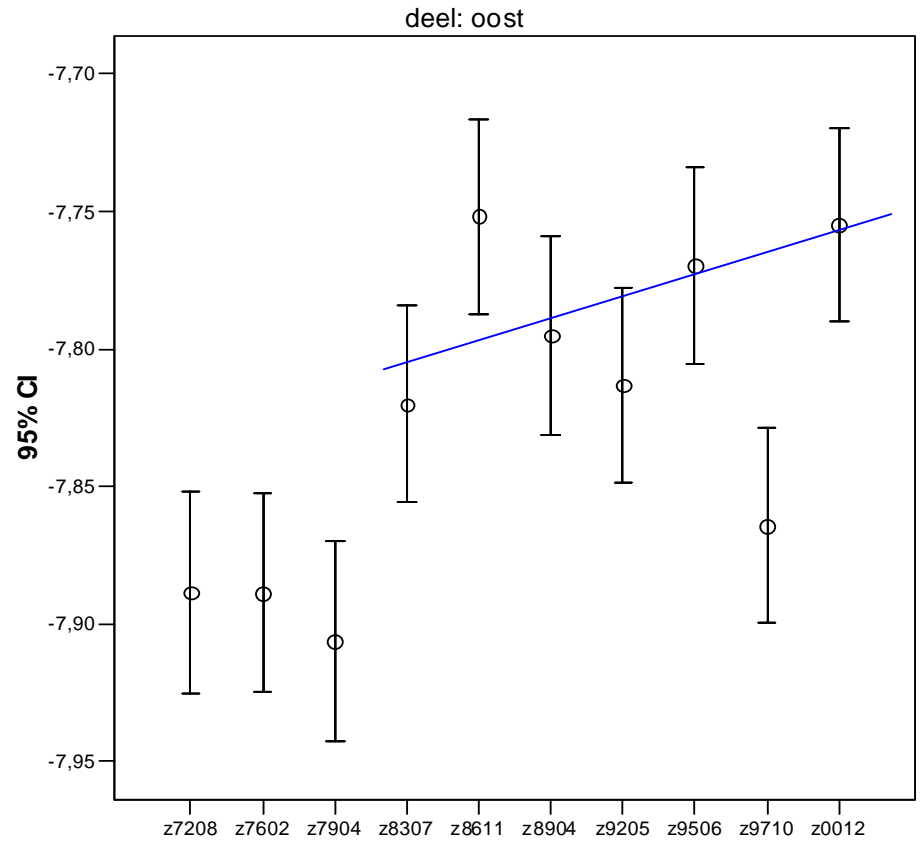
Descriptive Statistics(a)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	77054	-12.17	10.45	.0345	.82241
Valid N (listwise)	77054				

a deel = west

De gemiddelde sedimentatie per jaar bedraagt $3.45 / 16.5 = 0.21$ cm/jaar

HARINGVLIET OOST



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn juni 1995 en december 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z9506 en Z0012).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

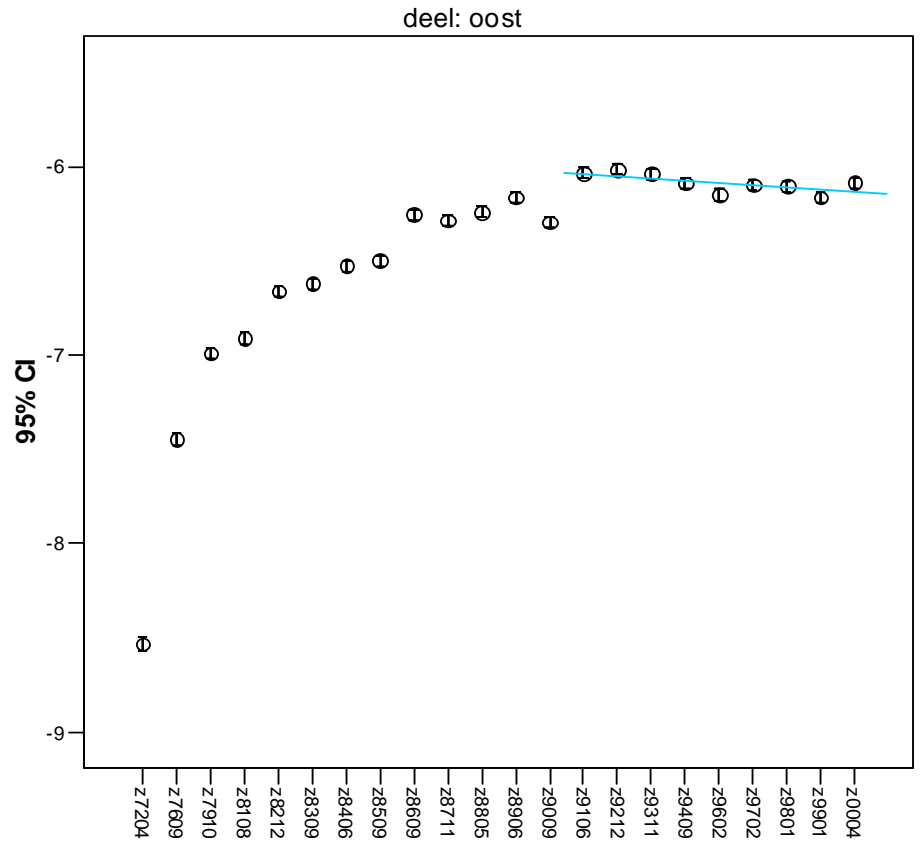
Descriptive Statistics(a)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	83406	-15.48	25.05	.0178	.73947
Valid N (listwise)	83406				

a deel = oost

De gemiddelde sedimentatie bedraagt $1.78 / 5.5 = 0.32$ cm/jaar

HOLLANDSCH DIEP OOST



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn december 1992 en april 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z9212 en Z0004).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

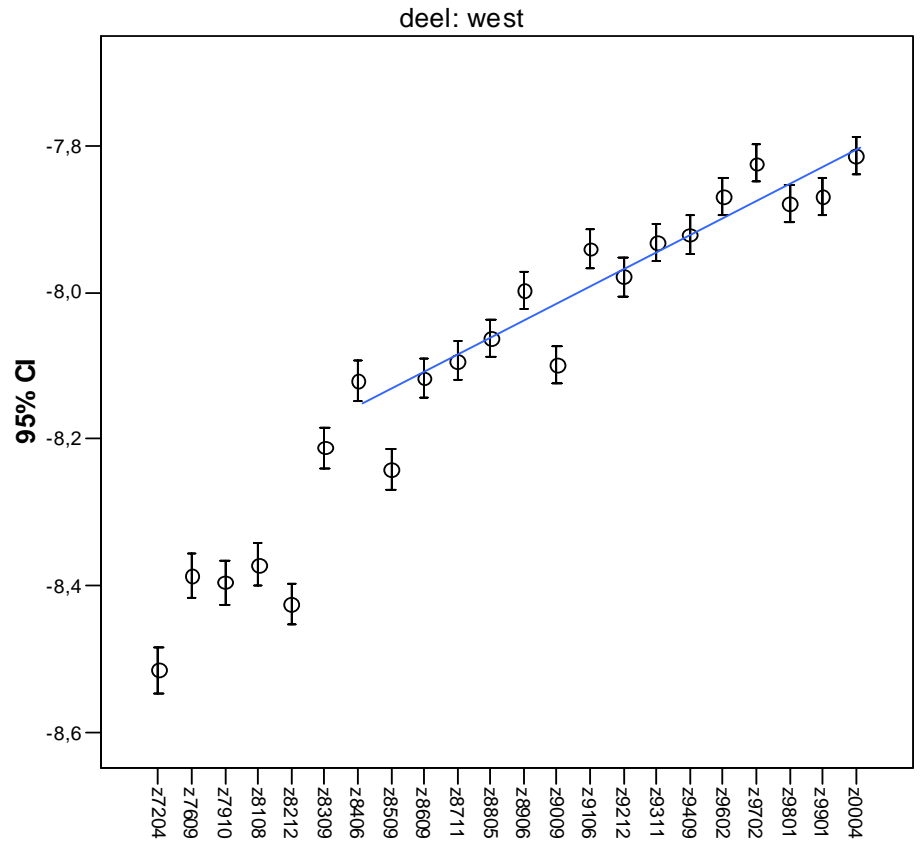
Descriptive Statistics(a)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	19308	-4.73	5.70	-.0644	.57341
Valid N (listwise)	19308				

a deel = oost

De gemiddelde verandering van de bodemhoogte bedraagt $-6.44 / 7.3 = 0.88$ cm/jaar

HOLLANDSCH DIEP WEST



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn december 1992 en april 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z9212 en Z0004).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

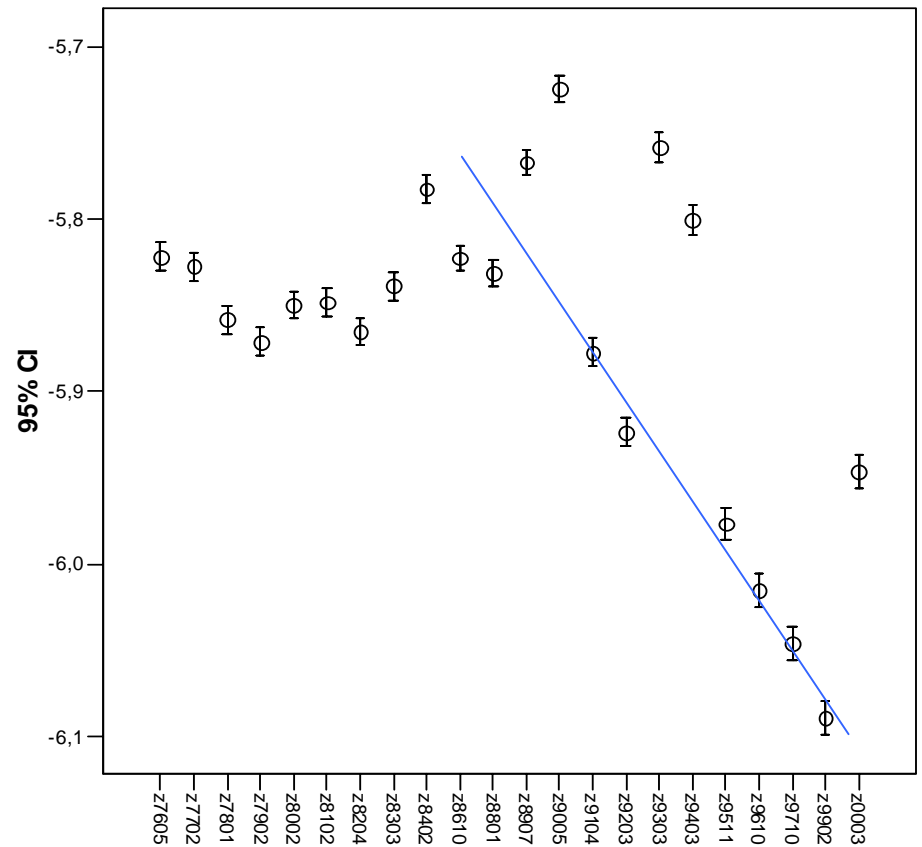
Descriptive Statistics(a)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v Valid N (listwise)	69075	-12.74	9.51	.1172	.81766

a deel = west

De gemiddelde verandering van de bodemhoogte is $11.72 / 7.33 = 1.60$ cm/jaar

BERGSE MAAS



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.

Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn oktober 1997 en april 1991 gekozen (op de horizontale as resp. Z9710 en Z9104).

