



# Morfologie en zandtransport Maas zomerbedverdieping Gennep - Grave

Monitoringsresultaten 1996-1999

RIZA rapport 2000.001

Dit rapport is te bestellen à f 25,- per stuk bij Cabri Mailservice, Postbus 431, 8200 AK Lelystad,  
Tel. 0320-285333, Fax. 0320-241121, E-mail riza@cabri.nl

Betaling na levering; een acceptgiro wordt bijgevoegd.

Het rapport is gratis voor dienstonderdelen van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

This publication can be ordered at DFL 25,- per copy through Cabri Mailservice, PO Box 431,  
8200 AK Lelystad, The Netherlands, Tel. +31 320 285333, Fax. +31 320 241121, E-mail riza@cabri.nl  
Payment on delivery.



# Morfologie en zandtransport Maas zomerbedverdieping Gennep - Grave

Monitoringsresultaten 1996 - 1999

RIZA rapport 2000.001

ISBN 9036953197

Auteurs: ir. M.H.I. Schropp  
ing. P. Jesse  
J.A.F. van Essen

RIZA

Arnhem, september 2000





---

## Inhoudsopgave

---

<b>Samenvatting</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>11</b>
1.1 Zomerbedverdieping tussen Gennep en Grave .....	11
1.2 Monitoring van bodemligging en zandtransport.....	13
<b>2 Bodemligging</b> .....	<b>15</b>
2.1 Inleiding .....	15
2.2 Uitgevoerde metingen .....	17
2.3 Resultaten morfologie .....	20
<b>3 Sedimenttransport</b> .....	<b>33</b>
3.1 Inleiding .....	33
3.2 Uitgevoerde metingen .....	34
3.3 Resultaten transportmetingen .....	36
3.3.1 Bodemtransport (Helley-Smith).....	38
3.3.2 Zwevend transport (AZTM) .....	40
3.4 Afleiding transportformule .....	43
3.5 Berekening jaarvracht.....	46
3.6 Gevoeligheidsanalyse .....	49
3.7 Voortplanting sedimentatiefront .....	50
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>53</b>
4.1 Conclusies .....	53
4.2 Aanbevelingen .....	54
<b>Referenties</b> .....	<b>57</b>
<b>Bijlagen</b> .....	<b>59</b>
1 Datarapporten sedimenttransport en boringen .....	61
2 Gegevens bodemtransport (Helley-Smith) .....	63
3 Gegevens zwevend transport (AZTM) .....	69
4 Figuren bodemligging .....	71

## Lijst met figuren

Figuur 1 Hoogwater bij Middelaar, januari 1995 (foto RWS/MD).	8
Figuur 2 Overzichtsk kaart.	11
Figuur 3 Schematisch dwarsprofiel baggertraject.	12
Figuur 4 Schematisch lengteprofiel baggertraject.	13
Figuur 5 Afvoerterloop van de Maas 1996 - 1999.	15
Figuur 6 Erosie- en sedimentatie bij uniform bodemmateriaal.	16
Figuur 7 Bodemsamenstelling studiegebied (voortschrijdend gemiddelde).	17
Figuur 8 Verandering bodemhoogte jan 97 - jun 99, breedte 70 m.	18
Figuur 9 Verandering bodemhoogte jan 97 - jun 99, breedte 100 m.	19
Figuur 10 Lengteprofielen over de rivieras.	20
Figuur 11 Bodemontwikkeling bovenstrooms van km 155.	21
Figuur 12 Bodemontwikkeling rond km 156.	22
Figuur 13 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 155-156.	23
Figuur 14 Lengteprofielen rivieras km 156.	24
Figuur 15 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 164-165.	25
Figuur 16 Lengteprofielen rivieras km 164.	25
Figuur 17 Bodemontwikkeling rond km 164.	26
Figuur 18 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 165-166.	27
Figuur 19 Bodemontwikkeling rond km 166.	27
Figuur 20 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 166-167.	28
Figuur 21 Lengteprofielen rivieras km 166.	28
Figuur 22 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 174-175.	29
Figuur 23 Lengteprofielen rivieras km 174.	29
Figuur 24 Bodemontwikkeling rond km 174.	30
Figuur 25 Bodemontwikkeling benedenstrooms van km 176.	31
Figuur 26 Indeling sedimenttransport.	33
Figuur 27 Meting met de Helley-Smith.	35
Figuur 28 Meting met de AZTM.	36
Figuur 29 Dwarsprofielen km 141,3.	37
Figuur 30 Bodemligging km 141-142 (peiling februari 1998).	37
Figuur 31 Kenmerkende korreldiameters, gemiddeld per dag.	38
Figuur 32 Relatieve bijdrage per meetpunt aan het bodemtransport.	39
Figuur 33 Korreldiameters $D_m$ en $D_{50}$ bodemtransport.	40
Figuur 34 IJkmonsters januari 1998.	41
Figuur 35 Afvoerterloop en gemeten afvoeren per campagne.	42
Figuur 36 Concentratie- en snelheidsverticalen AZTM.	42
Figuur 37 Verhoudingen bodem- en zwevend transport.	43
Figuur 38 Meetdata en transportfunctie voor gewogen $D_{50}$ .	45
Figuur 39 QS-relaties voor de meetraai (km 141,3).	46
Figuur 40 Jaarvracht sedimenttransport (gewogen $D_{50}$ ).	47
Figuur 41 Jaarvrachten volgens (Gerritsen, 1968).	48
Figuur 42 MPM en EH voor gewogen korreldiameter, excl. spoeltransport.	50
Figuur 43 Voortplanting sedimentatiefront.	51



## Lijst met tabellen

Tabel 1 Meetdichtheid peilingen. ....	17
Tabel 2 Uitgevoerde peilingen. ....	18
Tabel 3 Aantal zandtransportmetingen per locatie. ....	34
Tabel 4 Correctiefactoren Helley-Smith Zand (zonder camera). ....	38
Tabel 5 Periodegemiddelde korreldiameters bodemtransport. ....	39
Tabel 6 Korreldiameters (mm) wel en niet gewogen naar transport. ....	39
Tabel 7 Gebruikte ijklijnen voor de AZTM-metingen. ....	41
Tabel 8 Ijkingsfactoren (A) transportformule. ....	44
Tabel 9 Berekende jaarvrachten, in 1.000 m <sup>3</sup> . ....	48
Tabel 10 Ijkingsfactoren (A) en jaarvrachten MPM en EH. ....	49
Tabel 11 Basisgegevens bodemtransport, geschatte waarden gearceerd. ....	63
Tabel 12 Basisgegevens korreldiameter D <sub>10</sub> . ....	64
Tabel 13 Basisgegevens korreldiameter D <sub>50</sub> . ....	65
Tabel 14 Basisgegevens korreldiameter D <sub>m</sub> . ....	66
Tabel 15 Basisgegevens korreldiameter D <sub>90</sub> . ....	67
Tabel 16 Basisgegevens zwevend transport, inclusief spoeltransport. ....	69
Tabel 17 Basisgegevens zwevend transport, exclusief spoeltransport. ....	70

## Symbolen

A	ijkingsparameter transportformule (-)
B	breedte zomerbed (m)
C	hydraulische ruwheid (m <sup>1/2</sup> /s)
D	korreldiameter (m)
D <sub>m</sub>	de som van de zeefdoorgang per massapercentage, van 10% tot 90% in stappen van 10%, gedeeld door 9 (m)
D <sub>10</sub>	korreldiameter met 10% onderschrijding per massapercentage (m)
D <sub>50</sub>	gemiddelde korreldiameter (m)
D <sub>90</sub>	korreldiameter met 90% onderschrijding per massapercentage (m)
g	versnelling van de zwaartekracht (m/s <sup>2</sup> )
Q	afvoer (m <sup>3</sup> /s)
s	sedimenttransport per eenheid van breedte (m <sup>2</sup> /s)
S	sedimenttransport (m <sup>3</sup> /s)
u	stroomsnelheid (m/s)
z	bodemhoogte (m+NAP)
α <sub>u</sub>	macht in transportformule (-)
β <sub>u</sub>	factor in transportformule (-)
γ <sub>u</sub>	macht in transportformule (-)
Δ	relatieve dichtheid van sediment (-)
ε	relatief porievolumen (-)
φ	stromingsparameter (-)
μ	ribbelfactor (-)
θ	transportparameter (-)
θ <sub>cr</sub>	drempelwaarde voor sedimenttransport (-)



---

# Samenvatting

---

## Het 1<sup>e</sup> baggerbestek

Als eerste stap in het vergroten van de bescherming tegen hoogwater op de Maas, is in 1996 het zomerbed van de Maas tussen Gennep en Grave over een breedte van 50 m verdiept. De verdieping bedroeg 3,0 m tussen km 155,7 en km 164,25, en 1,5 m tussen km 166,3 en km 174,2. Het tussengelegen traject bij Mook is niet verdiept, omdat hier een pijler van een spoorbrug in het zomerbed staat. De pijlervoet en enkele kabels en leidingen in de omgeving zijn afgedekt met een stortlaag om te voorkomen dat ze ondermijnd zouden raken. In totaal is ca. 1,9 miljoen kubieke meter zand en grind weggebaggerd en afgevoerd naar een depot langs de Waal.

Om de gevolgen van de verdieping te bestuderen zijn metingen uitgevoerd naar waterstanden, afvoeren, bodemligging, sedimenttransport, grondwaterstanden, macrofauna, microverontreinigingen, slibsedimentatie en bodemsamenstelling. In dit rapport, opgesteld in opdracht van projectbureau De Maaswerken, wordt verslag gedaan van de ontwikkelingen in de bodemligging in en rond het baggervak tussen eind 1996 en medio 1999, en van de metingen naar het sedimenttransport die in het kader van de monitoring in diezelfde periode zijn uitgevoerd.

## Morfologie

De metingen naar de bodemligging zijn uitgevoerd tussen km 140 en km 190 met een singlebeam peilsysteem in dwarsraaien om de 25 m op het verdiepte traject, en om de 100 m daarbuiten. Daarnaast zijn steeds 5 langsraaien gevaren op onderlinge afstanden van 15 m. Gemiddeld is elke drie maanden een peiling uitgevoerd, aanvankelijk alleen op het verdiepte traject, later over het hele traject van km 140 tot km 190. Alle peilingen zijn verwerkt tot een digitaal terreinmodel (DTM) met een grid van 2x2 m. Van deze DTM's is per kilometervak de gemiddelde bodemhoogte berekend over breedtes van 70 en 100 m, en zijn verschiltekeningen gemaakt door opeenvolgende peilingen van elkaar af te trekken.

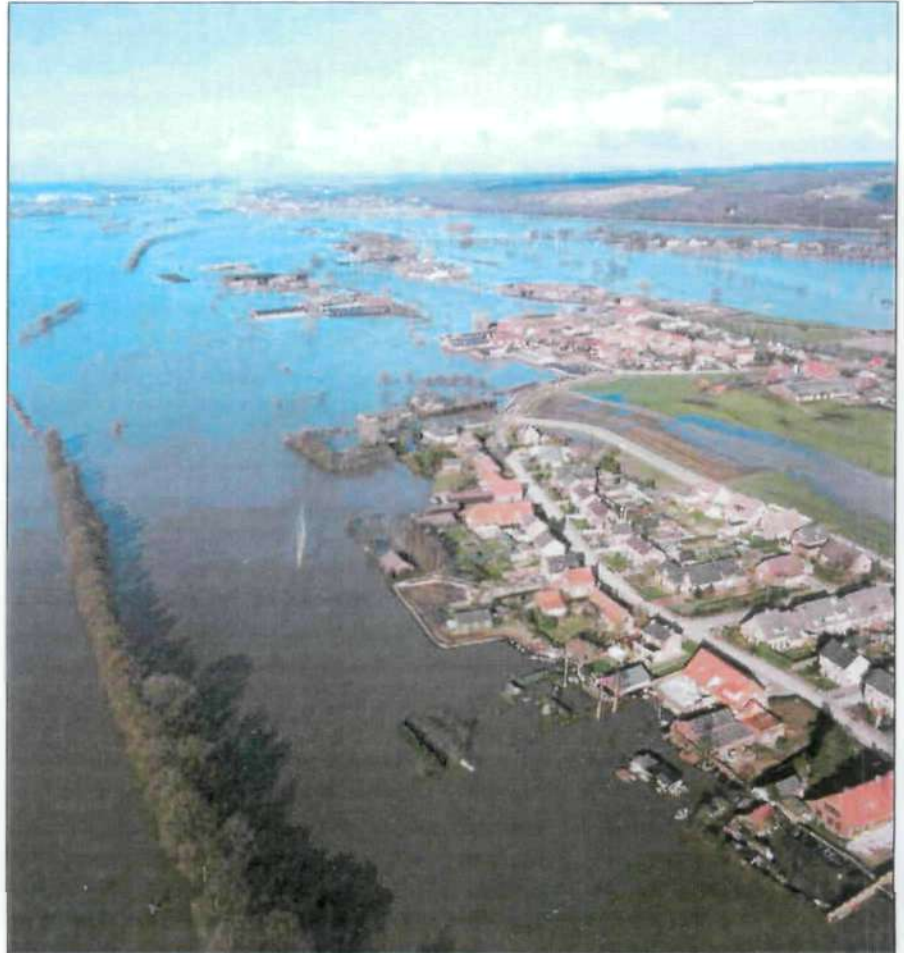
Ondanks de circa vijf afvoergolven die zijn opgetreden, kan worden geconcludeerd dat de verruiming van het doorstroomprofiel grotendeels in stand is gebleven. Wel is het dwarsprofiel lokaal soms sterk van vorm veranderd. De grootste morfologische veranderingen hebben zich voorgedaan tussen km 155 en 165, nabij de bovenstroomse begrenzing van het baggervak. Hier bestond de rivierbodem na verdieping uit zeer fijn zand, en reeds in 1996 ontstond hier een erosiekuil met een diepte tot 2 m. In de jaren daarna is deze kuil door de bovenstroomse aanvoer van materiaal nagenoeg tot het oorspronkelijke niveau opgevuld.

Tussen begin 1997 en medio 1999 is uit het baggervak netto ca. 100.000 m<sup>3</sup> sediment verdwenen. Het merendeel hiervan is afkomstig uit de bovenstroomse helft van het traject. Op de benedenstroomse helft van het traject is de gemiddelde bodemligging nauwelijks veranderd, maar wel is sediment van de niet verdiepte stroken tussen oever en baggergeul in de baggergeul terecht



gekomen. Op het benedenstroomse traject is de gebaggerde geul op peilingen uit 1999 niet meer als zodanig te herkennen. Bovenstrooms en benedenstrooms van het baggervak hebben zich geen veranderingen in de bodemligging voltrokken die zijn toe te schrijven aan de rivierverruiming.

**Figuur 1** Hoogwater bij Middelaar, januari 1995 (foto RWS/MD).



De begrenzingen van het baggervak in lengterichting zijn indertijd opgeleverd met taludhellingen van 1:10. Deze hellingen zijn in de loop der tijd flauwer geworden, tot de orde 1:50 - 1:200. Een uitzondering hierop is de meest benedenstroomse begrenzing op km 174,2, waar het flauwer worden van het talud wordt belemmerd door de stortlaag over de kabels en leidingen net benedenstrooms van de begrenzing. De grootste veranderingen in de taluds treden op in het eerste jaar na oplevering van het baggerwerk. Aan de bovenstroomse begrenzing van het baggervak bij km 155,7 is in 3 jaar tijd ca. 20.000 m<sup>3</sup> zand afgezet, waardoor het sedimentatiefront ca. 100 m is opgeschoven. Deze waarde komt goed overeen met wat op basis van transportberekeningen verwacht mocht worden. De bodemligging van het niet verdiepte traject rond de brugpijler bij Mook is als gevolg van de toegenomen stroomsnelheden ter plaatse ca. 0,20 m afgenomen. Inmiddels lijkt de bodemligging zich hier te hebben gestabiliseerd. Omdat het baggervak een neiging tot eroderen heeft, wordt aanbevolen éénmaal per jaar een controlepeiling uit voeren.