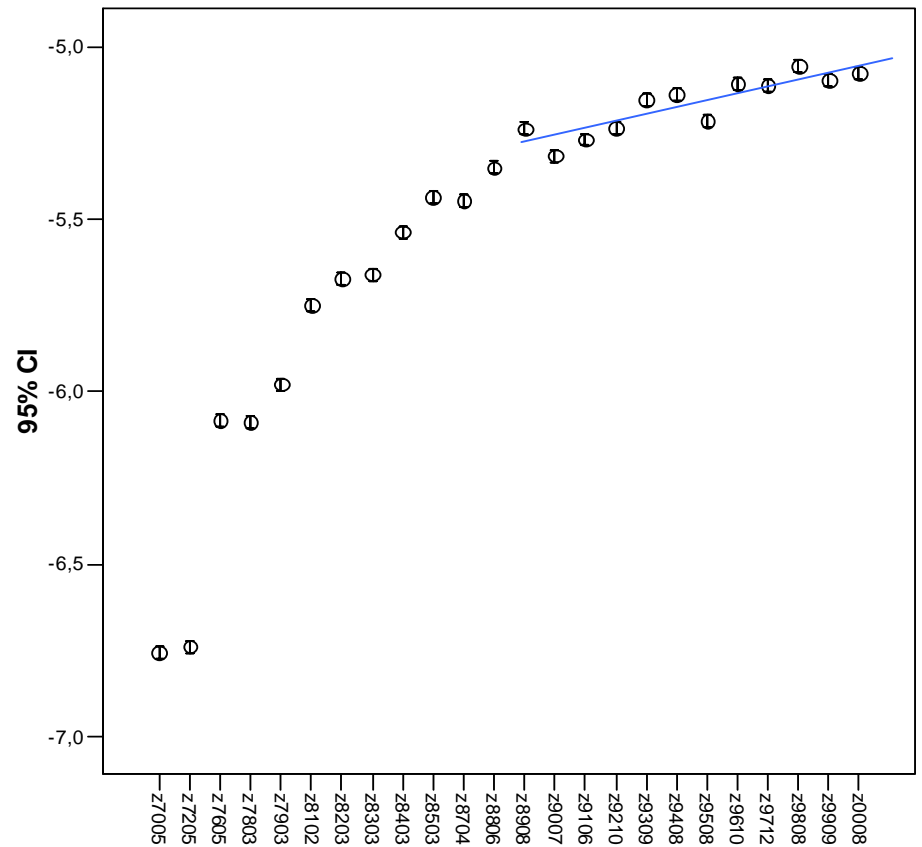
Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	44436	-4.81	5.47	-.1354	.60629
Valid N (listwise)	44436				

De gemiddelde verandering van de bodemhoogte bedraagt dus $-13.54 / 6.5 = -2.1$ cm/jaar

AMER



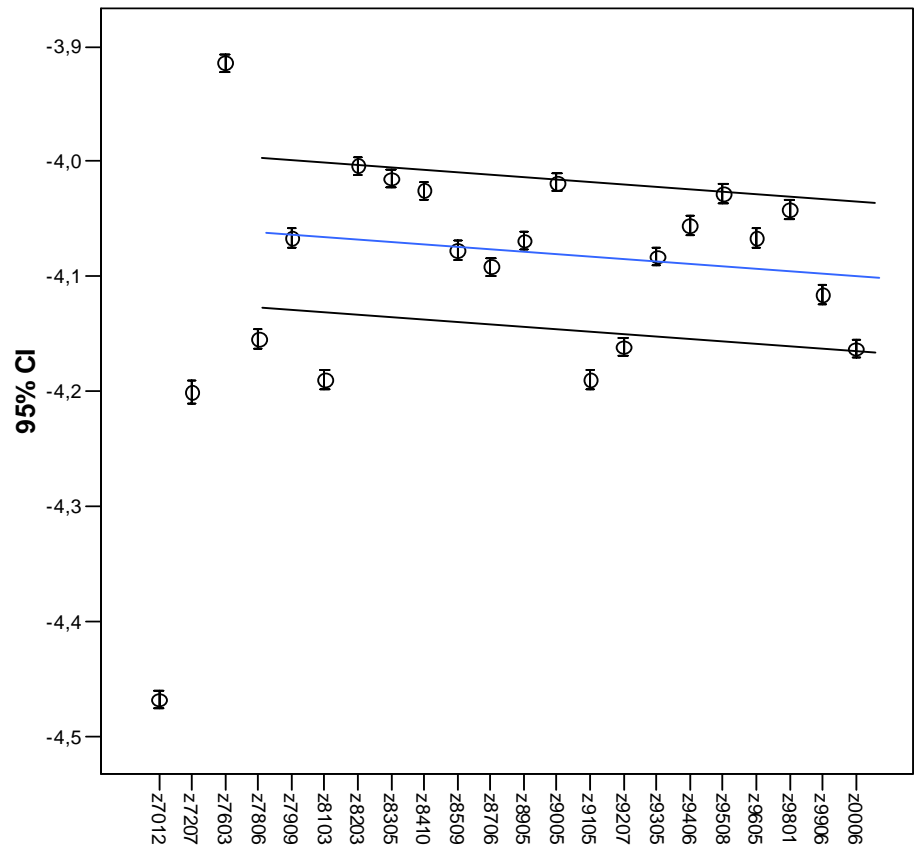
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn oktober 1992 en augustus 2000 gekozen (op de horizontale as resp. Z9212 en Z0004).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	46465	-4.53	5.22	.1503	.45880
Valid N (listwise)	46465				

De gemiddelde verandering van de bodemhoogte bedraagt $15.03 / 8 = 1.9$ cm/jaar

NIEUWE MERWEDE



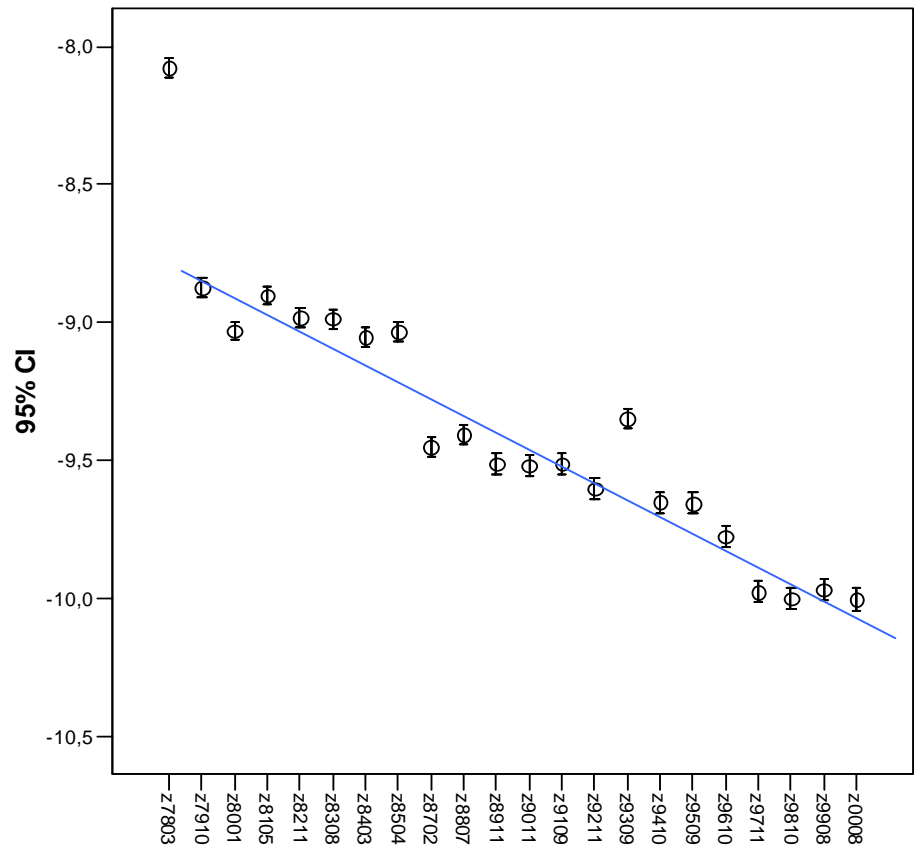
De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn juni 1999 en juni 1987 gekozen (op de horizontale as resp. Z9906 en Z8706).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	87443	-4.89	6.25	-.0177	.41823
Valid N (listwise)	87443				

De gemiddelde verandering van de bodemhoogte is dus $-1.77 / 12 = -0.15$ cm/jaar.

DORDTSCH KIL



De trend wordt weergegeven door de blauwe lijn.
 Als representatieve momenten van dieptepeilingen die deze trend weergeven zijn november 1990 en oktober 1998 gekozen (op de horizontale as resp. Z9011 en Z9810).
 Het gemiddelde van de (gepaarde) verschillen staat in de tabel.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
v	21870	-6.00	4.78	-.4942	1.09736
Valid N (listwise)	21870				

De gemiddelde verandering in de bodemhoogte is dus $-49.42/8 = -6.2$ cm/jaar.

B.1 Inleiding

Om een sedimentbalans op te kunnen stellen is het nodig te weten hoeveel materiaal (zwevend stof) de Rijn-Maasmonding (RMM) binnenkomt. Ook moet bekend zijn hoe dit materiaal zich verspreidt over de RMM en hoeveel materiaal in de verschillende riviertakken sedimenteert en/of erodeert.

Het is niet mogelijk om op ieder etmaal in de periode 1990-2000 de dagelijkse vracht te berekenen op de drie randen bij Hagestein, Vuren en Lith. Op de randen zijn namelijk vaak geen dagelijkse afvoeren en zweven stofgehalten beschikbaar. (Bij Lith bijvoorbeeld zijn er ná 1992 geen zwevend stofgehalten meer gemeten.) Daarom zijn de afvoeren en de vrachten van Lobith en Lith gebruikt om de vrachten bij Hagestein, Vuren en Lith te berekenen en of aan te vullen.

Voor het berekenen van de zwevend stofgehalten op alle knooppunten gelegen in de RMM en op de randen van de RMM zijn metingen van de meetstations Hagestein, Vuren en Lith gebruikt. Omdat er voor deze meetstations slechts incidenteel meetgegevens beschikbaar zijn, zijn ontbrekende etmaalconcentraties berekend uit relaties met Lobith en Lith. Vervolgens zijn de (10 jarig) gemiddelde zwevend stofgehalten bepaald en zijn de gemiddelde zwevend stofgehalten op de knooppunten geschat. Ook de zwevend stofgehalten van meetpunten in de RMM zijn d.m.v. relaties aangevuld tot dagelijkse reeksen en gemiddeld voor 10 jarige perioden. Uit deze gemiddelden zijn ten slotte op het begin- en einde van een riviertak de zwevend stofgehalten berekend. Dit is gedaan door een vloeiend verloop als functie van plaats aan te nemen. Om de verdeling van de zwevend stof vrachten over de riviertakken te berekenen is gebruik gemaakt van de gemiddelde zwevend stofgehalten op de knooppunten aan het begin en het einde van de riviertakken. Omdat het debiet over een riviertak gelijk blijft, is aangenomen dat de zwevend stofvracht met toe- of afneemt als waarmee het gemiddelde zwevend stofgehalte stijft of daalt.