### Zandtransport

In 1997, 1998 en 1999 zijn in totaal vier meetcampagnes naar het sedimenttransport uitgevoerd, op een enkele uitzondering na alle op km 141,3 bij afvoeren vanaf 700 m<sup>3</sup>/s. Voor het meten van het bodemtransport is gebruik gemaakt van een Helley-Smith, waarmee op 5 punten in het dwarsprofiel steeds 10 metingen zijn uitgevoerd. Van de vangsten is het natte volume bepaald, en van een mengmonster de korrelverdeling. Voor het bepalen van de kenmerkende korreldiameter per meetdag is het transport per meetpunt gebruikt als wegingsfactor.

Het zwevend transport is gemeten met een AZTM op 5 verticalen in het dwarsprofiel op diepte-intervallen van 1 m. Per meetdag is elke verticaal twee keer doorgemeten. Om de AZTM te iken zijn watermonsters genomen waarvan het zandgehalte is bepaald. Bij twee meetcampagnes bevatten de watermonsters echter geen zand, en bij de twee andere campagnes was de spreiding dermate groot dat iking aan de hand van deze monsters niet mogelijk was. Daarom is besloten de AZTM te iken aan de hand van in het laboratorium bepaalde ijklijnen. Tevens zijn de zwevend transportmetingen gecorrigeerd voor het *aandeel spoeltransport*. Dit is de *fijne fractie van het zwevend transport* dat door de rivier wordt afgevoerd zonder deel te nemen aan erosie- en sedimentatieprocessen van de bodem.

Met de metingen is een algemene formule voor het sedimenttransport geijkt. De stroomsnelheid en het transport zijn omgerekend in dimensieloze parameters, en met de kleinste kwadratenmethode zijn de ijkingsfactoren bepaald. Voor de situatie inclusief spoeltransport blijkt deze ca. 0,8 te bedragen en exclusief spoeltransport ca. 0,4. Meer algemeen bekende transportvergelijkingen als de Meyer-Peter Müllervergelijking en de Engelund-Hansenvergelijking leverden geen beter resultaat op. De geijkte formule blijkt niet erg gevoelig te zijn voor de gekozen korreldiameter.

Met de transportformule is de jaarvracht aan sediment bepaald door per afvoerklasse het transport te berekenen en te sommeren over alle afvoerklassen, rekening houdend met de frequentie van voorkomen. Het blijkt dat 80% van het transport plaatsvindt bij afvoeren tussen 500 en 1400 m<sup>3</sup>/s. De jaarvracht bedraagt ca. 60.000 m<sup>3</sup> inclusief spoeltransport, en ca. 40.000 m<sup>3</sup> exclusief spoeltransport. In meetcampagnes in de jaren zestig werd voor dit gedeelte van de Maas nog een vracht berekend van ca. 35.000 m<sup>3</sup>, inclusief spoeltransport. Dit verschil is waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in methode voor het meten van het transport en het berekenen van de jaarvracht. Bij het meten van zandtransporten is een spreiding van enkele tientallen procenten niet ongewoon, en er zijn geen redenen om te veronderstellen dat het zandtransport van de Maas de afgelopen decennia drastisch is toegenomen. De met de transportformule berekende voortplanting van het sedimentatiefront rond km 156 is ca. 100 m, hetgeen goed overeen komt met waarnemingen op basis van peilingen.

Aanbevolen wordt de metingen op deze locatie (km 141,3) te beëindigen, en een meetreeks te starten op een locatie waar de sedimentsamenstelling aanmerkelijk anders is, zodat de transportformule voor een groot bereik aan korreldiameters kan worden geijkt.





# 1 Inleiding

## 1.1 Zomerbedverdieping tussen Gennep en Grave

Om maatregelen tegen hoogwateroverlast tussen Maasbracht en Megen (de 'Zandmaas') te onderzoeken, is in 1995 de MER-Zandmaas gestart. Doel van dit project was door middel van rivierverruiming de overstromingskans van gebieden achter de kaden langs de Zandmaas terug te brengen van eens in de ca. 50 jaar nu, naar eens in de 250 jaar in de toekomst. De MER-Zandmaas is later geïntegreerd met de reeds lopende MER voor het project Modernisering Maasroute tot het project MER-Zandmaas/Maasroute. De directie voor de projecten Zandmaas/Maasroute en Grensmaas wordt gevoerd door projectbureau 'De Maaswerken', een samenwerkingsverband van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en de provincie Limburg. In de Trajectnota/MER Zandmaas/Maasroute (Maaswerken, 1999) zijn de alternatieven beschreven waarmee de bescherming tegen hoogwater en de scheepvaartcapaciteit van de Maas kunnen worden verbeterd.

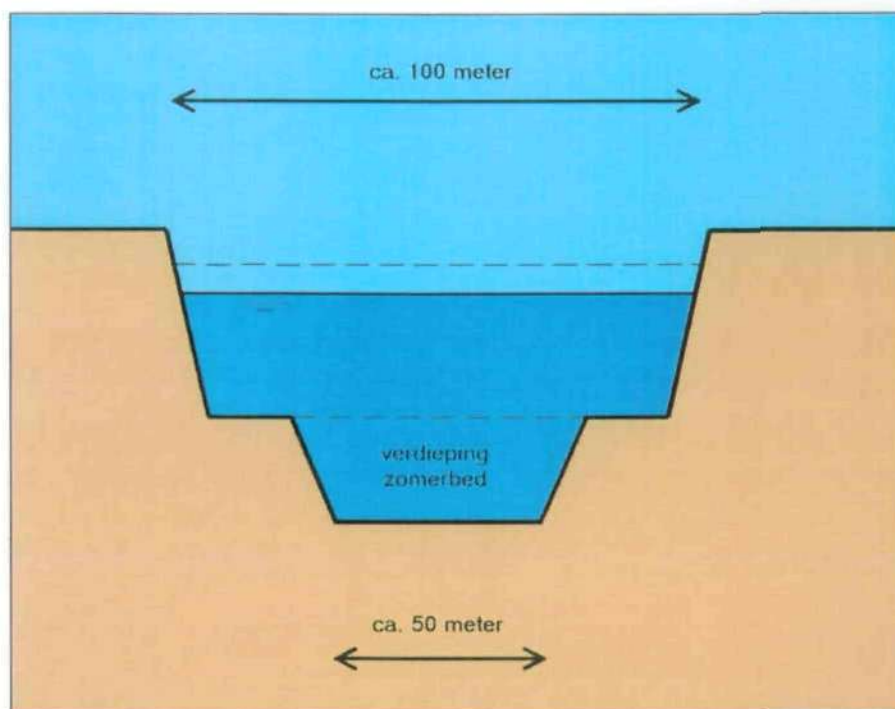
Figuur 2 Overzichtsk kaart.



Om ervaring op te doen met verschillende vormen van rivierverruiming is reeds vóór het uitbrengen van de Trajectnota/MER in proefprojecten een begin gemaakt met het uitvoeren van verruimingsmaatregelen. Het eerste proefproject was de verdieping van het zomerbed tussen km 155,7 (Gennep)

en km 174,2 (Grave), zie Figuur 2<sup>1</sup>. Belangrijke overwegingen om juist voor dit traject te kiezen waren dat het een relatief lang traject is met maar een beperkt aantal locaties waar de kabels en leidingen de rivier kruisen, en dat de rivierbodem niet zodanig verontreinigd was dat deze gesaneerd diende te worden (Prins *et. al.*, 1995). In de periode april-november 1996 is tussen Gennep en Grave het zomerbed over een traject van 18,5 km verdiept. De verdieping is uitgevoerd over een breedte van 50 m rond de rivieras, op een totale zomerbedbreedte van ca. 100 m, zie Figuur 3.

**Figuur 3** Schematisch dwarsprofiel baggertraject.



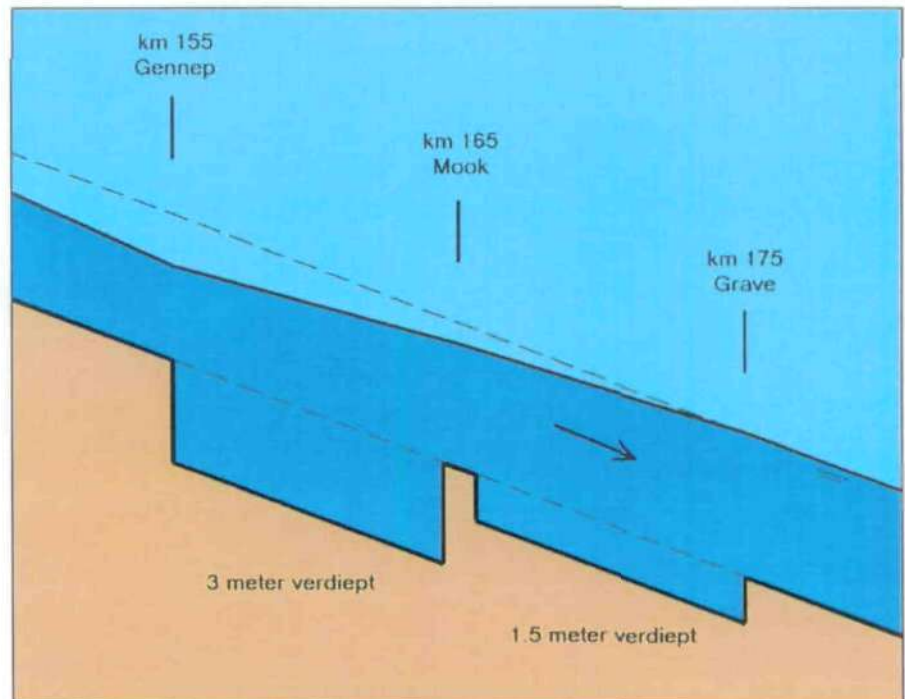
De bovenstroomse helft van het traject (km 155,700-164,250) is 3,0 m verdiept, de benedenstroomse helft (km 166,300-174,200) 1,5 m. De reden voor deze differentiatie was, dat ook in het advies van de Commissie Boertien, dat ten grondslag lag aan de MER-Zandmaas, de verdieping van het zomerbed vanaf Mook (km 165) in benedenstroomse richting geleidelijk afnam, totdat bij Megen (km 190) het oorspronkelijke bodemniveau weer was bereikt. Rond km 165 kruisen enkele kabels en leidingen en de spoorlijn Nijmegen-Venlo de Maas. Eén van de pijlers van de spoorbrug staat midden in het rivier en twee pijlers op beide oevers. Om elk risico op ondermijning van de pijlers uit te sluiten is het zomerbed hier over een lengte van 2 km niet verdiept. Rond de voet van de pijlers is extra bestorting aangebracht, en ook de kabels en leidingen zijn met een stortlaag afgedekt. Een vergelijkbaar probleem deed zich voor rond km 154,6 bij Gennep, waar een verkeersbrug met één pijler in het zomerbed en twee pijlers op de oever staat, en eveneens kabels en leidingen de rivier kruisen. Hoewel deze locatie buiten het te verdiepen traject ligt, bestond toch gevaar voor ondermijning als gevolg van terugschrijdende erosie. Ook hier zijn de pijlers aan de voet extra bestort, en zijn de kabels en leidingen afgedekt

<sup>1</sup> De Maas kent voor plaatsbepaling een kilometrering, welke begint even bovenstrooms van de Belgisch-Nederlandse grens (Visé, km 0) en eindigt bij de samenvloeiing van de Amer en Nieuwe Merwede (Anna-Jacominaplaat, km 262).



met een stortlaag. Een derde locatie waar kabels en leidingen zijn afgedekt is bij km 174,3, net voorbij de benedenstroomse begrenzing van het baggervak.

**Figuur 4** Schematisch lengteprofiel baggertraject.



De totale hoeveelheid gebaggerd materiaal bedroeg ca. 1,9 miljoen m<sup>3</sup>, gelijk aan enkele tientallen malen het jaartransport van de Maas. De verruiming is over het algemeen van boven- naar benedenstrooms uitgevoerd. In Figuur 4 is een lengteprofiel over het baggertraject geschetst.

## 1.2 Monitoring van bodemligging en zandtransport

Een belangrijke doelstelling bij de zomerbedverdieping van de Maas tussen Gennep en Grave was het vergroten van het inzicht in de rivierkundige processen die een rol spelen bij riviervddieping. Het RIZA heeft daarom een plan opgesteld voor de monitoring van de effecten van de zomerbedverdieping (Schropp, 1995 en 1997). In het kader van het monitoringsplan zijn tussen medio 1996 en medio 1999 metingen uitgevoerd naar waterstanden, bodemligging, zandtransport, sliedsedimentatie, bodemsamenstelling, grondwaterstanden, macrofauna en microverontreinigingen.

Dit rapport is het eindrapport van de metingen naar de bodemligging (hoofdstuk 2) en van de zandtransportmetingen (hoofdstuk 3), die in het kader van de monitoring van het 1<sup>e</sup> baggerbestek tussen eind 1996 en medio 1999 zijn uitgevoerd. De opdrachtgever voor deze studie is het projectbureau De Maaswerken. Het rapport bouwt voort op een eerste analyse van de morfologische ontwikkelingen van het baggervak en van het sedimenttransport in (Wolters, 1998).

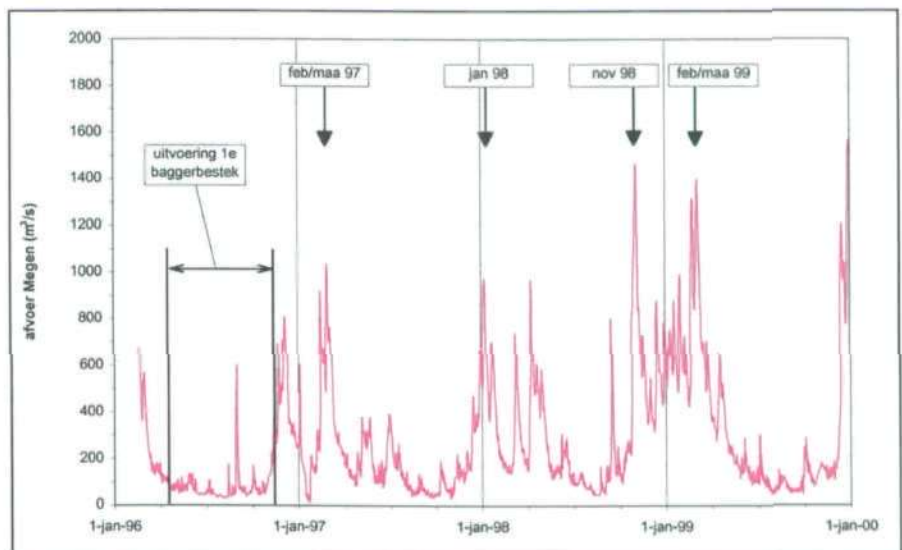


## 2 Bodemligging

### 2.1 Inleiding

De bodempeilingen op en om het traject van het 1<sup>e</sup> baggerbestek zijn uitgevoerd met een aantal doelstellingen. Peilingen tijdens of kort na een hoogwater vinden plaats om risicovolle situaties vroegtijdig te onderkennen. Hierbij wordt met name gedoeld op locaties waar grootschalige erosie optreedt, en die kunnen leiden tot het plotseling instabiel worden van oevers en constructies. Ten tweede worden peilingen uitgevoerd om de duurzaamheid van de verruiming te kunnen beoordelen. Blijft de gebaggerde geul in stand, of verzandt deze na verloop van tijd? En ten derde leveren de bodempeilingen mede de gegevens om morfologische modellen mee af te regelen. Met deze modellen kan het effect van toekomstige ingrepen in de Zandmaas worden geschat.

Figuur 5 Afvoer van de Maas 1996 - 1999.



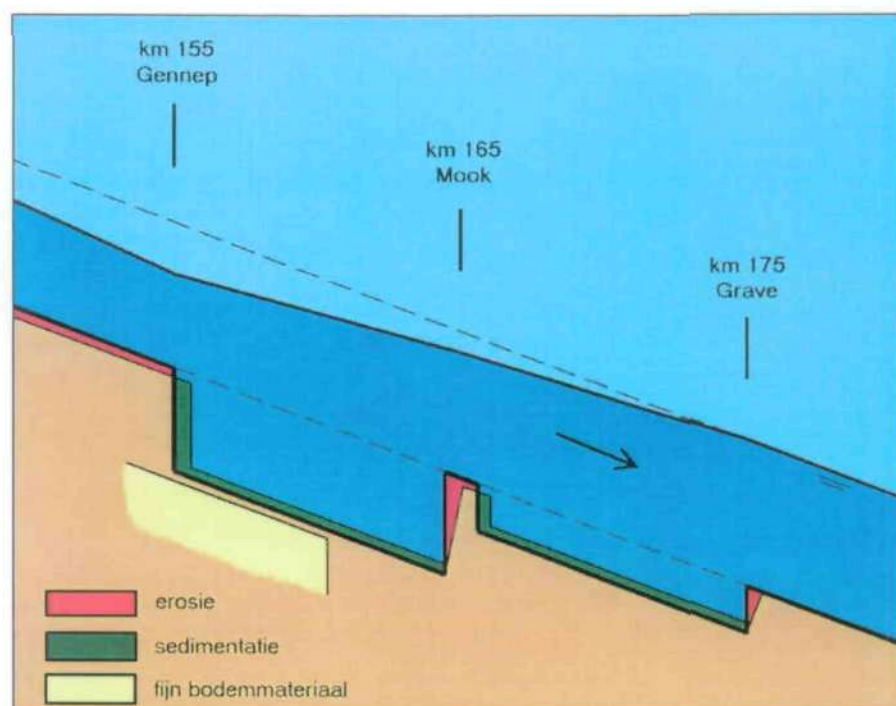
Veranderingen in bodemligging worden veroorzaakt door stromend water. Omdat het baggervak in een gestuwd riviertraject ligt, zullen morfologische veranderingen vooral tijdens hoogwater plaatsvinden. Voor een goed begrip is in Figuur 5 een overzicht gegeven van het afvoer van de Maas bij Megen tussen 1996 en 1999. In de figuur is tevens aangegeven in welke periode de Maas is verdiept, en wanneer zandtransportmetingen zijn uitgevoerd.

Een verdieping van het zomerbed als tussen Gennepe en Grave is een discontinuïteit in het lengteprofiel. Als gevolg hiervan treden in lengterichting gradiënten op in de stroomsnelheid, en dus in de sedimenttransportcapaciteit. Dit leidt vervolgens tot erosie (toenemende transportcapaciteit) of sedimentatie (afnemende transportcapaciteit), waardoor het baggervak in lengterichting van



vorm verandert. In Figuur 6 zijn schematisch de gebieden aangegeven waar in een 1D-benadering en bij uniform bodemmateriaal erosie of sedimentatie is te verwachten.

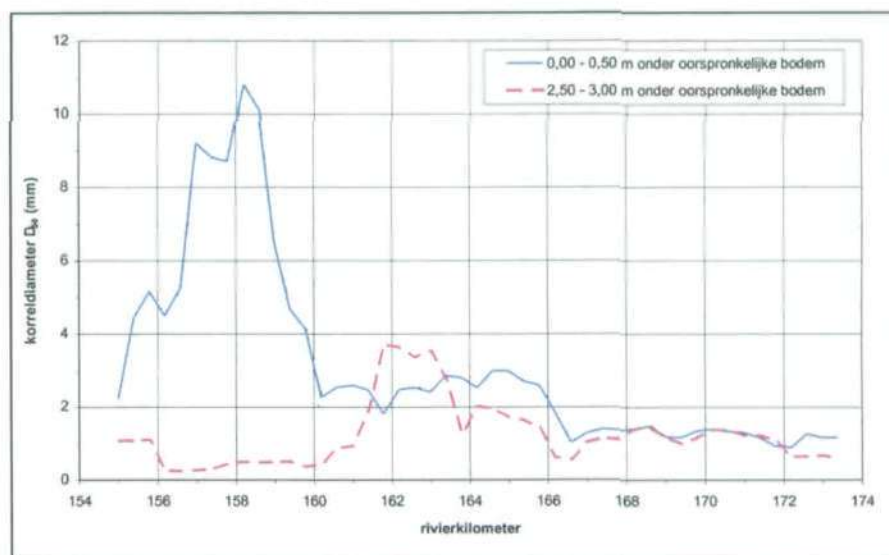
**Figuur 6** Erosie- en sedimentatie bij uniform bodemmateriaal.



Bovenstrooms van het baggervak is als gevolg van de waterstandsdeling een geringe, terugschrijdende bodemerosie te verwachten. Aan de bovenstroomse zijde van het baggervak nemen de stroomsnelheden als gevolg van de verruiming af, en zal zand sedimenteren. Benedenstrooms van het baggervak nemen de stroomsnelheden weer toe, en daar vindt erosie plaats. Het netto resultaat is dat het baggervak zich in benedenstroomse richting verplaatst, en in de tijd ondieper wordt. Als het winterbed van de Maas voluit meestroomt verlopen de in Figuur 6 geschetste morfologische processen iets anders. Door de waterstandsverlaging vindt in het zomerbed een concentratie van afvoer plaats, leidend tot hogere stroomsnelheden en dus meer erosie. Het op grote schaal meestromen van het winterbed heeft zich in de periode medio 1996 - medio 1999 echter niet voorgedaan, en speelt dus geen rol bij het verklaren van waargenomen morfologische fenomenen.

Reeds in de ontwerpfase van het 1<sup>e</sup> baggerbestek is onderkend dat het bodemmateriaal tussen Gennep en Grave niet uniform van samenstelling is. Uit boringen die voorafgaand aan de verdieping zijn uitgevoerd, bleek dat de gemiddelde korreldiameter van de oorspronkelijke toplaag plaatselijk aanzienlijk groter was dan die van de toekomstige bodem. In Figuur 7 is de  $D_{50}$  van de bovenste en de onderste halve meter van de boorkernen uitgezet als functie van de afstand. Bij het wegbaggeren van de bovenste 3 meter wordt deze fijne laag aan de stroming blootgesteld, hetgeen binnen de duur van één hoogwater tot aanzienlijke erosie kan leiden. De mogelijke gevolgen hiervan zijn instabiliteit van de oevers, en sedimentatie van het geërodeerde fijne zand op stroomluwe plaatsen waar het voor de scheepvaart voor overlast zorgt. Verwacht mocht worden dat na verdieping erosie plaats zou vinden tussen km 156 en km 161. Dit gebied is in Figuur 6 eveneens schetsmatig aangegeven.

**Figuur 7** Bodemsamenstelling studiegebied (voortschrijdend gemiddelde).



Waarom op het traject km 155 - 160 zo'n sterke dieptegradiënt in de korreldiameter zit, is niet met zekerheid te zeggen. Ook bij een bemonsteringscampagne in 1986 van de bodem van de hele Zandmaas springt dit traject er met grote korreldiameters uit. Een hypothese is dat in het verleden de laag fijn zand hier aan de oppervlakte van het rivierbed is getreden, waarna het bed is uitgeschuurd en vervolgens weer is opgevuld met van bovenstrooms aangevoerd materiaal. De fijnere fracties van dit opvulmateriaal zijn op termijn weer uitgespoeld en de grofste fractie bleef achter.

## 2.2 Uitgevoerde metingen

De peilingen zijn uitgevoerd in een netwerk van dwars- en langsraaien zoals aangegeven in Tabel 1. De meetdichtheid is het grootst in het baggervak, en kleiner op de trajecten boven- en benedenstrooms daarvan. De begrenzingen van het totale traject vallen globaal samen met de aanvankelijke meetlocaties voor het sedimenttransport. De peilingen zijn uitgevoerd met een singlebeam peilsysteem, omdat het routinematig uitvoeren van peilingen met een multibeam peilsysteem in de periode 1996-1999 nog onvoldoende was ontwikkeld.

**Tabel 1** Meetdichtheid peilingen.

Deeltraject	van	tot	dwarsraaien	langsraaien
1	km 140	km 155	100 m	-30 / -15 / 0 / +15 / +30 m
2a	km 155	km 165	25 m	-30 / -15 / 0 / +15 / +30 m
2b	km 165	km 175	25 m	-30 / -15 / 0 / +15 / +30 m
3	km 175	km 190	100 m	-30 / -15 / 0 / +15 / +30 m

Van medio 1996 tot medio 1999 is gemiddeld elke drie maanden een peiling uitgevoerd. Aanvankelijk is meestal alleen het baggervak (deeltraject 2) gepeild, later is steeds het volledige traject bemeten (deeltrajecten 1 t/m 3). Een overzicht van de uitgevoerde peilingen is gegeven in Tabel 2. De datumaanduiding is bij benadering, omdat een volledige peiling soms een



doorlooptijd heeft van meer dan één maand. Zo zijn de metingen voor 'januari 1997' uitgevoerd in december 1996 en januari en februari 1997.

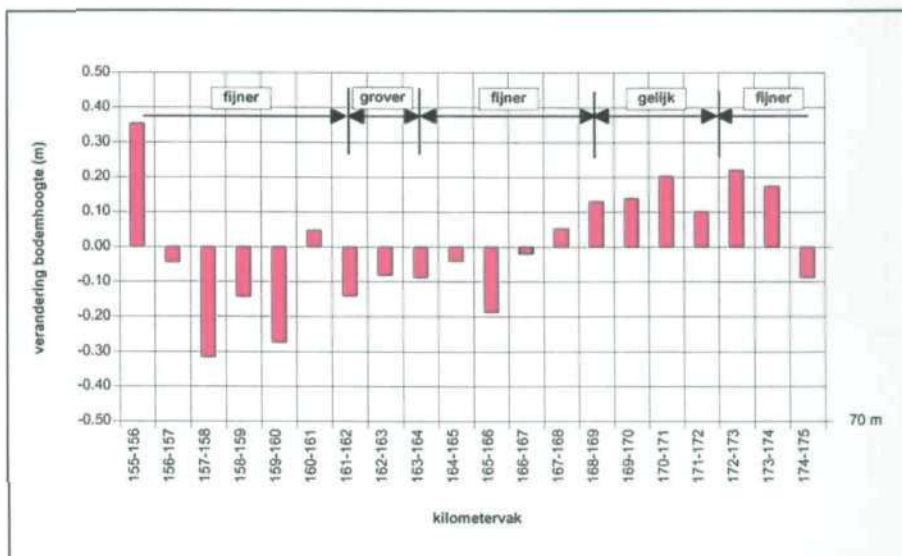
**Tabel 2** Uitgevoerde peilingen.

Nummer	datum	codering	van (km)	tot (km)
1	januari 1997	9701	140	190
2	april 1997	9704	155	175
3	juni 1997	9706	140	190
4	september 1997	9709	155	175
5	december 1997	9712	155	175
6	februari 1998	9802	140	190
7	juni 1998	9806	140	190
8	september 1998	9809	140	190
9	december 1998	9812	140	190
10	maart 1999	9903	140	190
11	juni 1999	9906	140	190

De peilingen zijn uitgevoerd en verwerkt door de Meetdienst van de Directie Limburg, met uitzondering van de peiling van december 1997, die via uitbesteding is ingewonnen. Omdat de resultaten van deze peiling te zeer afwijkend waren, is deze niet verder verwerkt.

De eerste verwerkingsstap bestond uit validatie van de meetgegevens en het plotten van de langs- en dwarsprofielen op A0-bladen. Vervolgens werd per vak van 1 à 2 km een digitaal terreinmodel (DTM) vervaardigd door een rooster van 2x2 m over het zomerbed te leggen, en in Digipol op basis van de langs- en dwarsprofielen voor iedere rooster cel de bodemhoogte te interpoleren. De DTM's van de bodempeilingen zijn door het RIZA in ArcInfo verder verwerkt, zie bijlage 4. Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de veranderingen, zijn verschilkaarten gemaakt door in ArcInfo roosters van opeenvolgende peilingen van elkaar af te trekken.

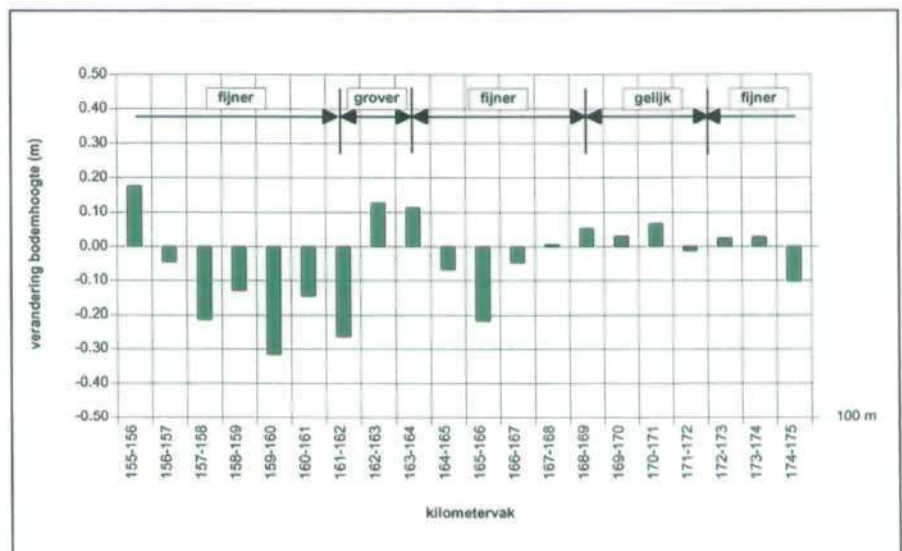
**Figuur 8** Verandering bodemhoogte jan 97 - jun 99, breedte 70 m.