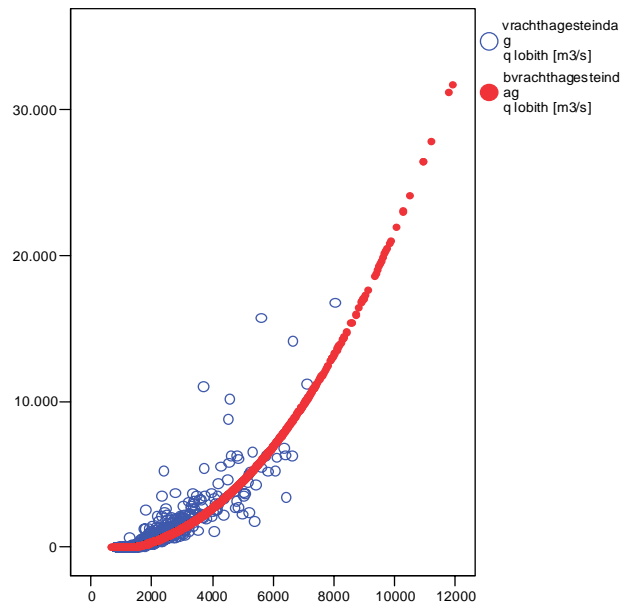
B.2 Zwevend stofvracht Hagestein

De rand van het gebied in de Lek (Knoop O) ligt bij kilometerraai 970. Omdat daar geen meetpunten in de buurt liggen is de zwevend stofvracht en het zwevend stofgehalte van Hagestein gebruikt. Echter van Hagestein zijn er geen zwevend stofgehalten meer gemeten na 1992. Ook zijn er geen afvoeren vóór 1987 gemeten. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven wanneer en hoe vaak zowel het zwevend stof gehalte als de afvoer van Hagestein beschikbaar zijn.

periode	meetfrequentie
1978 t/m 1981	1 x per week
1982 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

Omdat de balans betrekking heeft op de periode 1990 – 2000, zal de reeks uitgebreid moeten worden. Deze uitbreiding is gedaan met de relatie tussen afvoer van Lobith en de zwevend stof vracht van Hagestein.

In onderstaande figuur zijn de “gemeten” zwevend stof vrachten van Hagestein (uit de periode 1978 t/m 1992) uitgezet tegen de afvoeren van Lobith op de zelfde dag (blauwe open rondjes).



Omdat de looptijd tussen Lobith en Hagestein kan variëren, kan er een spreiding ontstaan als de vracht van Hagestein uitgezet wordt tegen de afvoer van Lobith. Om dit probleem op te lossen, kan overgegaan worden van het tijdsdomein naar het frequentiedomein. Hierdoor worden niet de vracht en de afvoer op dezelfde dag met elkaar vergeleken, maar de hoogste vracht van Hagestein wordt vergeleken met de hoogste afvoer van Lobith, de op 1 na hoogste met de op 1 na

hoogste enz. Er wordt dus eigenlijk een relatie opgesteld tussen de frequentieverdelingen.

De gevonden relatie die berekend is uit de onderschrijdingsfrequenties van beide stations, is tevens in deze figuur ingetekend (rode gesloten bolletjes).

De gevonden relatie is:

$$[1] \quad vracht_{Hagestein} = -325.9 + 0.0000465 * Q_{Lobith}^{2.169}$$

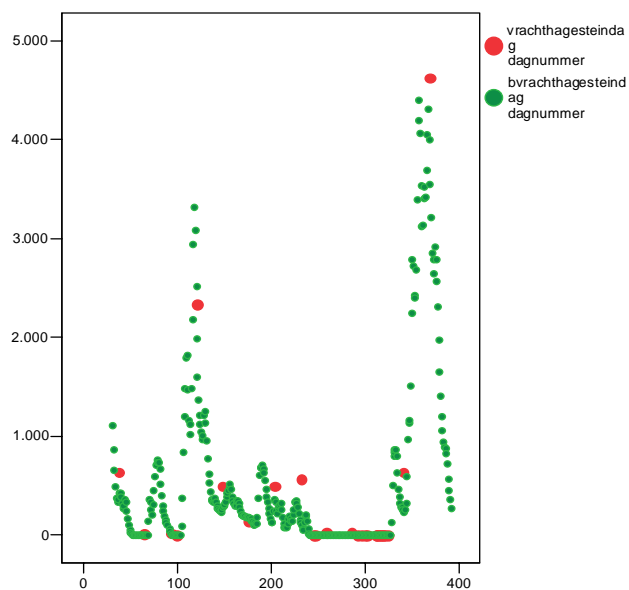
Hierin is :

$vracht_{Hagestein}$ = dagelijkse zwevend stof vracht te Hagestein [ton/dag]
 Q_{Lobith} = afvoer bij Lobith [m³/s]

Met deze relatie zijn voor de periode 1960 – 2000 dagelijks de vrachten voor Hagestein berekend. In onderstaande tabel zijn de 10 jarig gemiddelden voor de diverse perioden gegeven.

Periode	Gemiddelde jaarvracht [Mton]
1960 t/m 1969	0,34
1970 t/m 1979	0,25
1980 t/m 1989	0,44
1990 t/m 1999	0,31

Om te controleren of de gevonden relatie ook bruikbaar is om de dagelijkse vrachten te berekenen, is ter illustratie van het jaar 1992 de "gemeten" vrachten te Hagestein (rode stippen) vergeleken met de dagelijkse vrachten die met [1] berekend zijn (groene stippen). De resultaten zijn in de volgende figuur te zien.



Zoals in de figuur te zien is, is de berekende reeks een goede schatting voor de "gemeten" reeks. Besloten is dan ook om de berekende zwevend stofvracht te Hagestein te gebruiken bij de sedimentbalans als invoer in het gebied.

De jaargemiddelde slibvracht die bij deze sedimentbalans berekend is voor de periode 1990 - 2000 is 0,31 Megaton. Door Ten Brinke wordt als slibvracht bij Hagestein 0.39 Megaton per jaar gevonden. Dit verschil kan verklaard worden doordat Ten Brinke gebruik maakt van de gewogen concentratiemethode om de vrachten te berekenen en omdat de periode 1990 t/m 1999 geschat is (middels een correctiefactor) uit de periode 1980 t/m 1989.

B.3 Zwevend stofvracht Vuren

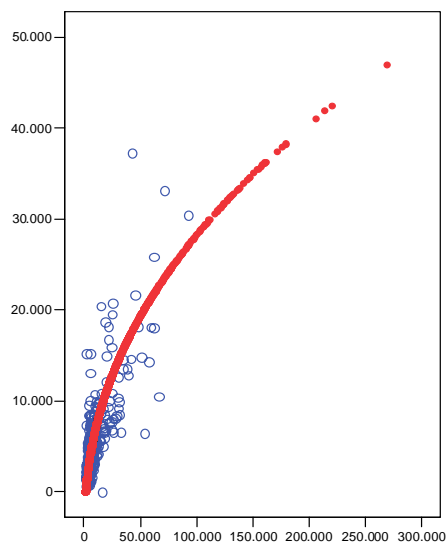
De rand van het gebied in de Waal (knooppunt A) ligt vlak bij Vuren. Bij Vuren wordt incidenteel het zwevend stofgehalte gemeten. In de tabel is te zien wanneer en hoe vaak er gemeten is.

Periode	meetfrequentie
1960 t/m 1981	1 x per week
1982 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

Omdat er bij Vuren geen debiet gemeten wordt, is het debiet van Tiel gebruikt. Dit debiet is dagelijks beschikbaar in de jaren 1978 t/m 2000.

Voor de jaren 1978 t/m 1992 is, op de dagen dat er zowel een debiet als een zwevend stofgehalte aanwezig was, een zwevend stofvracht berekend.

In onderstaande figuur zijn (als blauwe open rondjes) de op deze manier "gemeten" vrachten van Vuren uitgezet tegen de vrachten van Lobith



Omdat de looptijd tussen Lobith en Vuren kan variëren, is ook hier overgegaan van het tijdsdomein naar het frequentiedomein. Voor de jaren 1978 t/m 1992 is een relatie opgesteld tussen de onderschrijdingsfrequenties van de vrachten te Lobith en Vuren. Deze relatie is ingetekend in de figuur als rode stippen. Duidelijk is te zien dat de relatie tussen de frequentieverdelingen ook gebruikt kan worden als relatie tussen de werkelijke waarden (blauwe cirkels).

De gevonden relatie is:

$$[2] \quad \underset{\text{vuren}}{\text{vracht}} = -4527 + 172.3 * \underset{\text{lobith}}{\text{vracht}}^{0.456}$$

Hierin is:

$vracht_{vuren}$ = vracht bij Vuren in ton/dag
 $vracht_{lobith}$ = vracht bij Lobith in ton/dag

Met de gevonden relatie zijn voor alle jaren dat er bij Lobith vrachten bekend zijn, vrachten voor Vuren berekend. In onderstaande tabel zijn de berekende vrachten per periode vermeld.

periode	Gemiddelde jaarvracht [Mton]
1960 t/m 1969	2,41
1970 t/m 1979	1,94
1980 t/m 1989	2,06
1990 t/m 1999	1,44

De jaargemiddelde slibvracht die bij deze sedimentbalans berekend is voor de periode 1990 - 2000 is **1.44** megaton. Vergelijking met de slibvracht volgens Ten Brinke (1.66 megaton) laat zien dat er nu een kleinere hoeveelheid berekend wordt.

Dit verschil kan verklaard worden door het feit dat Ten Brinke gebruik maakt van de gewogen concentratiemethode om de vrachten te berekenen en omdat de periode 1990 t/m 1999 geschat is (middels een correctiefactor) uit de periode 1980 t/m 1989

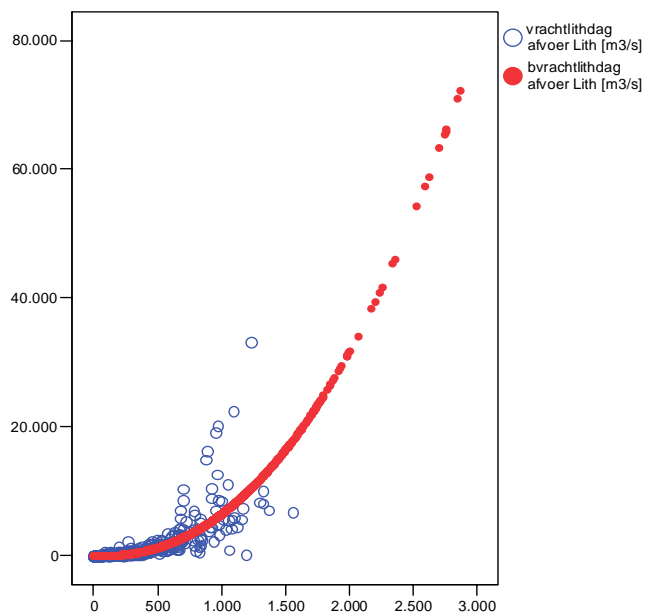
B.4 Zwevend stof vracht Lith

De rand van het gebied in de Bergsche Maas (Knoop I) ligt bij kilometerraai 226.43. Omdat daar geen meetpunten in de buurt liggen is de zwevend stofvracht van Lith gebruikt. Echter van Lith zijn er geen zwevend stofgehalten, en dus ook geen vrachten meer gemeten na 1992. Ook zijn er geen dagelijkse zwevend stof metingen aanwezig. In onderstaande tabel staat een overzicht van beschikbaarheid en meetfrequentie.

periode	meetfrequentie
1965 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

Omdat de balans betrekking heeft op de periode 1990 – 2000, zal de reeks aangevuld en uitgebreid moeten worden.

Dit is gedaan door middel van relaties tussen afvoeren en zwevend stofvrachten. In onderstaande figuur zijn de zwevend stofvrachten te Lith [ton/dag] van de jaren 1965 t/m 1992 uitgezet tegen de afvoer te Lith (open blauwe rondjes).