Van iedere peiling is op basis van de DTM's per kilometervak de gemiddelde bodemhoogte berekend over een breedte van 70 m rond de as van de gebaggerde geul, c.q. de rivieras op plaatsen waar niet gebaggerd is. Deze 70

m breedte beslaat de baggergeul (50 m) plus aan weerszijden een strook van 10 m waar mogelijk morfologische interactie plaatsvindt met de baggergeul, bijvoorbeeld door het uitzakken van taluds of de depositie van uit de baggergeul geërodeerd materiaal. Daarnaast is de gemiddelde bodemligging berekend over een breedte van 100 m, zijnde de volledige breedte van het zomerbed exclusief de oevertaluds. Met de gemiddelde bodemhoogtes zijn verschillen in bodemligging tussen opeenvolgende peilingen berekend, en op basis daarvan netto aanzandings- en erosievolumes. In Figuur 8 zijn per kilometervak over een strook van 70 m breedte de veranderingen in bodemligging uitgezet tussen januari 1997 (referentiepeiling) en juni 1999 (laatste peiling), en in Figuur 9 over een strook van 100 m breedte. In beide figuren is tevens aangegeven of op grond van Figuur 7 de korreldiameter van de toplaag na de verdieping grover of fijner is geworden. Opgemerkt wordt dat de peiling van januari 1997, die in beide figuren als referentie wordt gebruikt, voor een aantal deeltrajecten geen goede weergave van de bodemligging direct na de verdieping is. Met name het deeltraject km 155,7-157,2 (besteksvak A), dat al in het voorjaar van 1996 is uitgebaggerd, is tijdens afvoergolven in augustus en november 1996 flink uitgeschuurd. Een volledige peiling van het al wel uitgebaggerde, maar nog niet geërodeerde baggervak is helaas niet beschikbaar. Een tweede opmerking betreft de onderlinge vergelijkbaarheid van peilingen. Bij iedere peiling is sprake van een systematische meetfout, hoe klein vaak ook. Deze fout wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door variaties in de geluidssnelheid onder water, of door de gebruikte interpolatietechniek voor het berekenen van de waterstand. De systematische meetfout ligt in de orde van enkele centimeters, maar kan voor ieder peiling een andere waarde hebben. Verschillen in bodemligging tussen twee peilingen in de orde van een paar centimeter zijn daarom niet significant.

**Figuur 9** Verandering bodemhoogte jan 97 - jun 99, breedte 100 m.



Om aanvullende informatie over de bodemsamenstelling te krijgen, zijn in juni 1997 boringen uitgevoerd in het morfologisch meest actieve deel van het verdiepte zomerbed, te weten km 155-160. Het doel was na te gaan of verwacht mocht worden dat de verdieping van de erosiekuil tot staan zou worden gebracht door grof materiaal op grotere diepte. De boorkernen, met een lengte van 4 meter, zijn beschreven en gefotografeerd. Gegevens over korrelgrootteverdelingen zijn echter niet beschikbaar.

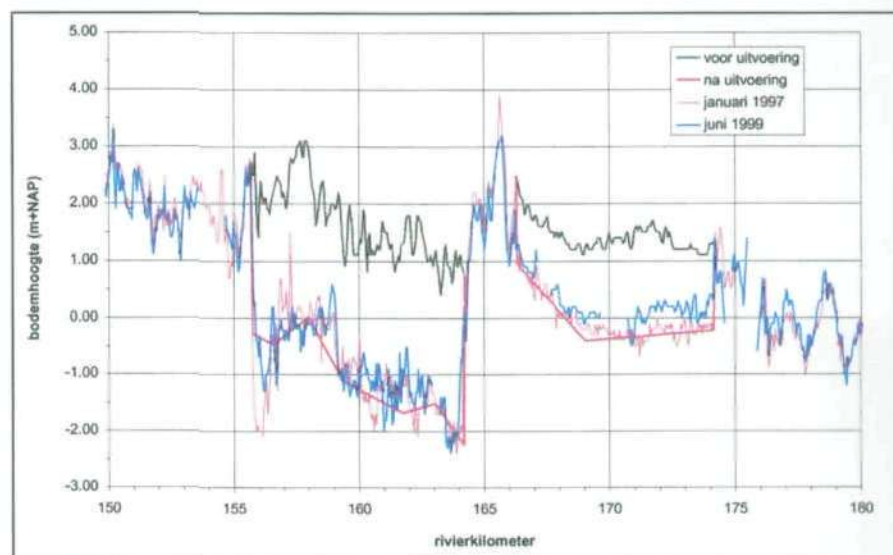


### 2.3 Resultaten morfologie

Een eerste indruk van de morfologische ontwikkeling van het baggervak tussen 1996 en 1999 geeft Figuur 10. Hierin is de oorspronkelijke bodemligging op de rivieras en de bodemligging op een aantal momenten na het baggerwerk uitgezet. De bodemligging direct na uitvoering in Figuur 10, en in vergelijkbare figuren in dit hoofdstuk voor deeltrajecten, is geen gemeten profiel maar de taakstelling uit de bestekstekeningen. Omdat tijdens de uitvoering een intensieve kwaliteitsborging van de werkzaamheden heeft plaatsgevonden, mag worden aangenomen dat het gebaggerde profiel niet veel afwijkt van de taakstelling.

Op basis van de uitgevoerde peilingen kan worden geconcludeerd dat ondanks de circa vijf afvoergolven die sinds de oplevering van het baggerwerk zijn opgetreden, de *verruiming van het doorstroomprofiel grotendeels in stand is gebleven*. Wel zijn er lokaal aanzienlijke wijzigingen in de vorm van het dwarsprofiel opgetreden. Omdat het bodemmateriaal zeer gegradeerd van samenstelling is, verlopen deze veranderingen niet altijd zoals op grond van een eenvoudige, uniforme 1D-benadering verwacht zou mogen worden.

Figuur 10 Lengteprofielen over de rivieras.



Tussen januari 1997, dus na het ontstaan van de erosiekuil rond km 156, en juni 1999 is over de gehele lengte van het baggervak over een bodembreedte van 100 m netto nog eens ca. 100.000 m<sup>3</sup> bodemmateriaal verdwenen, gelijk aan ca. 5% van het baggervolume. Het merendeel hiervan is afkomstig uit de bovenstroomse helft van het baggervak. De peilingen op deeltraject 3 (km 175 - 190) geven geen aanleiding te veronderstellen dat dit materiaal benedenstrooms van het baggervak is gesedimenteerd. Omdat het gaat om fijnkorrelig zand, is het waarschijnlijk dat het materiaal als zwevend transport naar het Hollandsch Diep is afgevoerd. Het berekende geërodeerde volume moet in verband met de meetnauwkeurigheid worden gezien als een orde van grootte, en niet als een exact getal. Een systematische fout van 1 centimeter over het oppervlak van het baggertraject (20 km x 100 m) komt immers al overeen met een volume van 20.000 m<sup>3</sup>. De conclusie dat sprake is van netto

erosie wordt gerechtvaardigd doordat in de tijd gezien over een aantal peilingen een consistent beeld oprijst.

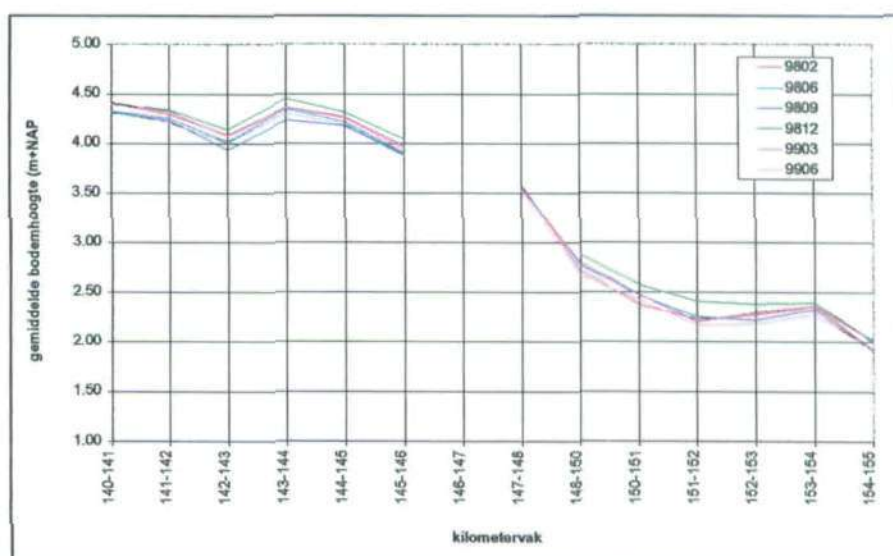
Over de gehele lengte van het baggervak is de bodem indertijd horizontaal opgeleverd, ook in bochten waar normaliter de buitenbocht dieper is dan de binnenbocht. Uit nadere bestudering van de peilingen van bijlage 4 blijkt dat na één of twee afvoergolven het natuurlijke bochtprofiel zich volledig herstelt. Het tijdens de uitvoering van een baggerbestek al aanbrengen van bochtprofielen is dan ook niet nodig, en vanwege de hogere kosten zelfs af te raden. Het dieper worden van de buitenbocht houdt wel het risico in dat eventueel aanwezige fijne lagen worden aangesneden.

In het onderstaande wordt per deelgebied beschreven welke morfologische processen zich tussen begin 1997 en medio 1999 hebben voorgedaan. De beschrijving volgt het zand in stroomafwaartse richting.

#### Bovenstrooms van het baggervak (km 140 - 155)

Als gevolg van de waterstandsverlaging bovenstrooms van km 155 nemen de stroomsnelheid en de transportcapaciteit hier in stroomafwaartse richting toe. Dit betekent dat bovenstrooms van km 156 erosie is te verwachten. Omdat echter de toename van de transportcapaciteit in lengterichting klein is (enkele procenten), zal ook de erosie gering zijn. Voor dit traject zijn peilingen beschikbaar vanaf februari 1998, en in Figuur 11 is voor elke peiling de gemiddelde bodemhoogte per kilometervak uitgezet over een bodembreedte van 100 m. Waarden voor kilometervak 146-147 ontbreken, omdat hier stuw Sambeek ligt. Bij de bochtafsnijding van Boxmeer ontbreekt kilometerraai 149, en zijn de kilometervakken 148-149 en 149-150 tot één vak samengevoegd. Uit de figuur blijkt dat er weliswaar verschillen in bodemligging zijn tussen de peilingen, maar deze zijn toe te schrijven aan de meetnauwkeurigheid. Van een constant dalende trend in de bodemligging is geen sprake.

Figuur 11 Bodemontwikkeling  
bovenstrooms van km 155.



#### Sedimentatiefront bovenstroomse begrenzing (km 155 - 156)

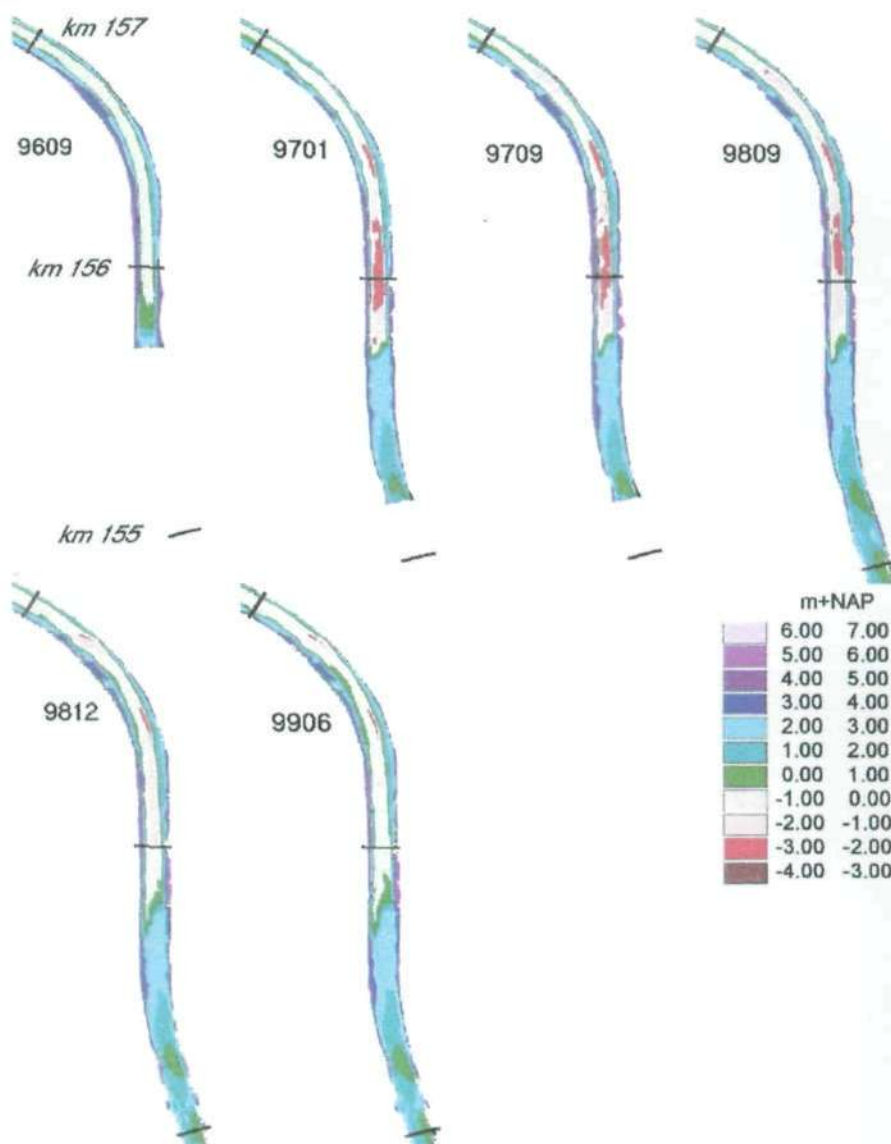
De verdieping van het zomerbed begint bij km 155,700. De stroomsnelheid neemt hier abrupt af, hetgeen resulteert in sedimentatie van een groot deel van het zandtransport. Het bodemtransport reageert onmiddellijk op de snelheidsafname, het zwevend transport moet eerst uit de waterkolom zakken, en komt verspreid over een lengte van enkele honderden meters.



benedenstrooms van km 155,700 terecht. De bovenkant van het sedimentatiefront is theoretisch nagenoeg gelijk aan de oorspronkelijke bodemhoogte, zie ook Figuur 6.

In Figuur 12 is de bodemontwikkeling rond km 156 weergegeven. Bij wijze van uitzondering is van dit gebied wel een opname van direct na de verruiming beschikbaar. Hoewel de peiling is aangeleverd met als datum september 1996, is het waarschijnlijker dat de opname dateert van juni-juli 1996. De erosiekuil had na de afvoerpiek van augustus 1996 plaatselijk al een diepte van 1 m, maar daarvan is op deze opname nog niets te zien.

Figuur 12 Bodemontwikkeling rond km 156.



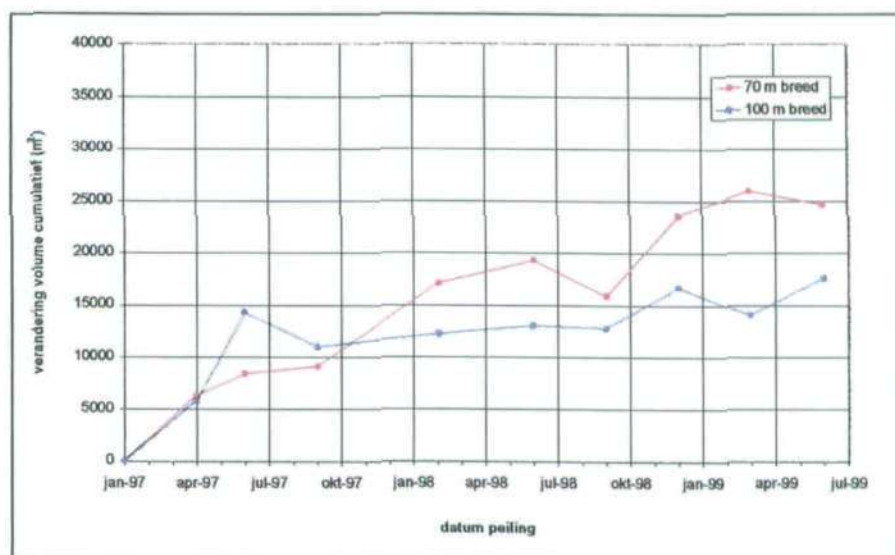
Aan de rechteroever is enige progressie van het sedimentatiefront merkbaar, maar aan de linkeroever is eerder sprake van terugschrijdende erosie. Dat het sedimentatiefront in drie jaar tijd nauwelijks is opgeschoven, ligt aan het geringe sedimenttransport. De voortplantingssnelheid van het front ligt in de orde van 0,5 m/dag, en dan alleen nog tijdens afvoergolven. Geïntegreerd over de periode 1996-1999 is de voortgang in de orde van 100 m. Het opvullen van de erosiekuil met van bovenstrooms aangevoerd sediment blijkt de



voortplanting van het front maar in beperkte mate af te remmen. Weliswaar is de zandbehoefte door het opvullen van de kuil groter, daar staat echter tegenover dat door het grotere doorstrooprofiele ook de reductie in stroomsnelheid, en dus in zandtransportcapaciteit, groter is en er dus meer zand achterblijft (zie hoofdstuk 3).

Dat materiaal is afgezet blijkt uit de netto volumeverandering van kilometervak 155-156 in de tijd, zie Figuur 13. De berekende aanzanding tussen januari 1997 en juni 1999 is enigszins afhankelijk van de gekozen breedte waarover geïntegreerd wordt (70 of 100 m), maar ligt in de orde van 20.000 m<sup>3</sup>. Dit komt goed overeen met een voortplanting van het sedimentatiefront met ca. 100 m. Opgemerkt wordt dat in Figuur 13 de peiling van januari 1997 als referentie wordt gebruikt, dus toen de erosiekuil zich al had ontwikkeld.

Figuur 13 Cumulatieve volumeverandering kilometervak 155-156.



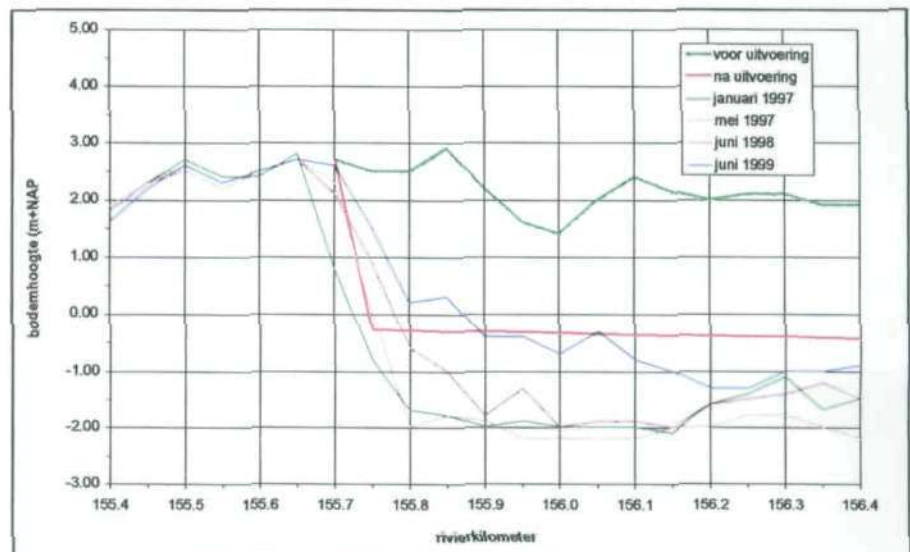
In Figuur 12 is bij nauwkeurige waarneming te zien dat het sedimentatiefront in de loop der tijd van vorm is veranderd. Bij oplevering had de overgangshelling een talud van 1:10, maar uit de langspeilingen van juni 1999 blijkt dat het talud op 15 m rechts van de rivieras is afgenomen tot 1:25, op de rivieras tot 1:30, en op 15 m links van de rivieras tot 1:50. De grootste veranderingen blijken op te treden in het eerste jaar na oplevering.

#### Bovenstroomse deel van het baggervak (km 156 - 164)

Het baggerwerk is globaal van boven- naar benedenstrooms uitgevoerd, en het gebied rond km 156 is in het voorjaar van 1996 uitgebaggerd. In augustus 1996 werd op grond van peilingen geconstateerd dat zich ter hoogte van km 156 een ontgrondingskuil ontwikkelde. Omdat geen acuut gevaar dreigde, en om kennisontwikkeling een kans te geven, werd besloten vooralsnog niet in te grijpen. Op de peiling uit september 1996 in Figuur 12 is nog geen erosiekuil te zien, maar zoals hierboven uiteengezet dateert de peiling waarschijnlijk van vóór augustus 1996. Als gevolg van een afvoergolf in november 1996 vindt verdere erosie plaats, en op de peiling van januari 1997 is de kuil duidelijk zichtbaar. In januari 1997 had de kuil een diepte van maximaal 2 m en een volume van 45.000 m<sup>3</sup> (gelijk aan 2% van het totale baggervolume), maar werd in de maanden daarna nauwelijks groter, ondanks een afvoergolf van ruim 1.000 m<sup>3</sup>/s in februari/maart 1997. Uit Figuur 12 blijkt dat grootschalige erosie van het fijnkorrelig materiaal beperkt is gebleven tot het traject km

155,700 - 156,700. Opmerkelijk is dat de verdieping niet doorzet in de tijd, maar dat integendeel sprake is van een geleidelijk weer ondieper worden van de kuil. In juni 1999 is de kuil weer nagenoeg opgevuld tot het niveau waarop het baggerwerk in 1996 is opgeleverd, zij het dat de schaalresolutie van Figuur 12 een enigszins vertekend beeld geeft. In Figuur 14 is daarom voor een aantal opnamen het lengteprofiel over de rivieras gegeven. Ook hierin is te zien dat de erosiekuil grotendeels weer is opgevuld, en voor de toekomst wordt een verdere opvulling van de erosiekuil verwacht. Netto is de bodemligging dan niet veranderd, maar in feite heeft een uitwisseling plaatsgevonden tussen fijnkorrelig, oorspronkelijk bodemmateriaal en grofkorrelig transportmateriaal. Dat de kuil zich opvult is te danken aan zijn specifieke ligging nabij de bovenstroomse begrenzing van het baggervak. Zou de kuil verder benedenstrooms hebben gelegen, dan zou het grofkorrelige bodemtransport de kuil niet hebben bereikt, en zou opvulling zijn uitgebleven. Het is niet bekend of opvulling van de kuil pas begint als al het fijne sediment is uitgespoeld, of dat daarentegen sprake is van afdekking van fijn materiaal door van bovenstrooms aangevoerd grof zand. Om hierover uitsluitsel te krijgen zouden rond km 156 aanvullende boringen uitgevoerd moeten worden.

Figuur 14 Lengteprofielen rivieras km 156.



Ondanks het opvullen van de erosiekuil vertoont deeltraject 2a (km 155 - 165) als geheel een neiging tot eroderen. In Figuur 8 en Figuur 9 is te zien dat tussen januari 1997 en juni 1999 over het hele deeltraject in bijna ieder kilometervak de bodemhoogte enkele decimeters afneemt. Dit is volledig toe te schrijven aan het uitspoelen van fijn bodemmateriaal, omdat bij een uniforme korreldiameter juist een trend tot aanzanding te zien zou zijn, zie Figuur 6. Een uitzondering is kilometervak 155-156, waar het sedimentatiefront voor een toename van de gemiddelde bodemhoogte zorgt.

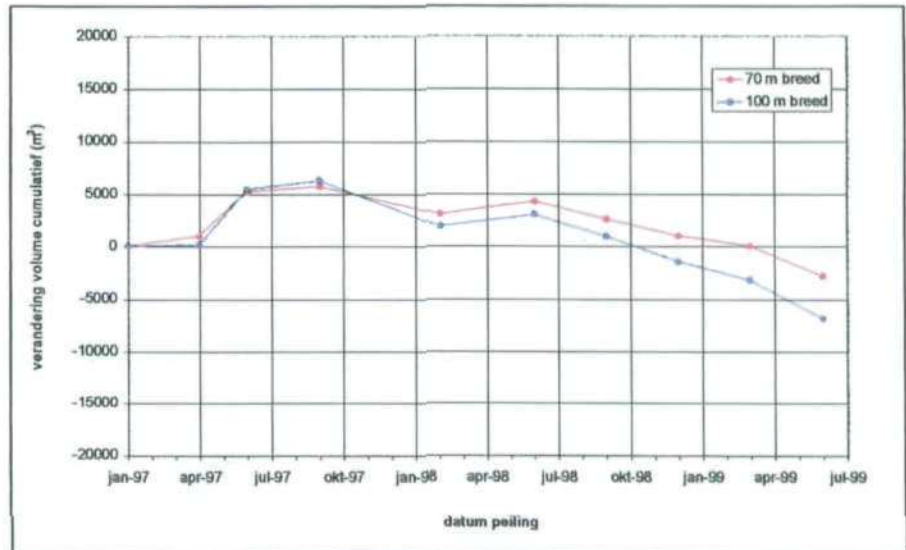
#### Erosie en sedimentatie rond brugpijler Mook (km 164 -167)

De benedenstroomse begrenzing van deeltraject 2a ligt in kilometervak 164-165, en op grond van de theorie zou hier, bij uniform bodemmateriaal, erosie verwacht mogen worden. Inderdaad laten Figuur 8 en Figuur 9 tussen januari 1997 en juni 1999 een afname van de gemiddelde bodemhoogte zien van 0,05 m, overeenkomend met ca. 5.000 m<sup>3</sup> bodemmateriaal. De cumulatieve volumeverandering van kilometervak 164-165 in de tijd laat zowel over 70 als



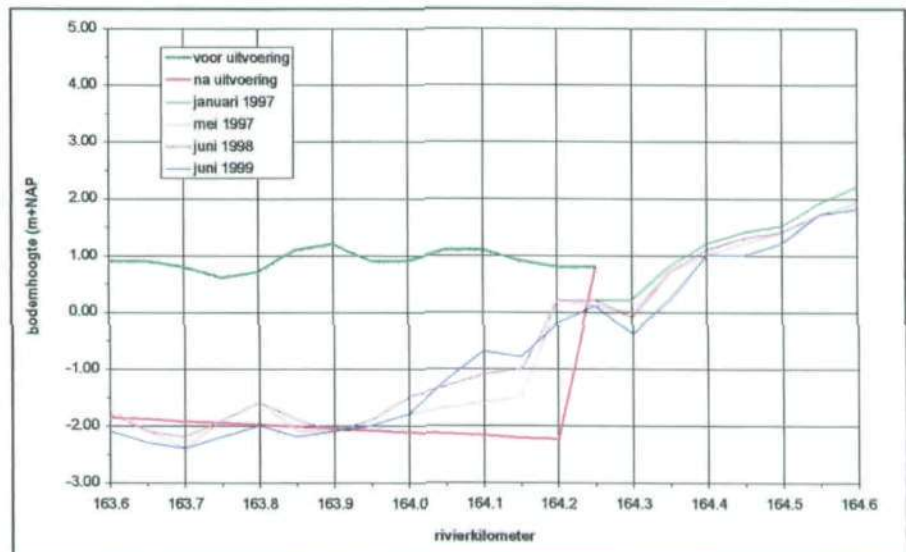
100 m breedte na een aanvankelijke aanzanding, een lichte trend tot erosie zien, zie Figuur 15. De veranderingen zijn echter zo gering, dat ze in de orde van de meetnauwkeurigheid liggen, en daarom niet significant hoeven te zijn. De erosie wordt bovendien deels afgeremd door de 75 m brede stortlaag op de kabels en leidingen bij km 164,9.

**Figuur 15** Cumulatieve  
volumeverandering  
kilometervak 164-165.



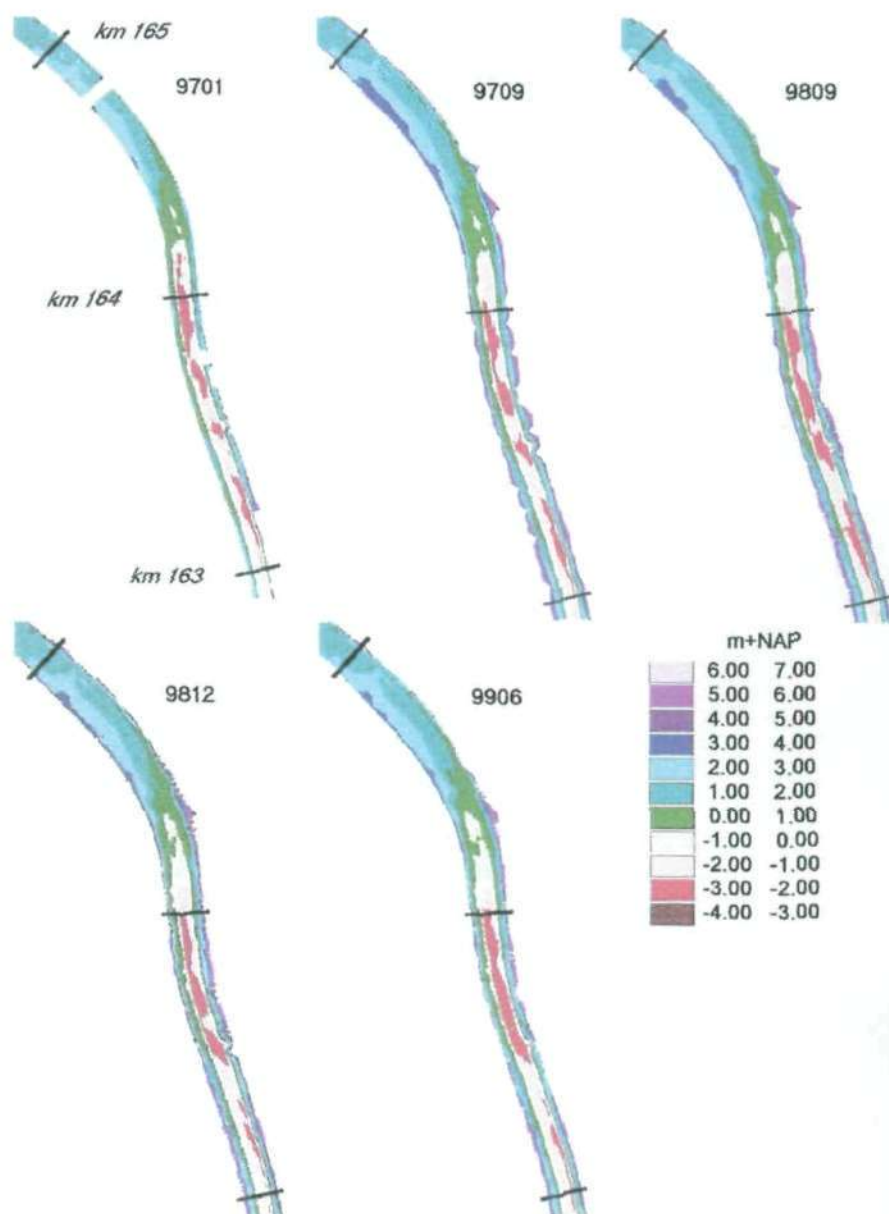
De DTM's van Figuur 17 duiden niet op netto erosie, maar laten eerder het flauwer worden van het front zien. Dit wordt bevestigd door de lengteprofielen over de rivieras in Figuur 16. Ook nu weer treden de grootste veranderingen op in het eerste jaar na aanleg.