Door de onderschrijdingsfrequenties van de zwevend stof vrachten en de afvoer te Lith is de volgende relatie opgesteld:

$$[3] \quad vracht_{Lith} = -42.93 + 0.000773 * Q_{Lith}^{2.309}$$

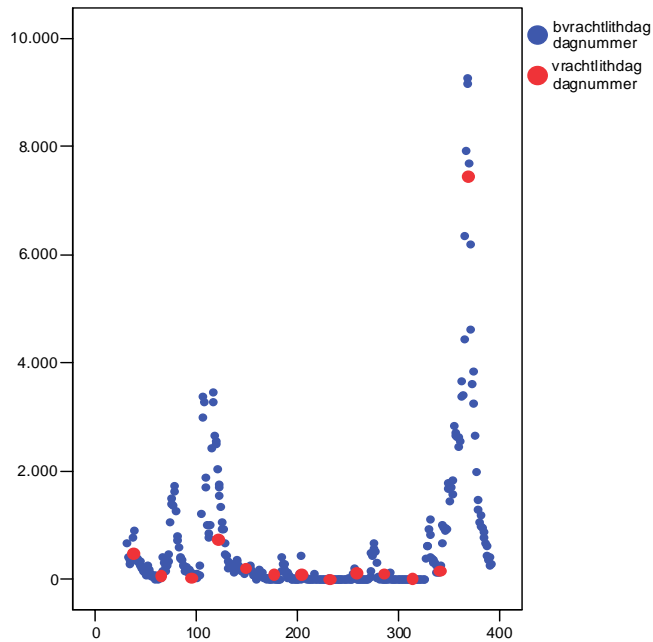
Hierin is :

$vracht_{Lith}$ = vracht bij Lith in ton/dag

Q_{Lith} = afvoer bij Lith in m³/s

Met deze relatie is de dagelijkse zwevend stofvracht van Lith berekend voor de periode 1960 – 2000.

Om te controleren of de gevonden relatie ook bruikbaar is om de dagelijkse vrachten te berekenen, zijn ter illustratie van het jaar 1992 de "gemeten" vrachten te Lith vergeleken met de dagelijks met [3] berekende vrachten.



In bovenstaande figuur staan op de horizontale as de dagnummers en op verticale as de gemeten vrachten (rode bolletjes) en de berekende vrachten (blauwe bolletjes) Zoals in de figuur te zien is, is de berekende reeks een goede schatting voor de "gemeten" reeks.

Gezien de resultaten van de berekende concentraties is besloten deze reeksen te gebruiken voor de sedimentbalans. Aangenomen is derhalve dat de gegevens 1965 t/m 1992 ook voldoende representatief zijn voor de periode 1990–2000. Uit de reeksen met de zwevend stof vrachten zijn de 10 jarig gemiddelden bij Lith berekend. De resultaten staan in onderstaande tabel.

Periode	gemiddelde jaarvracht [Mton]
1960 - 1970	0,47
1970 - 1980	0,26
1980 - 1990	0,50
1990 - 2000	0,42

Omdat ten Brinke geen studie heeft verricht naar het sedimenttransport van de Maas is een vergelijking van de aldus geschatte gemiddelde jaarvracht van 0,42 Mton niet mogelijk.

B.5 Zwevend stofgehalte Hagestein

Omdat niet alleen de vracht maar ook de concentratie bij Hagestein nodig is, is ook de relatie tussen het zwevend stofgehalte te Hagestein gerelateerd aan de afvoer van Lobith. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven wanneer en hoe vaak het zwevend stofgehalte bij Hagestein gemeten is.

periode	meetfrequentie
1966 t/m 1981	1 x per week
1982 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

De gevonden relatie is:

$$[4] \quad ZWST_{Hagestein} = -5.14 + 0.0000702 * Q_{Lobith}^{1.645}$$

Hierin is :

$ZWST_{Hagestein}$ = dagelijkse zwevend stofgehalte te Hagestein [mg/l]

Q_{Lobith} = afvoer bij Lobith in m³/s

Gezien de resultaten van de berekende concentraties is besloten deze reeksen te gebruiken voor de sedimentbalans. Uit de reeksen met het zwevend stofgehalte en zwevend stof vrachten zijn de 10 jarig gemiddelden bij Hagestein berekend. De resultaten staan in onderstaande tabel.

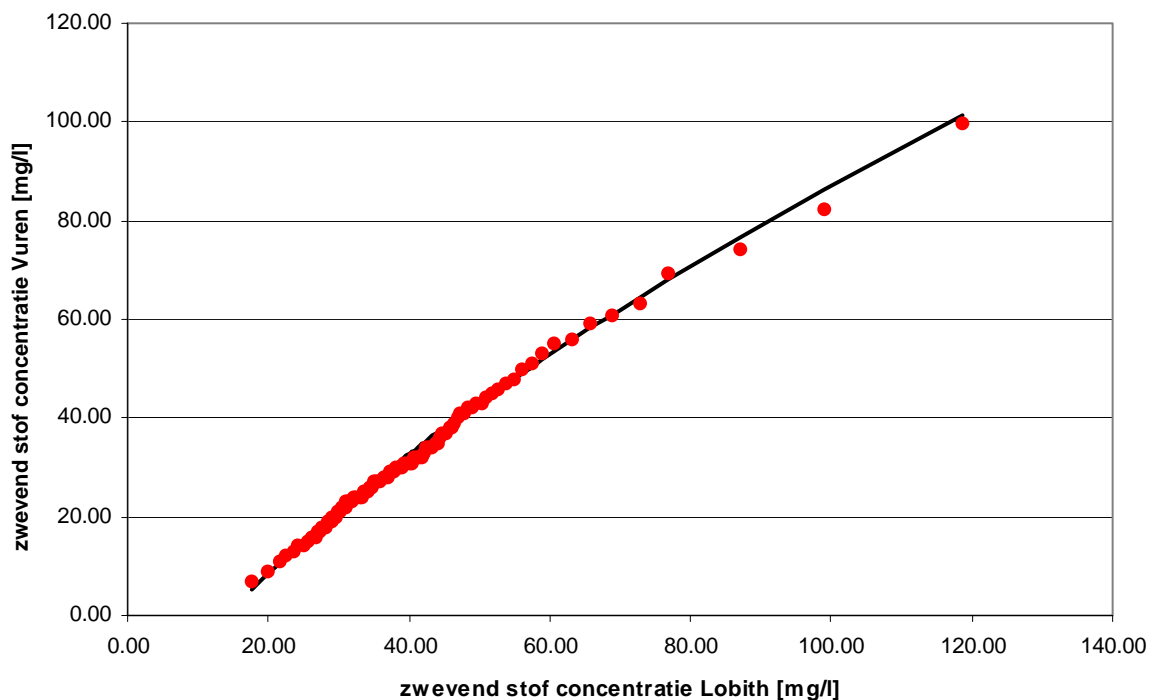
periode	Gemiddelde berekende zwevend stof concentratie [mg/l]
1960 - 1970	22.38
1970 - 1980	17.38
1980 - 1990	26.58
1990 - 2000	19.77

B.6 Zwevend stofgehalte Vuren

Omdat niet alleen de vracht maar ook de concentratie bij Vuren nodig is, is ook de relatie tussen het zwevend stofgehalte te Vuren gerelateerd aan de afvoer van Lobith. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven wanneer en hoe vaak het zwevend stofgehalte bij Vuren gemeten is.

<i>periode</i>	<i>meetfrequentie</i>
1960 t/m 1981	1 x per week
1982 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

Gezien de jaren en frequentie van waarnemen is het niet verstandig het 10 jarig gemiddelde zwevend stofgehalte te gebruiken als schatter voor het verloop van de concentratie in de tijd. Beter is het dan ook om een relatie op te stellen tussen de frequentieverdelingen van de zwevend stofgehalten van Lobith en van Vuren, waarmee vervolgens ontbrekende meetgegevens geschat kunnen worden. Bij het opstellen van de relatie zijn voor de periode 1960 t/m 1992 (= periode waar Vuren waarnemingen heeft) de onderschrijdingsfrequenties (percentielen) van de zwevend stofgehalten van Lobith en Vuren bepaald. In onderstaande figuur zijn de percentielen van de zwevend stofgehalten tegen elkaar uitgezet.



In deze figuur is te zien dat er een duidelijke relatie tussen de frequentieverdelingen bestaat. De gevonden relatie is:

$$[5] \quad Zwst(vuren) = -34 + 6.07 * zwst(lobith)^{0.65}$$

Door aan te nemen dat de relatie opgesteld voor de jaren 1960 –1992 ook geldig is voor de periode 1960 –2000, kan met formule [5] een reeks met dagelijkse zwevend stofgehalten te Vuren berekend worden voor de periode 1960-2000. Omdat de relatie er een is voor de frequentieverdeling, kan de momentane (op de dag zelf) zwevend stofgehalte afwijken van de gemeten concentratie. De frequentieverdeling van de dagelijkse berekende zwevend stofgehalten in een bepaald jaar (of aantal jaren) zal echter wel juist zijn. Van deze reeks kunnen gemiddelden voor perioden van 10 jaar berekend worden. Omdat de frequentieverdeling juist is, zal ook het gemiddelde juist zijn. De berekende 10 jarige gemiddelden staan in onderstaande tabel. Behalve de uit de relatie berekende gemiddelden staan ook de gemiddelden van de gemeten concentratie in de tabel.

Periode	Gemiddelde zwevend stofgehalte Vuren (gemeten)	Gemiddelde zwevend stofgehalte Vuren (berekend met [5])
1960 - 1970	35.37	41.56
1970 - 1980	30.45	34.87
1980 - 1990	34.34	27.36
1990 - 2000	36.64*	18.72

* gebaseerd op gegevens van 1991 en 1992

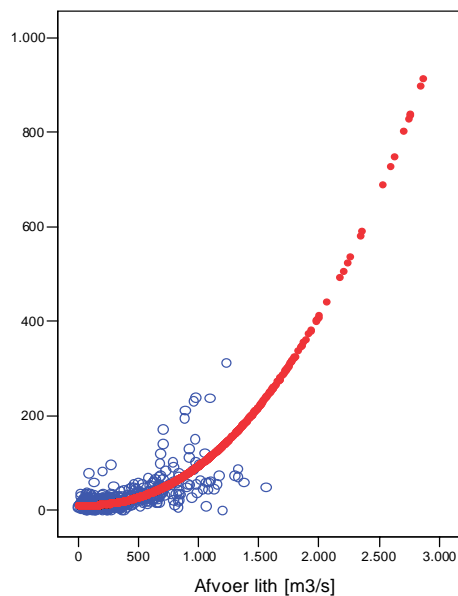
Zoals in de tabel te zien is, is de gemiddelde concentratie bij Vuren in de periode 1990-2000: 18.72 mg/ltr. Ook is te zien dat er grote verschillen kunnen bestaan tussen de gemiddelden van de gemeten en de berekende concentraties. Dit verschil ontstaat doordat bij de gemeten concentraties in een bepaalde periode hele jaren, maar ook vele dagen binnen een jaar, ontbreken.

B.7 Zwevend stofgehalte Lith

Omdat er bij Lith geen dagelijkse zwevend stofgehalten aanwezig zijn en omdat er na 1992 helemaal niet meer gemeten is, moet de reeks aangevuld en uitgebreid worden. In onderstaande tabel is een overzicht van de beschikbaarheid en meetfrequentie van het zwevend stofgehalte te zien.

periode	meetfrequentie
1965 t/m 1987	1 x per 14 dagen
1988 t/m 1992	1 x per maand

De aanvulling en uitbreiding van het zwevend stofgehalte te Lith is gedaan middels de relatie tussen afvoer en zwevend stofgehalte. In onderstaande figuur zijn de zwevend stofgehalten van Lith (uit de periode 1960 – 1992) uitgezet tegen de afvoeren van Lith (open blauwe rondjes).



Door de onderschrijdingsfrequenties van de zwevend stofgehalten en de afvoer te Lith is de volgende relatie opgesteld:

$$[6] \quad Zwst(Lith) = 10.57 + 0.000015456 * Q_{lith}^{2.247} \quad [mg/l]$$

Hierin is:

$Zwst(Lith)$ = zwevend stofgehalte te Lith [mg/l].

Q_{lith} = afvoer te Lith [m³/s]

In de figuur is deze relatie te zien als rode stippen.