**Figuur 16** Lengteprofielen rivieras km  
164.



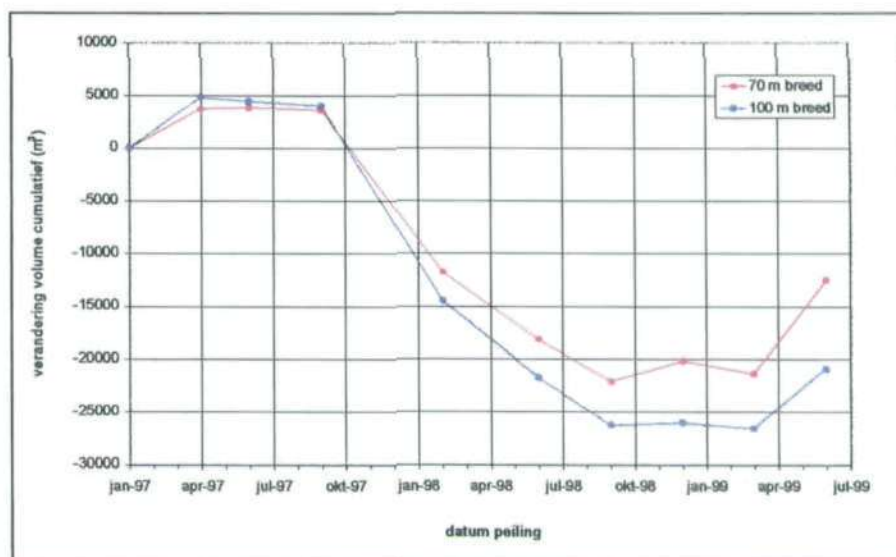


**Figuur 17** Bodemontwikkeling rond km 164.

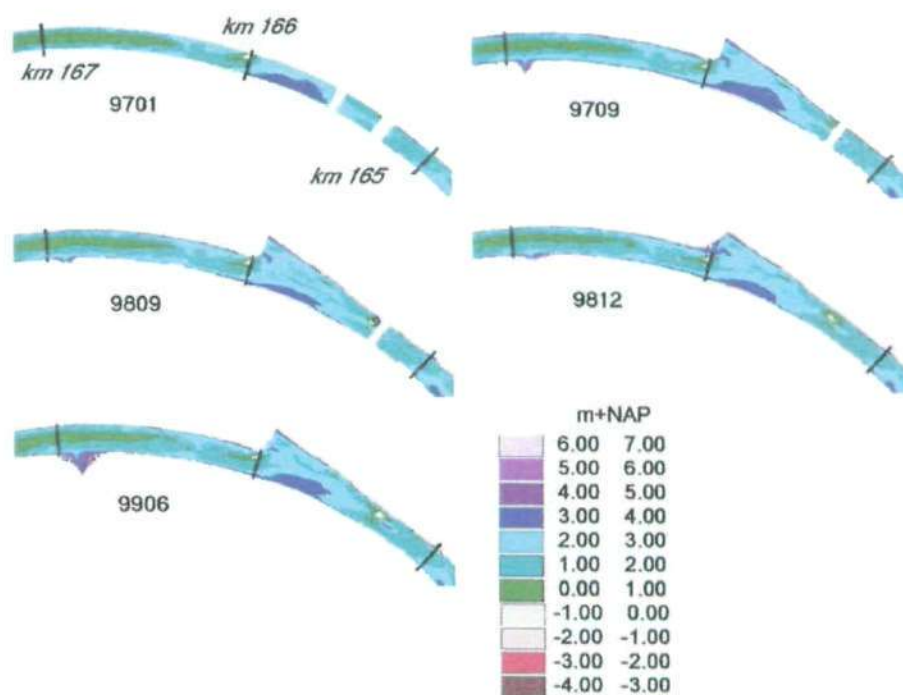


In kilometervak 165-166 zijn, afgezien van extra bestorting om de brugpijler, bij de uitvoering van het 1<sup>e</sup> baggerbestek geen werkzaamheden uitgevoerd. De vernauwing van het doorstroomprofiel als gevolg van de hogere bodemligging en de lagere waterstanden, zorgt voor hogere stroomsnelheden en een toegenomen transportcapaciteit. Dit resulteert in een netto bodemdaling van 0,20 m. De grootste verandering is opgetreden in de periode september 1997 - september 1998, zie Figuur 18. Nadien heeft de bodemligging zich gestabiliseerd.

**Figuur 18** Cumulatieve  
volumeverandering  
kilometervak 165-166.

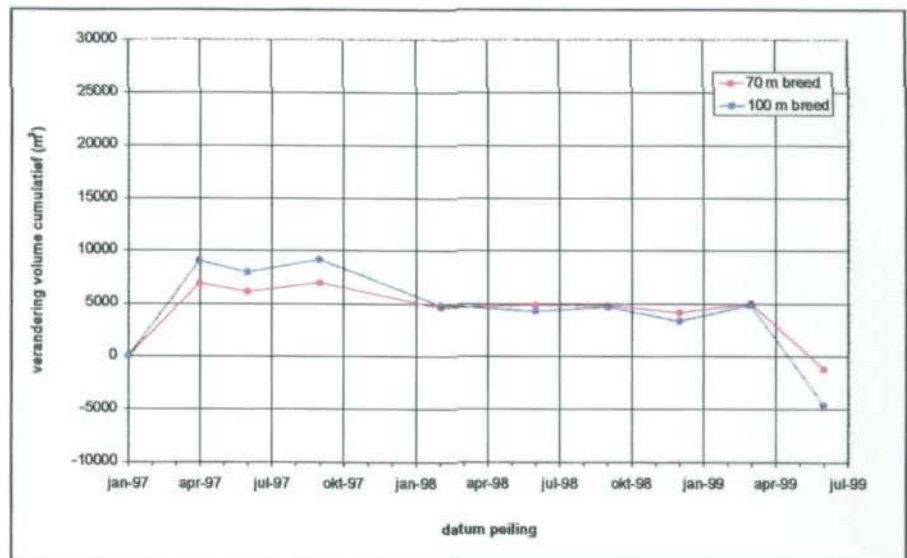


**Figuur 19** Bodemontwikkeling rond km  
166.

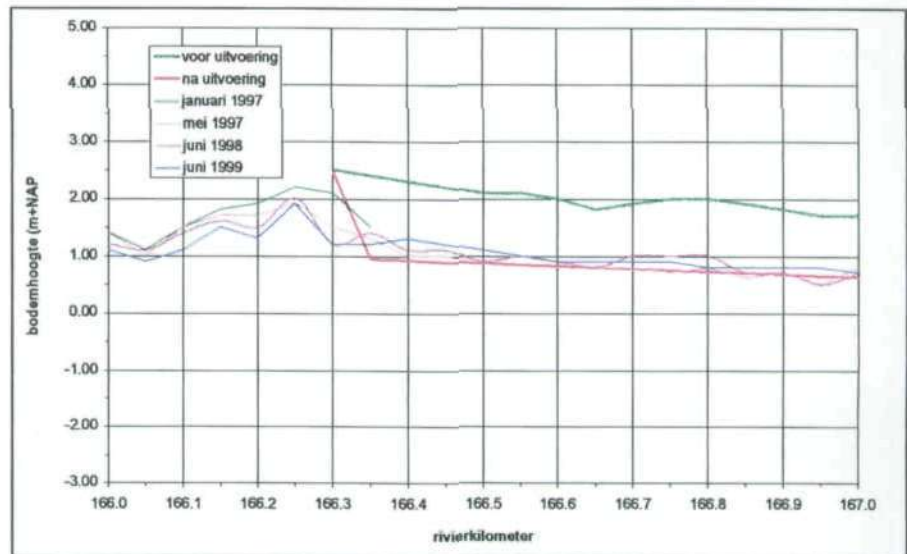


De bovenstroomse begrenzing van deeltraject 2b ligt in kilometervak 166-167. Analoog aan de bovenstroomse begrenzing van deeltraject 2a zou hier een sedimentatiefront verwacht mogen worden, maar uit Figuur 20 blijkt dat de bodem hier opmerkelijk stabiel is, zowel over 70 als 100 m breedte. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat al het grove sediment dat het front zou moeten vormen al op deeltraject 2a is afgevangen. In de DTM's van Figuur 19 is te zien dat de bovenstroomse begrenzing van deeltraject 2b in de loop van de tijd vervaagt. Dit beeld wordt bevestigd door Figuur 21, waar het lengteprofiel over de rivieras is uitgezet. Te zien is dat de helling van het front in de loop van de tijd flauwer wordt.

**Figuur 20** Cumulatieve  
volumeverandering  
kilometervak 166-167.



**Figuur 21** Lengteprofielen rivieras km  
166.



#### Benedenstroomse deel van het baggervak (km 167 - 174)

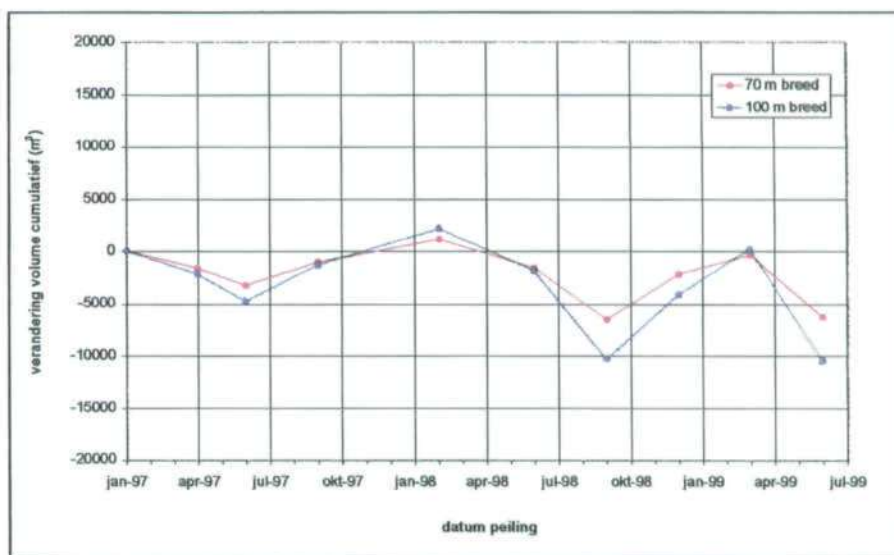
Uit Figuur 8 blijkt dat op deeltraject 2b over een breedte van 70 m een aanzanding heeft plaatsgevonden in de orde van 0,15 m. Het is niet waarschijnlijk dat de aanzanding bestaat uit het fijnkorrelige materiaal dat op deeltraject 2a is geërodeerd, omdat de stroomsnelheden, en dus de transportcapaciteit, benedenstrooms in het baggervak groter zijn dan bovenstrooms. Wanneer wordt gekeken naar een breedte van 100 m in plaats van 70 m (Figuur 9), dan blijkt dat op deeltraject 2b in het geheel geen verandering in bodemligging heeft plaatsgevonden. De verklaring hiervoor is dat op deeltraject 2b de taluds van de baggergeul zijn uitgezakt, waardoor sediment van de niet verdiepte stroken tussen de baggergeul en de oevers in de baggergeul terecht is gekomen. De baggergeul zandt hierdoor aan, maar netto is er geen verandering in de gemiddelde bodemligging over het hele dwarsprofiel. De gebaggerde verruiming van het doorstroomprofiel is nog steeds aanwezig, maar is alleen anders over het dwarsprofiel verdeeld. Dit is ook goed te zien op de verschilkaart van de peilingen van januari 1997 en juni



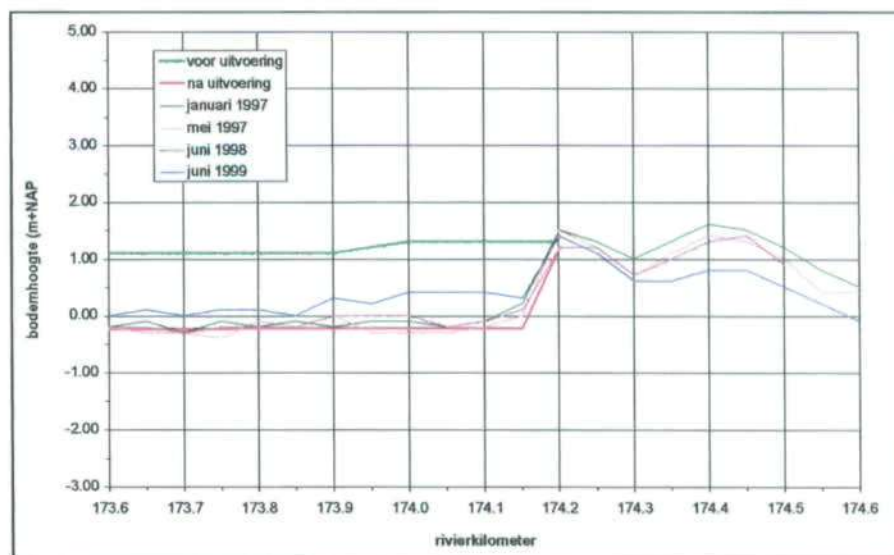
1999 in bijlage 4: rond de rivieras aanzanding, nabij de oevers erosie. Het flauwer worden van taluds komt op het benedenstroomse deeltraject 2b op veel grotere schaal voor dan op het bovenstroomse deeltraject 2a: bij recente peilingen is de baggergeul op veel plaatsen zelfs niet meer als zodanig in het dwarsprofiel te herkennen. Een verklaring voor dit verschil moet worden gezocht in de samenstelling van het bodemmateriaal op het benedenstroomse traject, in combinatie met de hogere stroomsnelheden.

Als gevolg van het inzakken van de gebaggerde taluds, neemt de hoogte van de oever met maximaal 0,50 m toe tot ca. 9,5 m. Omdat deze toename relatief gering is, en omdat de verdieping reeds enige jaren bestaat zonder dat oevers instabiel zijn geworden, mag worden aangenomen dat geen acuut gevaar bestaat voor verlies van oeverstabiliteit.

**Figuur 22** Cumulatieve volumeverandering kilometervak 174-175.



**Figuur 23** Lengteprofielen rivieras km 174.

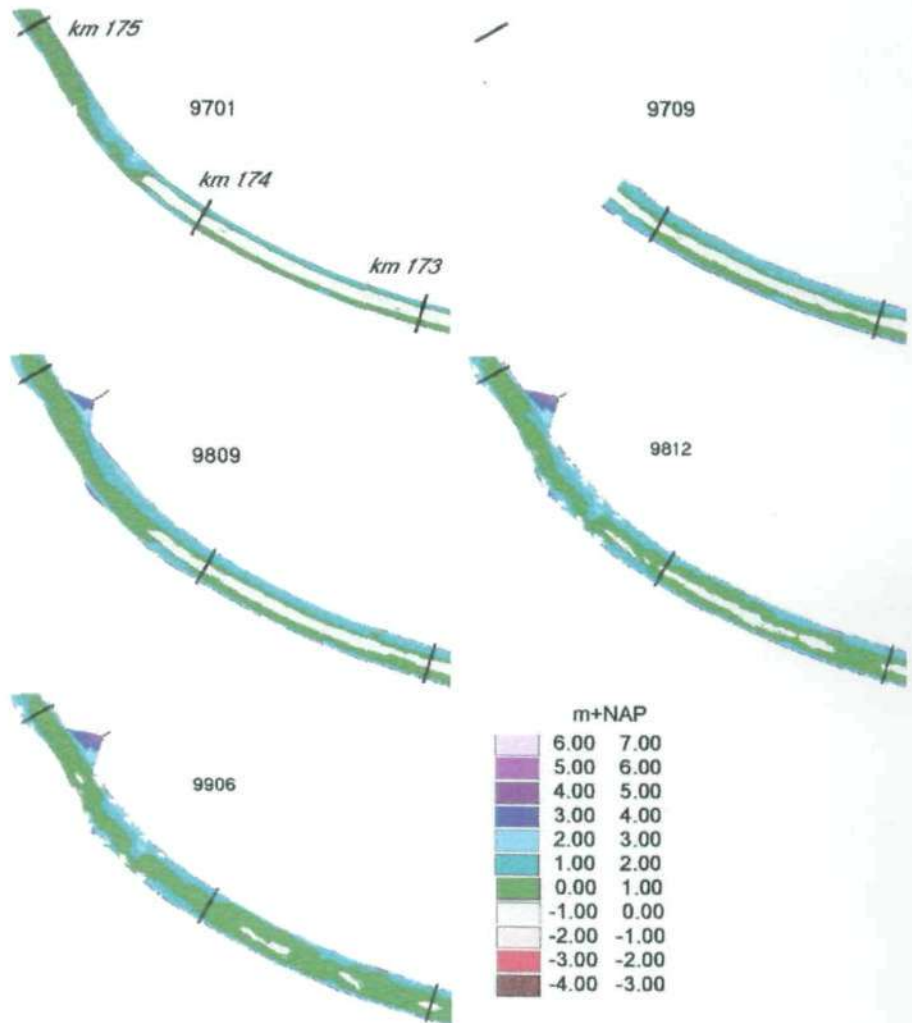


### Erosiefront benedenstroomse begrenzing (km 174 - 175)

In kilometervak 174-175 bevindt zich de benedenstroomse begrenzing van het baggertraject, en hier nemen de stroomsnelheden weer toe. Uit Figuur 22 blijkt dat conform de verwachting erosie plaatsvindt, zij het dat de veranderingen in de orde van de meetnauwkeurigheid liggen. De begrenzing van het baggervak ligt bij km 174,2 en de 50 m brede stortlaag over de kabels en leidingen begint slechts 25 m benedenstrooms van de begrenzing. De stortlaag stabiliseert daarmee het talud in langsrichting, en erosie vindt dan ook vooral plaats benedenstrooms van de bestorting, zie Figuur 23.