Met deze relatie is het zwevend stofgehalte reeks van Lith aangevuld en uitgebreid tot 2000. Uit de reeks met het zwevend stofgehalte zijn de 10 jarig gemiddelden bij Lith berekend.

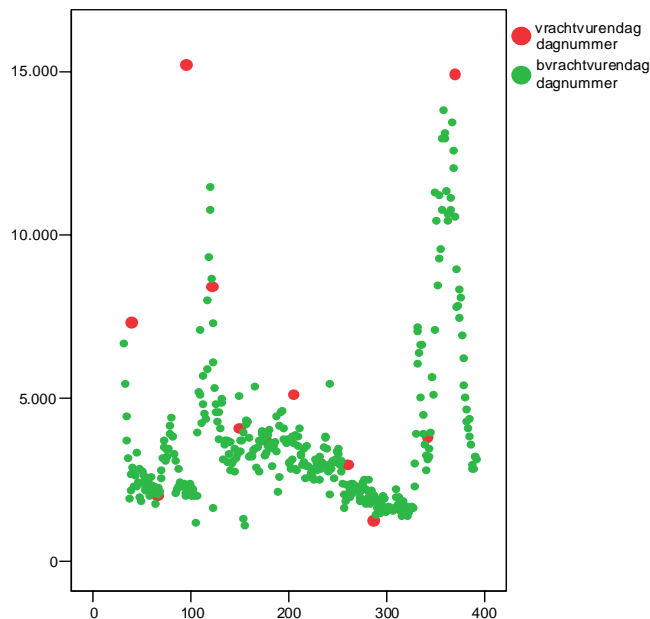
De resultaten staan in onderstaande tabel.

periode	Gemiddelde berekende zwevend stof concentratie [mg/l]
1960 - 1970	27.97
1970 - 1980	20.63
1980 - 1990	29.12
1990 - 2000	26.05

B.8 Discussie vrachtberekening

De jaargemiddelde slibvracht bij Vuren die bij deze sedimentbalans berekend is voor de periode 1990 - 2000 is 1.44 megaton. Vergelijking met de slibvracht volgens Ten Brinke (1.66 megaton) laat zien dat er nu een kleinere hoeveelheid berekend wordt. Dit wordt veroorzaakt door de manier van berekenen. Door Ten Brinke is gebruik gemaakt van de gewogen concentratiemethode en een correctie factor. De correctiefactor is bepaald uit de verhouding van de gemiddelde vrachten bij Lobith in de perioden 1980 t/m 1989 en 1990 t/m 2000.

Om te onderzoeken waardoor nu precies de verschillen ontstaan is het jaar 1992 bekeken. In onderstaande figuur zijn de gemeten en de berekende vrachten van Vuren uitgezet tegen het dagnummer. In de figuur is te zien dat er 4 hele hoge vrachten (> 6500 ton/dag) voorkomen. In deze figuur is verder te zien dat de berekende vrachten de gemeten vrachten goed benaderen.

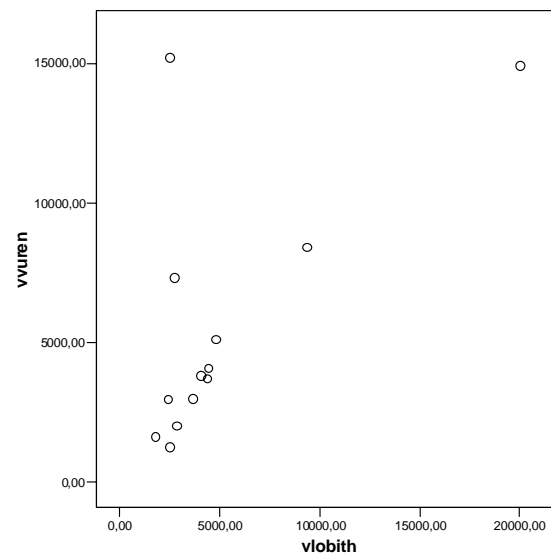
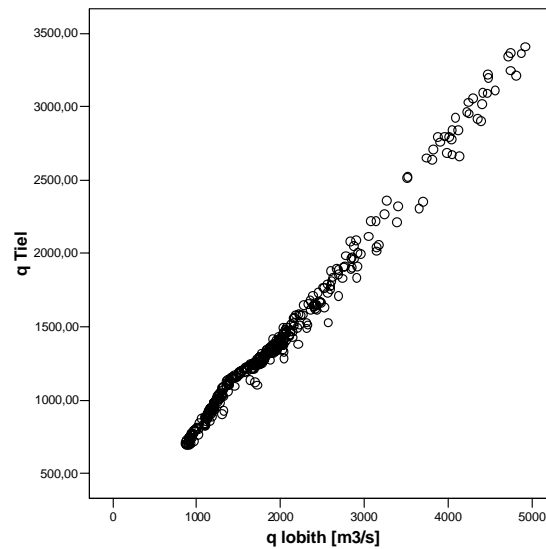


Als er nu uitgegaan wordt van alle berekende vrachten (groene stippen) dan is de totale jaarvracht 1.35 Megaton.

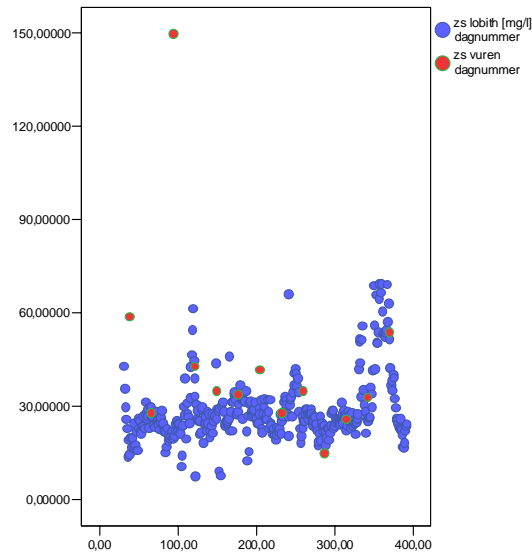
Als alleen de berekende vrachten gebruikt worden op de dag dat er metingen geweest zijn, dan zal de totale vracht, berekend met de gewogen concentratie methode, 1.25 megaton zijn. Het verschil (een onderschatting) is kleiner dan 10%. De gewogen concentratiemethode kan dus gebruikt worden als schatter voor de totale vracht.

Als er echter gebruik gemaakt wordt van de "gemeten" vrachten (rode stippen) dan zal de totale jaarvracht met de gewogen concentratie

methode 2.14 megaton zijn. Deze hoeveelheid is ineens veel groter. Het verschil wordt veroorzaakt de vracht op dagnummer 94. Rond die dag is de berekende vracht laag, terwijl de gemeten vracht heel hoog is. Om te onderzoeken of de gemeten vracht onjuist is, zijn de eerst de gemeten vrachten van Vuren uitgezet tegen de gemeten vrachten van Lobith. Ook zijn de debieten van Vuren uitgezet tegen de debieten van Lobith. Deze spreidingsdiagrammen zijn hieronder te zien.



Uit de figuren kan afgeleid worden dat de debieten waarschijnlijk juist zijn en dat de vracht (bij Vuren op dag 94) waarschijnlijk onjuist is. De vracht kan alleen fout zijn als het zwevend stofgehalte van Vuren onjuist is. Om dit te controleren zijn in de volgende figuur ook de gemeten zwevend stofgehalten [mg/l] van Lobith en Vuren uitgezet als functie van tijd (dagnummer).



In deze figuur is te zien dat het zwevend stofgehalte bij Vuren veel hoger is dan die bij Lobith. Dit is hoogst merkwaardig. De kans is dus groot dat de gemeten concentratie onjuist is. Door deze ene waarneming wordt de jaarvracht van Vuren veel te hoog (bijna 60%) ingeschat.

De conclusie die hier uit getrokken kan worden is dat de berekende zwevend stof vracht bij Vuren de beste schatter is voor de dagelijkse vracht. Ook kan geconcludeerd worden dat de gewogen concentratiemethode alleen werkt als er voldoende waarnemingen zijn.

Bijlage C Verloop zwevend stofgehalte in de Rijn-Maasmonding

Omdat er op de meeste riviertakken geen dagelijkse afvoeren beschikbaar zijn, kan er dus ook geen dagelijkse vrachten op de meetpunten, waar zwevend stof gemeten wordt, berekend worden. Omdat het bij de balans vooral gaat om hoeveel materiaal er achterblijft (sedimentatie) of bijkomt (erosie) is het eigenlijk niet zo belangrijk om voor ieder meetpunt in het benedenrivierengebied exact de vracht te weten. Veel belangrijker is het om de factor te weten waarmee het zwevend stofgehalte op een bepaalde riviertak toe- of afneemt. Als dat bekend is, kan de aangevoerde vracht (die op de randen wel goed bepaald is) over de riviertakken verdeeld worden. Hierbij wordt aangenomen dat de vracht met dezelfde factor toe- of afneemt als het zwevend stofgehalte (de debieten over een riviertak blijven gelijk!!).

Om de verdeling van de zwevend stof vracht over de rivieren te kunnen maken is het dus nodig om de volgende getallen te weten:

1. een zo goed mogelijke schatting van de zwevend stofvrachten aan de randen
2. zwevend stofgehalten op het begin en einde van een riviertak

De zwevend stofvrachten en concentraties aan de randen zijn berekend uit de afvoeren, vrachten en concentraties van Lobith, Lith en Hagestein zoals reeds eerder beschreven is.

De zwevend stofgehalten op het begin en het einde van de riviertakken zullen afgeleid worden uit het verloop van de gemiddelde zwevend stofgehalten als functie van plaats (kilometerraai). Om dit verloop te kunnen berekenen zijn de gemiddelde zwevend stofgehalten nodig van diverse meetpunten langs de rivieren.

C.1 Traject Waal - Boven Merwede - Nieuwe Merwede - Hollandsch Diep - Haringvliet

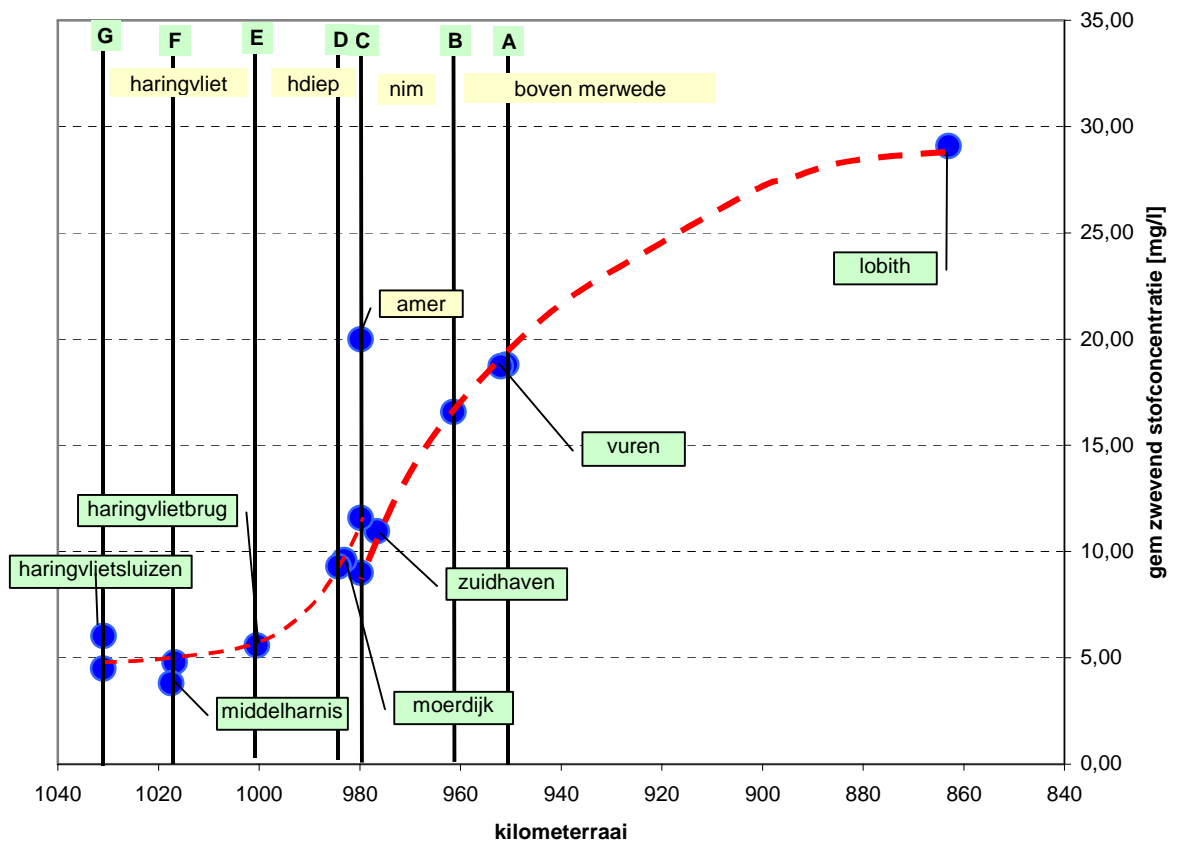
De zwevend stofgehalten op de meetlocaties langs deze rivieren zijn berekend met behulp van relaties tussen de onderschrijdingsfrequenties van meetpunten met Lobith.

In onderstaande tabel staan achter de verschillend meetstations, de jaren waarin gemeten is en de vergelijking die de relatie van het zwevend stofgehalte beschrijft. In de tabel is Zwst het berekend zwevend stofgehalte voor dat station [mg/l] en zwstlob = zwevend stofgehalte van Lobith [mg/l].

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Ochten	1965 t/m 1981	$Zwst = -115.6 + 27.153 * zwstlob^{0.47}$
Vuren	1960 t/m 1992	$Zwst = -34 + 6.07 * zwstlob^{0.65}$
Hardinxveld	1975 t/m 1992	$Zwst = -589 + 492.9 * zwstlob^{0.066}$
Zuidhaven	1971 t/m 1988	$Zwst = -47 + 6.72 * zwstlob^{0.64}$
Moerdijk	1961 t/m 1987	$Zwst = -17.7 + 0.47 * zwstlob^{1.18}$
Klundert	1971 t/m 1985	$Zwst = -123 + 72.8 * zwstlob^{0.17}$
Bovensluis	1986 t/m 2000	$Zwst = -11.5 + 3.97 * zwstlob^{0.58}$
Haringvlietbrug	1971 t/m 1992	$Zwst = -22.9 + 3.95 * zwstlob^{0.59}$
Middelharnis	1971 t/m 1987	$Zwst = -60.9 + 22.55 * zwstlob^{0.31}$
Scheelhoek	1986 t/m 1999	$Zwst = -11.6 + 0.998 * zwstlob^{0.935}$
Hellevoetsluis	1971 t/m 2000	$Zwst = -4.61 + 0.054 * zwstlob^{1.43}$
Haringvlietbrug	1971 t/m 1981	$Zwst = -9.1 + 0.766 * zwstlob^{0.887}$

In de tabel is te zien dat er voor maar heel weinig stations gegevens uit de periode 1990 – 2000 beschikbaar zijn. Aangenomen dat de relatie tussen de frequentieverdelingen voor een korte periode ook geldig is voor de gehele periode, zijn voor alle stations de dagelijkse zwevend stofgehalten in de periode 1960 – 2000 berekend. Vervolgens zijn van deze reeksen per periode van 10 jaar de gemiddelde concentraties berekend.

De gemiddelden voor de periode 1990 t/m 1999 zijn in de volgende figuur uitgezet als functie van plaats (kilometerraai). In deze figuur zijn tevens de locaties van de knooppunten te zien. In deze figuur ontbreken de stations Ochten, Klundert, Bovensluis, Scheelhoek en Hellevoetsluis. De reden is dat deze meetpunten te ver van de knooppunten af liggen. De informatie zal het verloop van het gemiddelde zwevend stofgehalte over de rivier alleen maar vertroebelen, omdat tussenliggende stations alleen iets zeggen over lokale erosie/sedimentatie.



Uit het verloop van het zwevend stofgehalte in de figuur zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen. In de figuur is te zien dat er een "sprong" in het verloop te zien is bij knooppunt C. Deze wordt veroorzaakt door het samenkomen van de Nieuwe Merwede en de Amer. In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990-2000 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn. De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

Station	Kmr.	1990- 2000
lobith	863	29.09
knoop A	950.89	18.80
vuren	952	18.52
knoop B	961.41	16.58
zuidhaven	976.6	10.96
knoop C (nieuwe merwede)	979.86	9.00
knoop C (hollandsch diep)	979.86	11.59
knoop C (amer)	979.86	20.00
moerdijk	983.1	9.60
knoop D	984.2	9.30
haringvlietbrug (knoop E)	1000.44	5.59
knoop F	1016.8	4.80
middelharnis	1017.5	3.81
haringvlietsluizen	1030.9	6.03
knoop G	1031	4.50

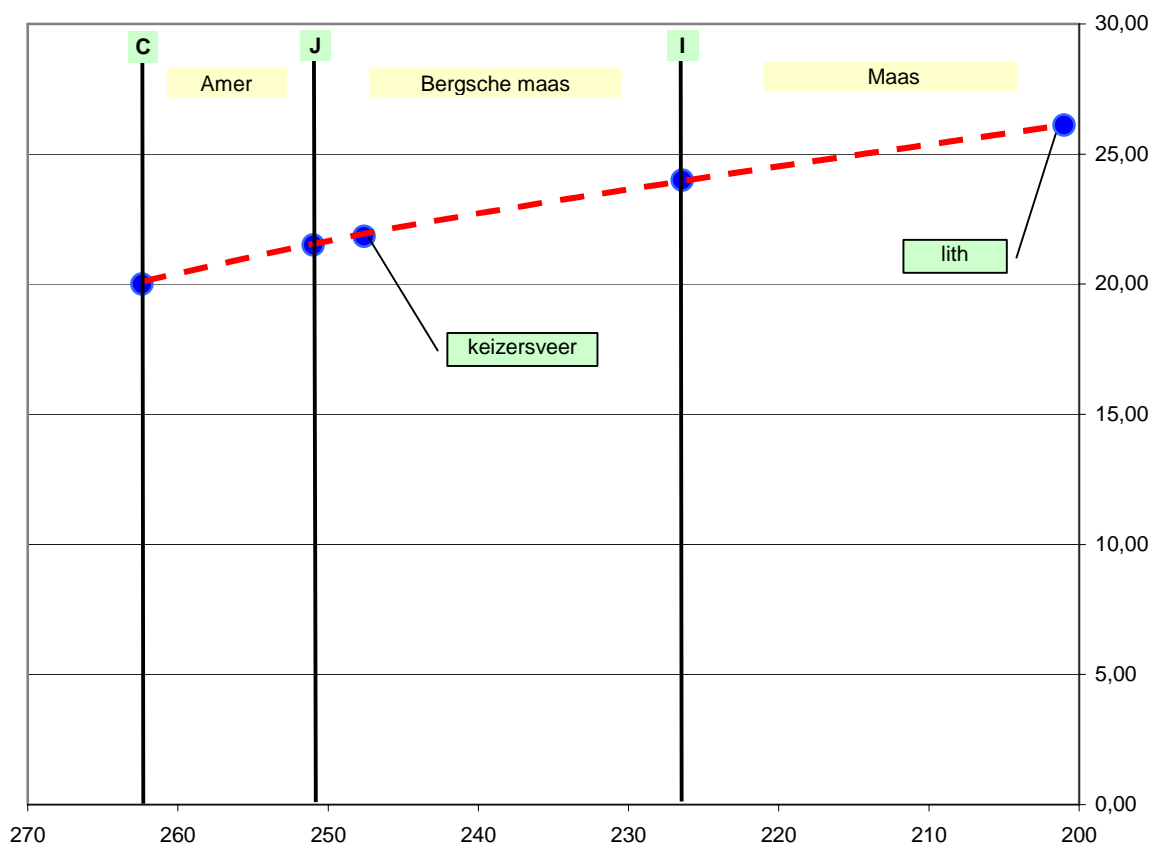
C.2 Traject Maas - Bergsche Maas - Amer - Hollandsch Diep

De zwevend stofgehalten op de meetlocaties langs deze rivieren zijn berekend met behulp van relaties tussen de onderschrijdingsfrequenties van meetpunten met Lobith en Lith. Het enige meetpunt dat beschikbaar was, was Keizersveer. In de tabel staat de berekende relatie tussen Lith en Keizersveer.

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Keizersveer	1963 t/m 1999	$Zwst = -6.65 + 3.651 * zwstlith^{0.671}$



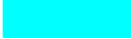
Met de vergelijking uit de tabel zijn voor de jaren 1970 – 2000, dagelijks de zwevend stofgehalten van Keizersveer berekend. Van deze reeksen zijn de 10 jarige gemiddelden bepaald.

In onderstaande figuur zijn de 10 jarig gemiddelde zwevend stofgehalten voor de periode 1990 t/m 1999 van Lith, Keizersveer en andere stations als functie van afstand (kilometerraai) uitgezet. Door de gemiddelden zijn lijnen geschetst die het verloop (mogelijk verband) laten zien. Uit dit verloop zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen. De sprong


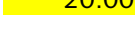


bij knooppunt C wordt veroorzaakt doordat er op dit punt water van de Nieuwe Merwede met een lagere zwevend stofgehalte bijkomt.

In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990 t/m 1999 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

Station	Kmr.	1990- 2000
lith	201	 26.11
Knoop I	226.43	 24.00
keizersveer	247.6	 21.83
Knoop J	251	 21.50
Knoop C (amer)	262.4	 20.00

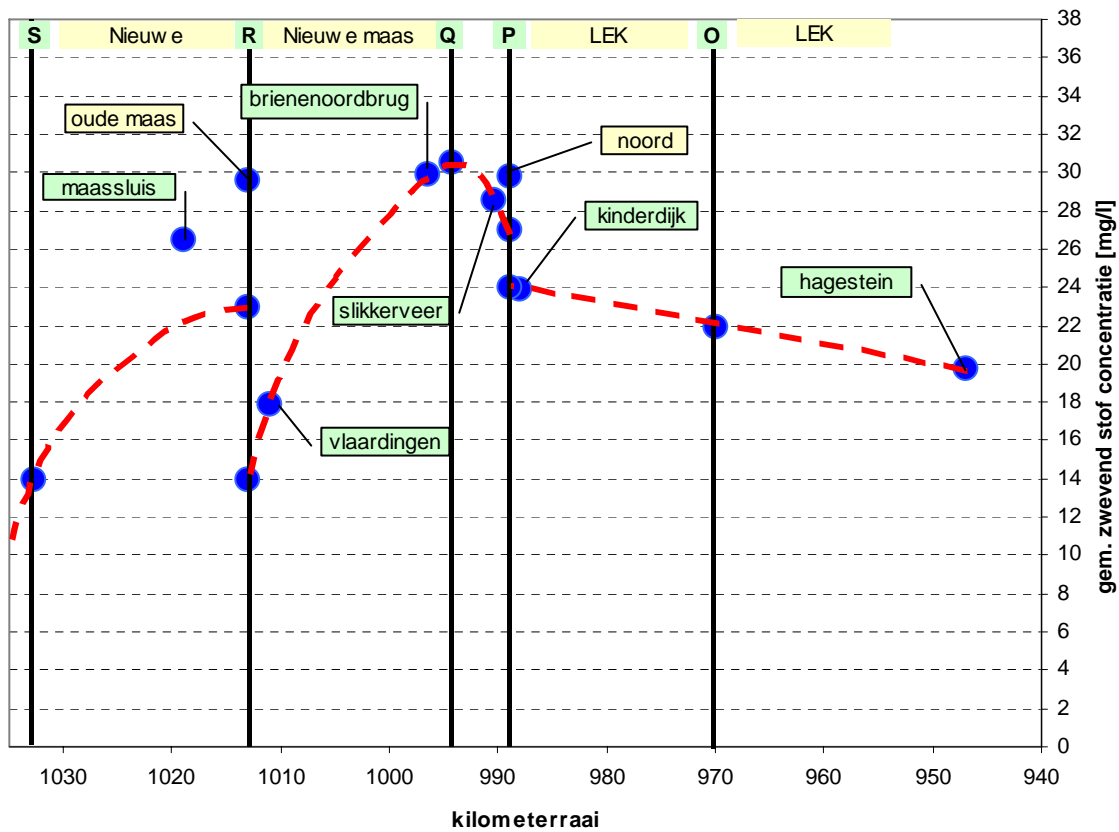
C.3 Traject Lek - Nieuwe Maas - Nieuwe Waterweg

De meetstations op dit traject zijn: Hagestein, Kinderdijk (Lek), Slikkerveer, Brienoordbrug, Vlaardingen en Maassluis.