In Figuur 24 is de bodemontwikkeling in de tijd rond km 174 gegeven. De baggergeul is op vroege opnamen nog duidelijk herkenbaar, maar vervaagt na verloop van tijd. Vanwege de resolutie van de schaal (1 meter) is het lager worden van het gebied tussen oever en baggergeul in Figuur 24 niet zien.

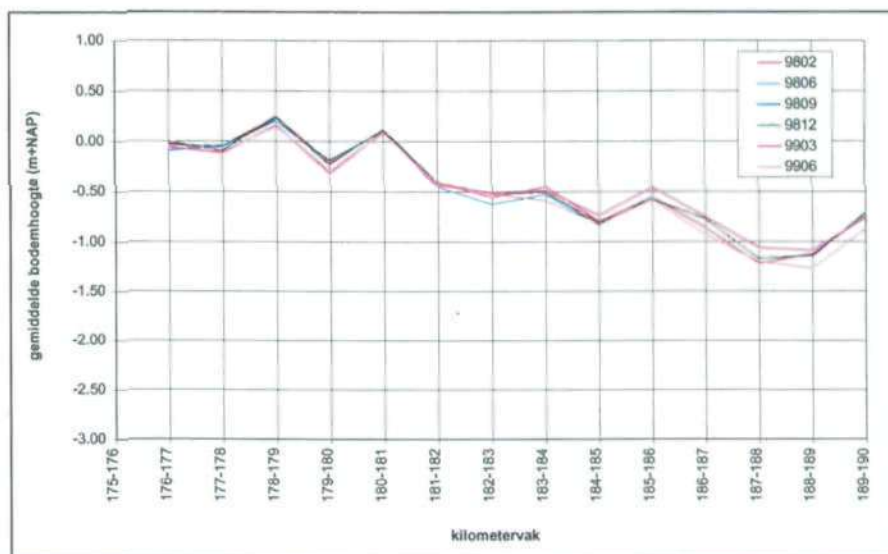
Figuur 24 Bodemontwikkeling rond km 174.



### Benedenstrooms van het baggervak (km 176 - 190)

In Figuur 25 is de bodemligging benedenstrooms van het baggervak uitgezet op verschillende momenten in de tijd. Er blijkt uit dat tussen km 175 en km 190 de bodemligging stabiel is. Het uit het baggervak geërodeerde materiaal is hier niet afgezet, waarschijnlijk omdat het daarvoor te fijn van samenstelling is, en omdat de stroomsnelheden hier relatief hoog zijn.

**Figuur 25** Bodemontwikkeling benedenstrooms van km 176.







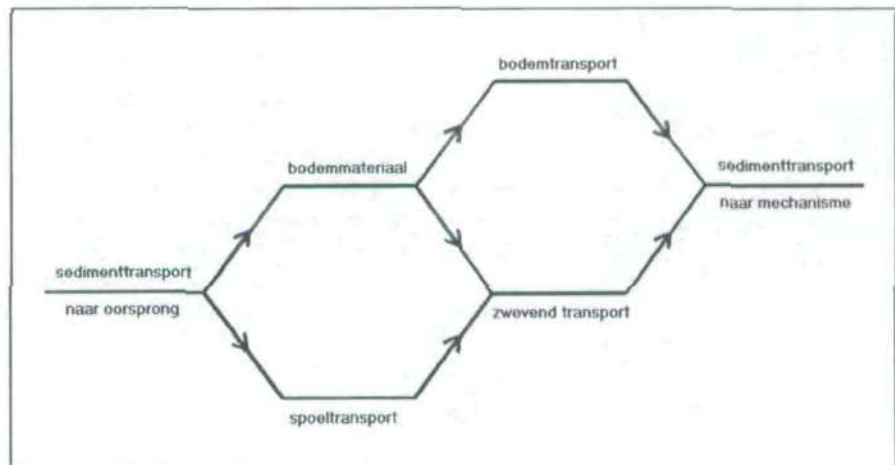
## 3 Sedimenttransport

### 3.1 Inleiding

De verruiming van de Zandmaas heeft grote morfologische veranderingen tot gevolg. Hoe het verloop van deze veranderingen in de tijd zal zijn, kan worden berekend met een morfologisch model. Om dit model te kunnen afregelen dient men, naast informatie over de bodemontwikkeling, de beschikking te hebben over de grootte van het sedimenttransport als functie van de afvoer. Over het sedimenttransport in de Zandmaas is echter relatief weinig bekend. Een schatting van de jaarvrucht op een aantal locaties op basis van in de jaren vijftig en zestig uitgevoerde metingen, is te vinden in (Gerritsen, 1968). Voor zover bekend zijn op de Zandmaas nadien pas weer in het kader van de monitoring van het 1<sup>e</sup> baggerbestek metingen naar het sedimenttransport uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden alle metingen gepresenteerd, die in het kader van de monitoring van het 1<sup>e</sup> baggerbestek zijn uitgevoerd. Ook de metingen van februari/maart 1997, waarover reeds in (Wolters, 1998) is gerapporteerd, worden opnieuw beschouwd, omdat inzichten uit latere metingen een heroverweging van de resultaten wenselijk maken.

Bij sedimenttransport wordt onderscheid gemaakt naar de aard van het materiaal en naar het transportmechanisme, zie bijvoorbeeld (Jansen, 1979). Ook voor de Maas is het van belang dit onderscheid te maken. In Figuur 26 is de indeling schematisch weergegeven.

Figuur 26 Indeling sedimenttransport.



Het bodemmateriaal is de grove fractie van het sedimenttransport, dat deelneemt aan erosie- en sedimentatieprocessen van de bodem. Dit in tegenstelling tot het spoeltransport (wash load), dat door de rivier wordt afgevoerd zonder dat dit van invloed is op de bodemligging. Het grofkorreligste bodemmateriaal verplaatst zich als bodemtransport (bed load) rollend en schuivend op een afstand tot enkele centimeters boven de bodem, de fijnere fractie wordt hoger in de waterkolom als zwevend transport (suspended load)

getransporteerd. Spoeltransport wordt altijd als zwevend transport afgevoerd, en heeft in tegenstelling tot het transport van bodemmateriaal geen relatie met de transportcapaciteit van de stroming. De grens tussen bodem- en zwevend transport, of tussen bodemmateriaal en spoeltransport is niet scherp te trekken, omdat dit voor een deel afhangt van de stromingsomstandigheden. Wat bijvoorbeeld bij hoge stroomsnelheden nog zwevend transport is, kan bij lage snelheden bodemtransport worden. Slib is in de regel spoeltransport.

In (Gerritsen, 1968) is voor het sedimenttransport op de Maas een iets andere classificatie van het sedimenttransport aangehouden, namelijk:

- Spoeltransport Transport in de laag tussen 40 cm boven de bodem en het wateroppervlak, gemeten met de Delftse Fles (1).
- Sleeptransport Transport in de laag tussen 10 en 40 cm boven de bodem, gemeten met de Delftse Fles (2).
- Bodemtransport Transport in de laag tot 10 cm boven de bodem, gemeten met de BTMA.

Bij deze indeling bestaat het spoeltransport deels wel uit bodemmateriaal, en neemt dus deel aan de morfologische processen van het zomerbed. Dit verschil wordt hier aangestipt, omdat het van belang is bij het vergelijken van de nu behaalde meetresultaten met die uit (Gerritsen, 1968), zie paragraaf 3.5.

### 3.2 Uitgevoerde metingen

Aanvankelijk was het de bedoeling om op basis van de bodemontwikkeling en gemeten in- en uitgaande zandtransport balansberekeningen voor het baggervak uit te voeren. Bij de eerste meetcampagne (februari/maart 1997) zijn daarom bovenstrooms (km 141,3) en benedenstrooms (km 183,5) van het baggervak transportmetingen uitgevoerd, en ter controle ook in het baggervak zelf (km 158,8). De spreiding in de meetdata bleek echter een orde groter te zijn dan het te verwachten verschil tussen in- en uitgaand transport, en bovendien gingen veel meetdagen verloren met pendelen van het meetvaartuig tussen de meetlocaties. Met ingang van het hoogwaterseizoen 1997/1998 is daarom alleen nog maar op km 141,3 gemeten, de locatie die het meest centraal in het projectgebied van de MER-Zandmaas ligt. De meetlocaties en het aantal uitgevoerde metingen per locatie zijn aangegeven in Tabel 3. Een overzicht van de meetcampagnes in relatie tot het afvoerverloop van de Maas is gegeven in Figuur 5. De metingen van februari/maart 1997 zijn uitgevoerd door de Meetdienst van de Directie Zeeland, alle overige metingen door de Meetdienst van de Directie Limburg. In bijlage 1 is een lijst datarapporten opgenomen met de meetgegevens van de sedimenttransportmetingen en de boringen.

**Tabel 3** Aantal zandtransportmetingen per locatie.

nummer	periode	km 141,3	km 158,8	km 183,5	totaal
1	februari/maart 1997	6	1	2	9
2	januari 1998	5	-	-	5
3	november 1998	7	-	-	7
4	februari/maart 1999	12	-	-	12
	<i>totaal</i>	30	1	2	33

Tijdens alle campagnes zijn metingen uitgevoerd naar het bodemtransport en het zwevend transport. Aanvankelijk zouden transportmetingen uitgevoerd



moeten worden bij afvoeren van meer dan  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ , maar op grond van de geringe vangsten bij afvoeren net boven  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  tijdens de metingen van februari/maart 1997 is dit criterium bijgesteld naar  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ . De metingen zijn uitgevoerd vanaf een meetvaartuig in 5 verticalen per meetlocatie. Het doormeten van één raai kost een volledige werkdag, waarbij de bodemtransportmetingen maatgevend bleken voor de totale duur van de meting. Omdat de metingen in het najaar en de winter plaatsvinden, is het aantal uren daglicht, en dus het aantal werkbare uren per dag, niet erg groot. Uitbreiding van het aantal metingen per dag is daarom geen optie. Op 28 februari 1997 zijn door materiaalproblemen maar een tweetal bodemtransportmetingen uitgevoerd, en in het geheel geen zwevend transportmetingen. Deze meetdag is in Tabel 3 wel meegeteld, maar wordt bij het uitwerken van de metingen verder buiten beschouwing gelaten. De metingen die zijn uitgevoerd op km 158,8 (16 februari 1997) en op km 183,5 (17 en 18 februari 1997) worden in dit rapport wel beschreven, maar de gemeten transporten worden niet gebruikt bij het iken van de transportformule.

Figuur 27 Meting met de Helley-Smith.



Het bodemtransport is gemeten met een Helley-Smith (opening  $75 \times 75 \text{ mm}$ ), waarbij per verticaal de meting 10 maal is herhaald. Bij testmetingen in 1996 is getracht de optimale duur van het meetinterval met behulp van een onderwatercamera te bepalen, maar vanwege de troebelheid van het water bleek dit niet mogelijk. In het vervolg is de duur van het meetinterval (ca. 3 minuten) proefondervindelijk vastgesteld. De verwerking van de Helley-Smithmonsters is uitbesteed aan een grondmechanisch bureau. Hier zijn van iedere vangst het natte volume bepaald, en per verticaal zijn de vangsten van de 10 metingen samengevoegd tot een mengmonster. Uit dit mengmonster is een deelmonster getrokken, waarvan de korrelverdeling is bepaald. Incidenteel is voorafgaand aan de transportmetingen ter plaatse van de meetraai over enige honderden meters een langspeiling uitgevoerd om een kwalitatieve indruk te krijgen van de golflengte van de beddingvormen. Dit kan van belang zijn bij de interpretatie van de bodemtransportmetingen. Een grote duinlengte kan leiden tot systematische meetfouten, als bijvoorbeeld steeds in het dal van het duin wordt gemeten.

Figuur 28 Meting met de AZTM.

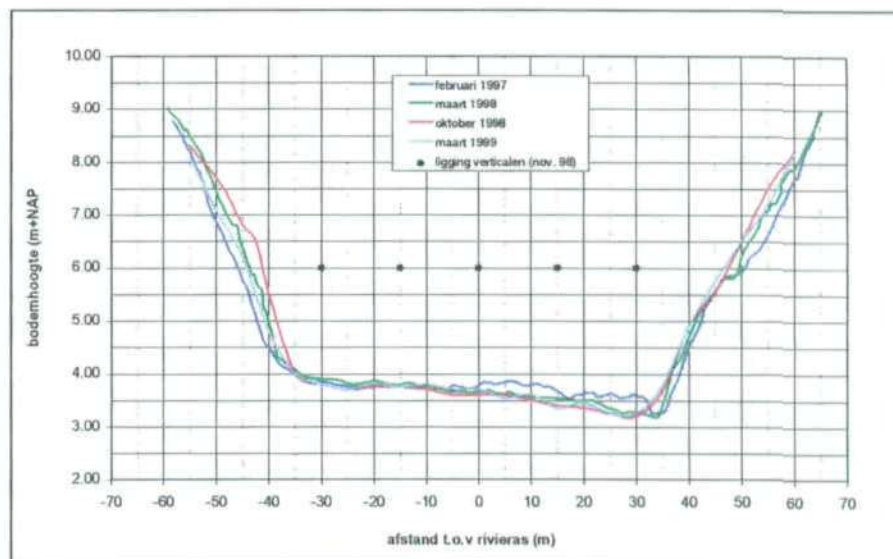


Het zwevend transport is gemeten met een AZTM (Akoestische ZandTransportMeter). Dit apparaat registreert het passeren van zandkorrels aan de hand van de verstrooiing van een geluidssignaal. Slib wordt op deze manier niet gemeten. Per verticaal is op diepte-intervallen van 1 m een meting uitgevoerd, nabij de bodem op diepte-intervallen van 0,5 m. Per verticaal worden zo ca. 10 punten doorgemeten, en iedere verticaal wordt twee keer doorgemeten. Tegelijk met de zandconcentratie wordt met de AZTM de stroomsnelheid gemeten. Ter calibratie van de AZTM zijn per verticaal met een pomp watermonsters genomen, om daarvan in een laboratorium het zandgehalte te bepalen. De uitvoerende Meetdienst (Zeeland, Limburg) heeft de AZTM-gegevens verwerkt tot concentratie- en snelheidsprofielen per meetpunt.