De zwevend stofgehalten op de meetlocaties langs de rivieren zijn berekend met behulp van relaties tussen de onderschrijdingsfrequenties van meetpunten met Hagestein. In de tabel staan de stations in dit traject, de beschikbare jaren en de berekende relaties met Hagestein.

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Kinderdijk (Lek)	1960 t/m 1984	$Zwst = 7.48 + 1.24 * ZWST_{\text{hagestein}}^{0.886}$
Slikkerveer	1982 t/m 1984	$Zwst = 12.98 + 2.37 * ZWST_{\text{hagestein}}^{0.676}$
Van Brienoordbrug	1974 t/m 2000	$Zwst = 11.83 + 2.58 * ZWST_{\text{hagestein}}^{0.695}$
Vlaardingen	1974 t/m 1981	$Zwst = 4.18 * ZWST_{\text{hagestein}}^{0.539}$
Maassluis	1966 t/m 2000	$Zwst = 4.87 + 1.093 * ZWST_{\text{hagestein}}$

Met de vergelijkingen uit de tabel zijn voor de jaren 1970 – 2000, dagelijks de zwevend stofgehalten van de stations berekend. Van deze reeksen zijn de 10 jarige gemiddelden bepaald. In onderstaande figuur zijn de 10 jarig gemiddelde zwevend stofgehalten voor de periode 1990 t/m 1999 van de stations als functie van afstand (kilometerraai) uitgezet. Door de gemiddelden zijn lijnen geschetst die het verloop (mogelijk verband) laten zien. Uit dit verloop zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen. De sprong bij de knooppunten P en R wordt veroorzaakt doordat er op deze punten water van de Noord en de Oude Maas bijkomt.



In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990 t/m 1999 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

locatie	kmr	1990- 2000
hagestein	947	19.77
knooppunt O	970	22.00
kinderdijk (lek)	988	23.91
knooppunt P (lek)	989	24.00
knooppunt P (Nieuwe Maas)	989	27.00
knooppunt P (noord)	989	29.84
Slikkerveer (3 jaar)	990.5	28.60
Knooppunt Q	994.3	30.50
Van Brienoordbrug	996.5	29.91
Vlaardingen	1011	17.96
Knooppunt R Nieuwe Maas	1013	14.00
Knooppunt R Nieuwe Waterweg	1013	23.00
Knooppunt R oude maas	1013	29.59
Maassluis	1019	26.47
Knooppunt S	1032.8	14.00

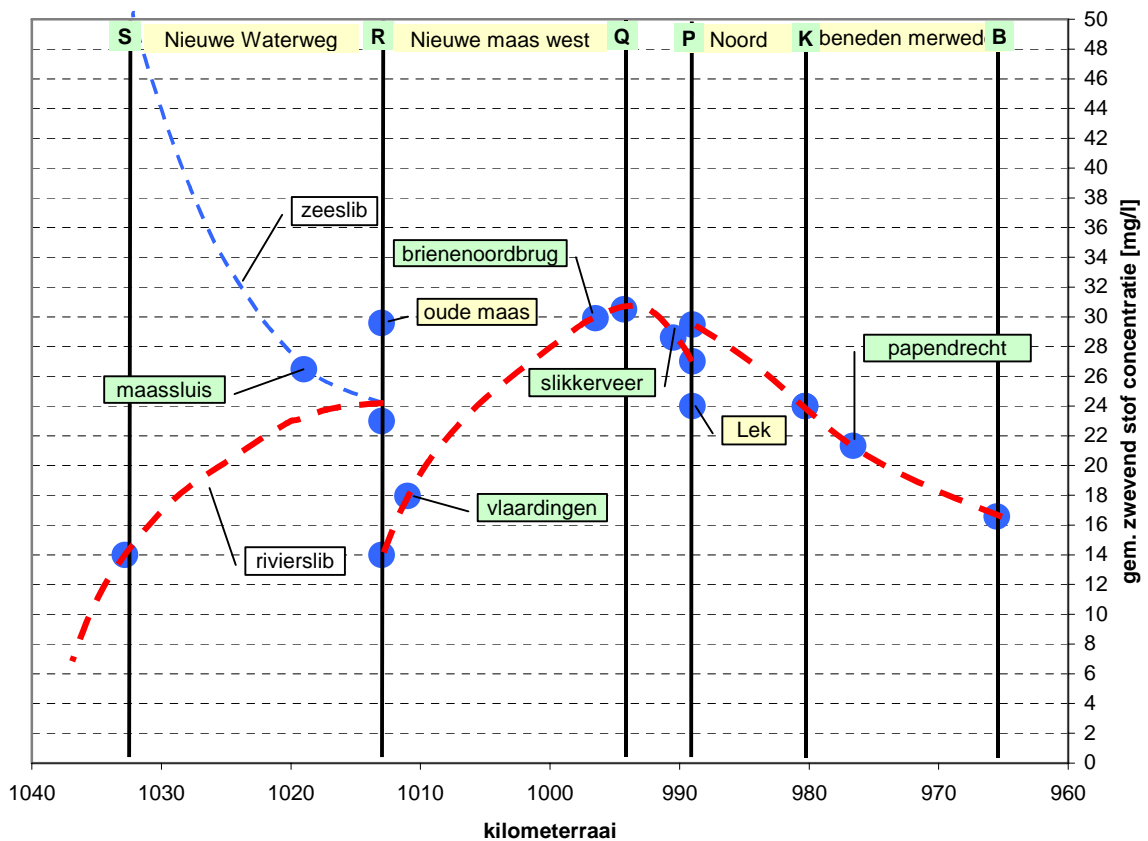
C.4 Traject Beneden Merwede - Noord - Nieuwe Maas - Nieuwe Waterweg

De meetstations op dit traject zijn: Papendrecht, Slikkerveer, Brienoordbrug, Vlaardingen en Maassluis.

De zwevend stofgehalten op de meetlocaties langs de rivieren zijn berekend met behulp van relaties tussen de onderschrijdingsfrequenties van meetpunten met Vuren of Hagestein. In de tabel staan de stations in dit traject, de beschikbare jaren en de berekende relaties met Hagestein.

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Papendrecht	1986 t/m 1987	$Zwst = -25 + 11.18 * ZWST_{vuren}^{0.505}$
Slikkerveer	1982 t/m 1984	$Zwst = 12.98 + 2.37 * ZWST_{hagestein}^{0.676}$
Van Brienoordbrug	1974 t/m 2000	$Zwst = 11.83 + 2.58 * ZWST_{hagestein}^{0.695}$
Vlaardingen	1974 t/m 1981	$Zwst = 4.18 * ZWST_{hagestein}^{0.539}$
Maassluis	1966 t/m 2000	$Zwst = 4.87 + 1.093 * ZWST_{hagestein}$

Met de vergelijkingen uit de tabel zijn voor de jaren 1970 – 2000, dagelijks de zwevend stofgehalten van de stations berekend. Van deze reeksen zijn de 10 jarige gemiddelden bepaald. In onderstaande figuur zijn de 10 jarig gemiddelde zwevend stofgehalten voor de periode 1990 t/m 1999 van de stations als functie van afstand (kilometerraai) uitgezet. Door de gemiddelden zijn lijnen geschetst die het verloop (mogelijk verband) laten zien. Uit dit verloop zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen.



In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990 t/m 1999 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

locatie	kmr	1990- 2000
knooppunt B beme	965.51	16.58
papendrecht	976.6	21.34
knooppunt K beme	980.3	24
knooppunt K noord	980.3	24
knooppunt P (Noord)	989	29.48
knooppunt P (Nieuwe Maas)	989	27.00
knooppunt P (lek)	989	24.00
slikkerveer	990.5	28.60
Knooppunt Q	994.3	30.50
Van Brienenoordbrug	996.5	29.91

Vlaardingen	1011	17.96
Knooppunt R Nieuwe Maas	1013	14.00
Knooppunt R Nieuwe Waterweg	1013	23.00
Knooppunt R Oude Maas	1013	29.59
Maassluis	1019	26.47
Knooppunt S	1032.8	14.00

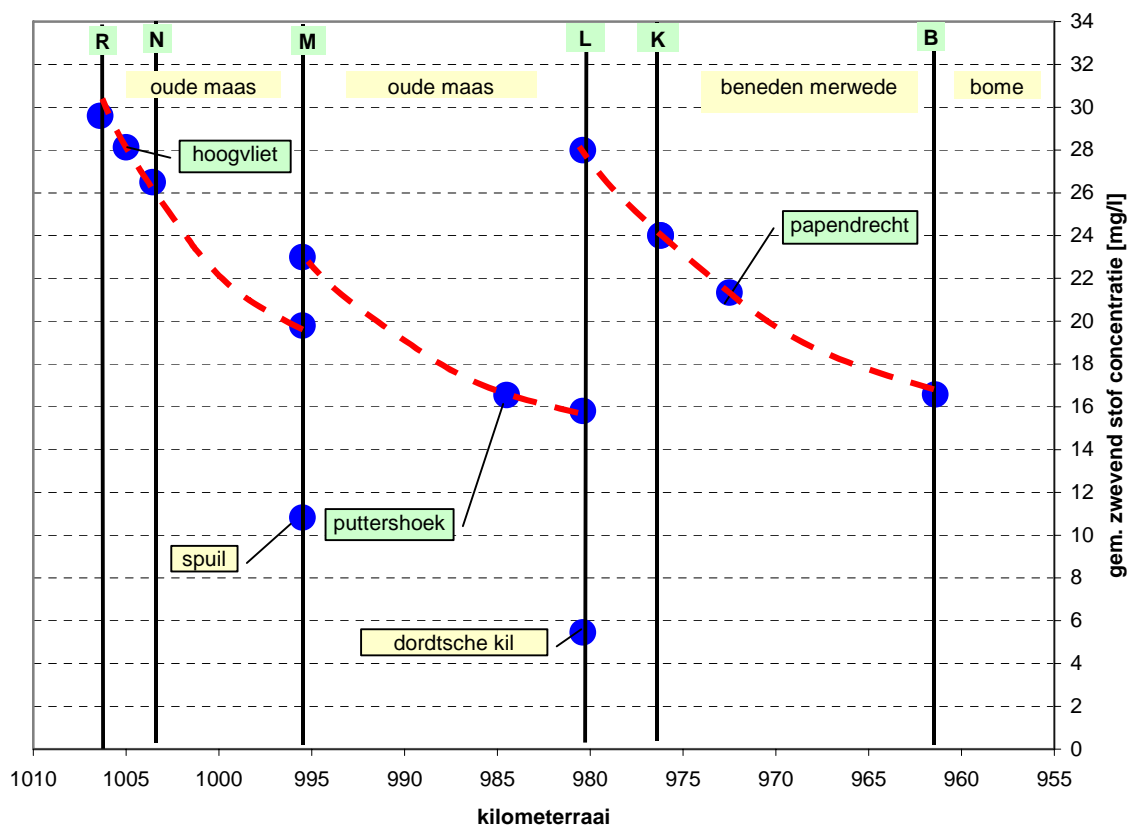
C.5 Traject Boven Merwede - Beneden Merwede - Oude Maas

De meetstations op dit traject zijn: Papendrecht, Puttershoek en Hoogvliet.

De zwevend stofgehalten op de meetlocaties langs de rivieren zijn berekend met behulp van relaties tussen de onderschrijdingsfrequenties van meetpunten met Vuren of Hagestein. In de tabel staan de stations in dit traject, de beschikbare jaren en de berekende relaties met Hagestein.

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Papendrecht	1986 t/m 1987	$Zwst = -25 + 11.18 * ZWST_{vuren}^{0.505}$
Puttershoek	1965 t/m 1999	$Zwst = 4.15 + 0.67 * ZWST_{vuren}$
Hoogvliet	1965 t/m 1981	$Zwst = 6.14 + 3.91 * ZWST_{hagestein}^{0.626}$

Met de vergelijkingen uit de tabel zijn voor de jaren 1970 – 2000, dagelijks de zwevend stofgehalten van de stations berekend. Van deze reeksen zijn de 10 jarige gemiddelden bepaald. In onderstaande figuur zijn de 10 jarig gemiddelde zwevend stofgehalten voor de periode 1990 t/m 1999 van de stations als functie van afstand (kilometerraai) uitgezet. Door de gemiddelden zijn lijnen geschetst die het verloop (mogelijk verband) laten zien. Uit dit verloop zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen.



In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990 t/m 1999 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

locatie	kmr	1990-2000
knooppunt B beme	961.41	16.58
papendrecht	972.5	21.34
knooppunt K beme	976.2	24
knooppunt K (oude maas oost)	976.2	24
knooppunt L (oude maas oost)	980.4	28
knooppunt L (oude maas midden)	980.4	15.8
knooppunt L (dordtsche kil)	980.4	5.45
puttershoek	984.5	16.55
knooppunt M (oude maas midden)	995.5	23
knooppunt M (oude maas west)	995.5	19.79

knooppunt M (spui)	995.5	10.83
knooppunt N	1003.57	26.5
hoogvliet	1005	28.13
knooppunt R (oude maas west 2)	1006.4	29.59

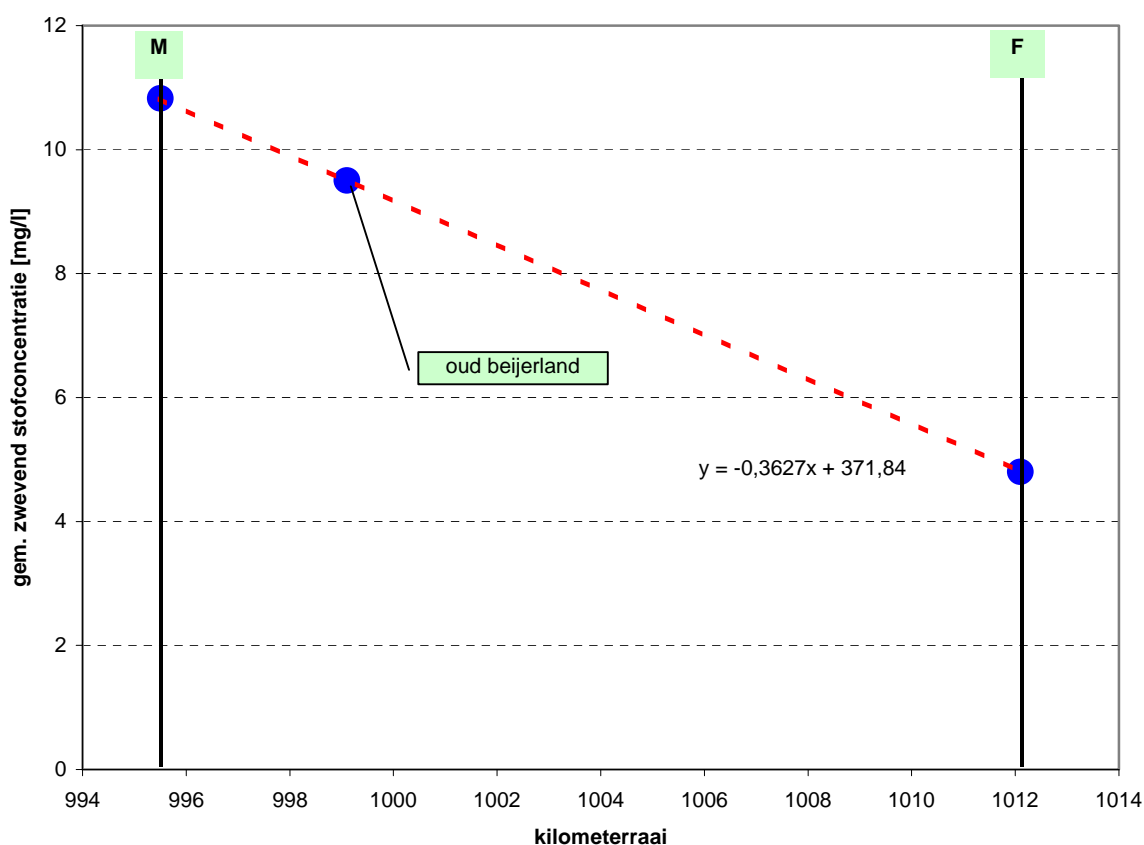
C.6 Traject Haringvliet - Spui - Oude Maas

Het enige meetstation op dit traject is: Oud Beijerland.


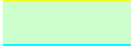

De zwevend stofgehalten op deze meetlocatie is berekend met behulp van de relatie tussen de onderschrijdingsfrequenties van het meetpunt met Hagestein. In de tabel staan de beschikbare jaren en de berekende relatie met Hagestein.

Station	Beschikbare jaren	Vergelijking
Oud Beijerland	1974 t/m 1981, 1986, 1987, 1991, 1992	$ZWST = 1.89 * ZWST_{\text{hagestein}}^{0.59}$

Met de vergelijkingen uit de tabel zijn voor de jaren 1970 – 2000, dagelijks de zwevend stofgehalten van het station berekend. Van deze reeksen zijn de 10 jarige gemiddelden bepaald. In onderstaande figuur is de gemiddelde zwevend stofgehalten van de periode 1990 t/m 1999 als functie van afstand (kilometerraai) uitgezet. Door de gemiddelden zijn lijnen geschetst die het verloop (mogelijk verband) laten zien. Uit dit verloop zijn de concentraties op de knooppunten afgelezen.



In de volgende tabel staan de gemiddelde concentraties voor de periode 1990 t/m 1999 en is tevens d.m.v. een kleur aangegeven hoe deze gemiddelden bepaald zijn.

	afgelezen uit figuur met verloop
	gemeten
	berekend

De waarde die berekend is, is gewogen met de reststroom.

Station	Kmr.	1990- 2000
knoop F spui	1012.1	 4.8
oud beijerland	999.1	 9.5
knoop M spui	995.5	 10.83

Bijlage D Gebaggerde hoeveelheden per riviertak

RIVIER	netto gebaggerde hoeveelheid [m3/jaar]											gemiddeld 1990-2000
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
AMER	86,000	81,000	0	0	11,466	69,900	32,360	81,394	60,700	23,700	44,851	
BERGSE MAAS	27,886	38,065	67,387	39,025	83,100	43,700	289,286	0	0	0	58,845	
BENEDEN MERWEDE	114,000	59,318	25,263	40,975	33,593	14,188	41,967	84,913	28,000	22,900	46,502	
BOVEN MERWEDE	313,610	301,267	297,903	258,738	287,660	336,733	137,430	178,644	201,588	291,390	260,496	
NIEUWE MERWEDE	173,412	68,849	8,912	0	11,866	75,245	83,363	59,547	80,400	129,745	69,133	
AFGEDAMDE MAAS / HEUSDENS KANAAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127,433	12,743	
NOORD	135,061	0	0	2,383	81,787	10,129	875	9,137	8,300	0	24,767	
HOLLANDSE IJSSEL	19,414	13,275	7,991	0	0	0	0	745,000	0	48,348	83,403	
LEK	107,000	88,200	80,416	59,778	93,500	260,800	136,450	81,750	76,600	131,011	111,451	
HOLLANDS DIEP Oost (vak 1 + 2)	0	168,505	56,247	121,700	1,024,898	390,995	0	247,380	0	0	200,973	
HOLLANDS DIEP West (vak 3 t/m 6)	0	421,321	0	0	0	0	0	0	0	312,000	73,332	
HARINGVLIET OOST (Vak 1 t/m 3)	0	0	0	0	0	0	0	0	-135,540	0	-13,554	
HARINGVLIET WEST (Vak 4 t/m 9)	13,380	46,194	-8,438	45,270	9,600	0	0	0	0	0	10,601	
OUDE MAAS OOST (vak 1)	0	39,337	223,154	0	0	0	0	0	0	0	26,249	
OUDE MAAS MIDDEN (vak 2 t/m 5)	82,588	0	5,560	46,679	0	15,835	30,500	8,800	0	26,455	21,642	
OUDE MAAS WEST 1 (vak 6 en 7)	27,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,700	
OUDE MAAS WEST 2 (vak 8)	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	16	
SPIJ	3,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	
DORDTSE KIL	23,368	0	0	40,679	514,475	0	0	0	0	1,387	57,991	
NIEUWE MAAS OOST (deel Vak 1)	0	0	0	7,000	110,346	0	913	0	0	0	11,826	
NIEUWE MAAS WEST (deel vak 1 + vak 2 t/m 4)	774,416	477,231	462,940	560,249	362,042	253,246	127,014	311,085	457,433	744,960	452,062	
NIEUWE WATERWEG (vak 1 t/m 5)	6,929,336	5,066,439	5,752,888	4,670,432	7,772,878	5,503,225	3,880,397	5,236,797	3,768,100	4,132,182	5,271,267	
TOTAAL	8,831,471	6,869,001	6,990,383	5,992,908	10,387,211	6,973,996	4,759,435	7,044,447	4,545,581	5,991,511	6,827,594	

Bijlage E Overzicht namen en afkortingen riviertakken

afkorting	Rivier	van kmr	tot kmr
afma	Afgedamde Maas	228,7	247,5
amer	Amer	249,9	262,4
bema	Bergsche Maas	226,4	249,9
beme	Beneden Merwede	961,4	976,1
bome	Boven Merwede	950,8	961,4
doki	Dortsche Kil	980,0	989,9
havl O	Haringvliet Oost	1000,3	1017,0
havl W	Haringvliet West	1017,0	1030,9
hodi O	Hollandsch Diep Oost	979,8	986,0
hodi W	Hollandsch Diep West	986,0	1000,3
hoij	Hollandsche IJssel	0,0	20,2
lek	Lek	969,6	989,3
nima O	Nieuwe Maas Oost	989,3	994,0
nima W	Nieuwe Maas West	994,0	1012,8
nime	Nieuwe Merwede	961,4	979,8
niwa	Nieuwe Waterweg	1012,8	1035,5
noord	Noord	976,2	985,0
ouma O	Oude Maas Oost	976,1	980,0
ouma M	Oude Maas Midden	980,0	995,0
ouma W1	Oude Maas West 1	995,0	1003,5
ouma W2	Oude Maas West 2	1003,5	1006,4
spui	Spui	995,0	1012,1