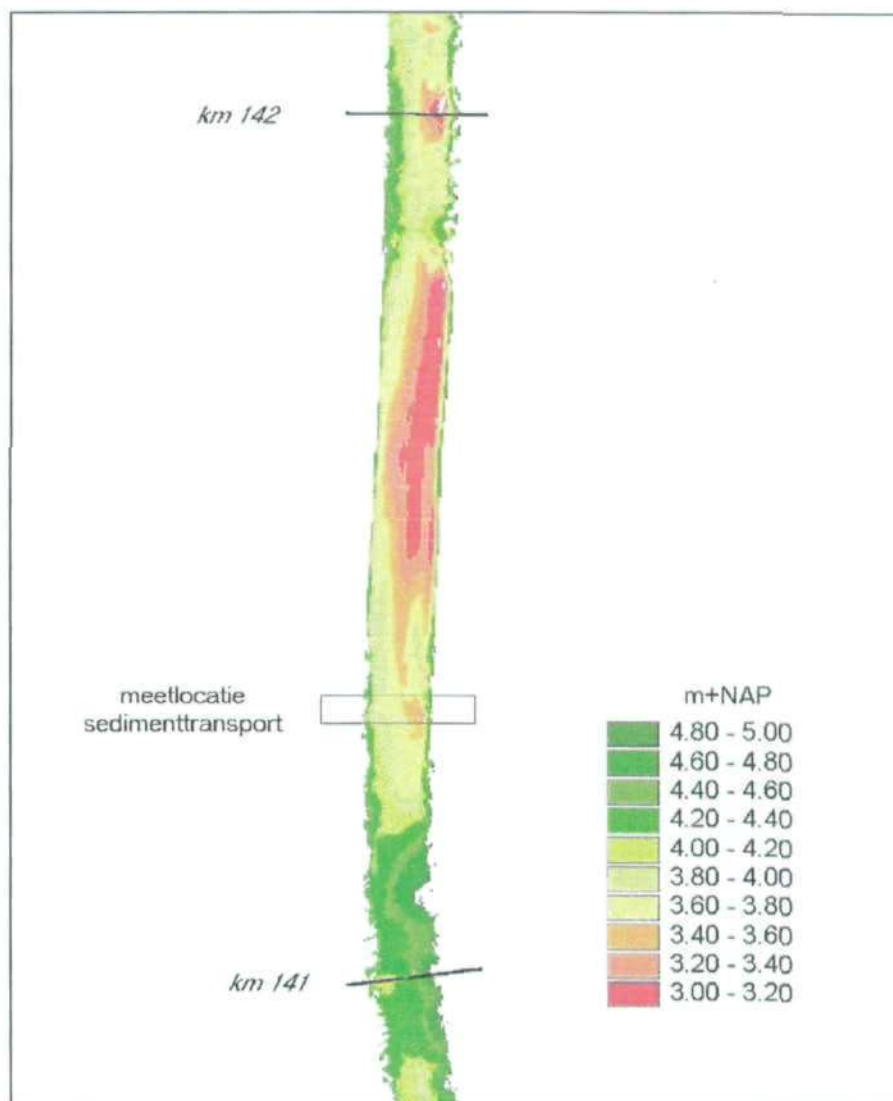
### 3.3 Resultaten transportmetingen

In deze paragraaf worden de meetgegevens verwerkt tot transporten. Alle metingen worden gerelateerd aan de dwarsdoorsnede ter plaatse van km 141,3. In Figuur 29 zijn per campagne de gemeten dwarsprofielen ten tijde van de transportmeting gegeven, met daarin aangeduid de globale positie van de vijf meetverticalen. Per meetdag kan de werkelijke positie hiervan enige meters afwijken. In Figuur 30 is een bovenaanzicht gegeven van de bodemligging in de omgeving van de meetlocatie. De bodem op de meetlocatie is redelijk vlak, met een helling in dwarsrichting van 1:100.

Figuur 29 Dwarsprofielen km 141,3.



Figuur 30 Bodemligging km 141-142 (peiling februari 1998).





### 3.3.1 Bodemtransport (Helley-Smith)

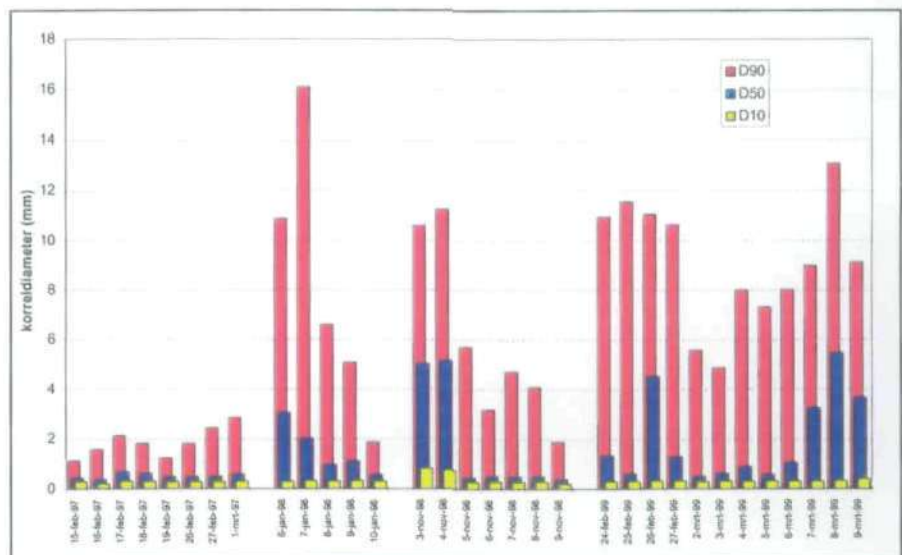
Van de 10 metingen per punt zijn de transporten gemiddeld en uitgedrukt per eenheid van breedte. Het totale bodemtransport wordt berekend door de puntwaarneming te vermenigvuldigen met een representatieve breedte, gerelateerd aan de afstand tussen de verticalen volgens Figuur 29. Conform (Wolters, 1998) is hierbij aangenomen dat het transport nul is op de knikpunten van het profiel. In (WL, 1997) worden correctiefactoren gegeven voor verschillende typen Helley-Smith. De correctiefactor blijkt afhankelijk te zijn van de stroomsnelheid, zie Tabel 4

**Tabel 4** Correctiefactoren Helley-Smith Zand (zonder camera).

stroomsnelheid (m/s)	correctiefactor (-)
0,8	1,22504
0,9	1,09310

Omdat de metingen bij hogere stroomsnelheden zijn uitgevoerd (nabij de bodem ongeveer 1 m/s) wordt geconcludeerd dat de correctiefactor in dat geval om en nabij de 1,0 zal zijn. In dit onderzoek is er daarom voor gekozen de metingen niet te corrigeren. De uitgewerkte waarden voor het bodemtransport zijn in tabelvorm opgenomen in bijlage 2.

**Figuur 31** Kenmerkende korreldiameters, gemiddeld per dag.

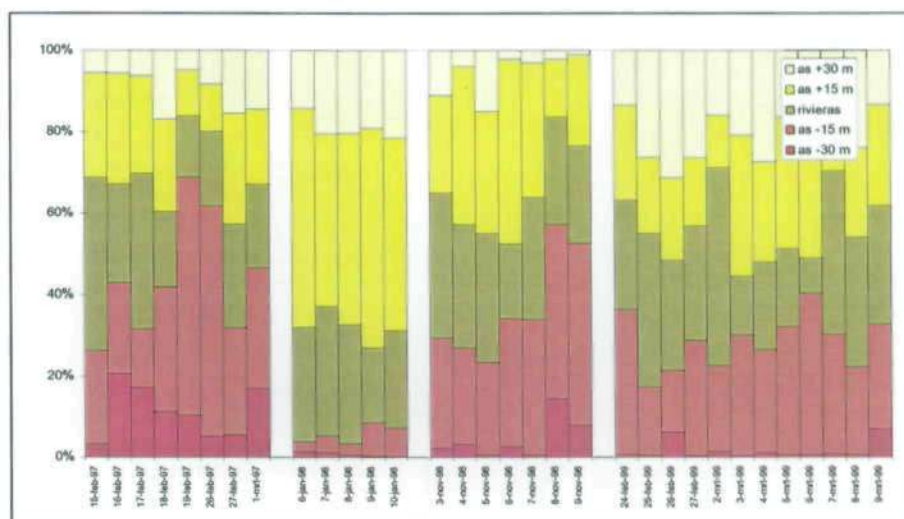


1997 fijner, en daarmee ook het daggemiddelde. Een derde verklaring is dat in 1997 is gemeten op km 141,4 en de andere jaren op km 141,3, en dat de sedimentsamenstelling over deze 100 m sterk varieert. De ruwe meetgegevens zijn opgenomen in bijlage 2, in Tabel 5 is een samenvatting gegeven.

**Tabel 5** Periodegemiddelde korreldiameters bodemtransport.

nummer	periode	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>m</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)
1	februari/maart 1997	0,28	0,53	0,70	1,88
2	januari 1998	0,32	1,55	2,29	8,11
3	november 1998	0,42	1,81	2,18	5,93
4	februari/maart 1999	0,33	2,00	2,94	9,10
	totaal	0,34	1,52	2,11	6,45

**Figuur 32** Relatieve bijdrage per meetpunt aan het bodemtransport.



In Figuur 32 is per meetdag de relatieve bijdrage van elk van de 5 meetpunten aan het totale bodemtransport uitgezet. Opvallend is de geringe bijdrage van het meeste linkse meetpunt in het dwarsprofiel (as -30 m, donkerbruin), hetgeen in lijn is met het aanzienlijk grovere sediment op dit meetpunt in vergelijking met de overige vier, zie Figuur 33. Een mogelijke verklaring voor deze afwijking is dat in de bocht naar rechts tussen km 139,5 - 141,0 uitzeving van bodemtransport plaatsvindt, waarbij grof materiaal zich aan de diepe linkeroever voorbeweegt, en fijn materiaal aan de ondiepe rechteroever. Dit effect kan najlen tot op de meetraai (km 141,3).

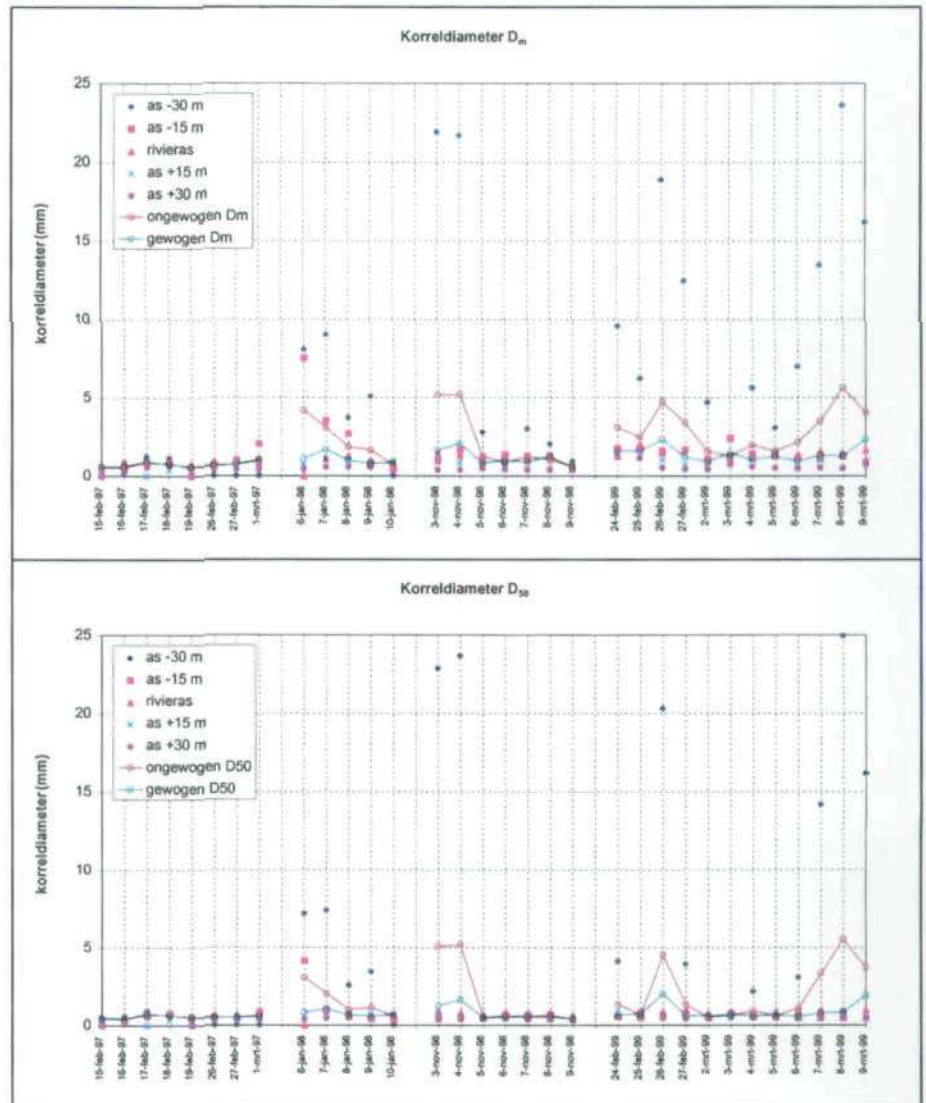
**Tabel 6** Korreldiameters (mm) wel en niet gewogen naar transport.

nummer	periode	niet gewogen		wel gewogen	
		D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>
1	februari/maart 1997	0,70	0,53	0,78	0,55
2	januari 1998	2,29	1,55	1,05	0,72
3	november 1998	2,18	1,81	1,28	0,89
4	februari/maart 1999	2,94	2,00	1,43	0,88
	gemiddeld	2,11	1,52	1,30	0,83

Bij het afleiden van een transportformule wordt gewerkt met één kenmerkende korreldiameter per meetdag, de D<sub>m</sub> of de D<sub>50</sub>. Bij het berekenen van een

ongewogen gemiddelde van de korreldiameter over de vijf meetpunten, telt het meetpunt aan de linkeroever relatief zwaar mee, hoewel het zandtransport daar laag is. Als alternatieve berekeningswijze is daarom de korreldiameter gewogen met het bodemtransport op het betreffende punt, zie Figuur 33 en Tabel 6.

Figuur 33 Korreldiameters  $D_m$  en  $D_{50}$  bodemtransport.



### 3.3.2 Zwevend transport (AZTM)

In Figuur 34 zijn de resultaten van de ijkmonsteranalyse van januari 1998 weergegeven. Net als bij de metingen van februari/maart 1997 is er een grote spreiding in de gegevens. Bij de meetcampagnes van november 1998 en februari/maart 1999 was het niet mogelijk om een ijklijn op te stellen, omdat de monsters geen fractie groter dan  $35 \mu\text{m}$  bevatte, dus ook geen zand. Uit ervaringen op de Waal is gebleken dat de monsternamen in het veld over het algemeen niet betrouwbaar is door het slecht functioneren van de pomp (Kleinhans, 1999). Onder laboratoriumomstandigheden blijkt dat de grote spreiding niet veroorzaakt wordt door de AZTM meetapparatuur, en dat de AZTM zelfs zeer betrouwbaar is. Daarom is besloten om geen gebruik te maken van de ijklijnen die zijn gebaseerd op de veldmetingen, maar ijkgegevens te

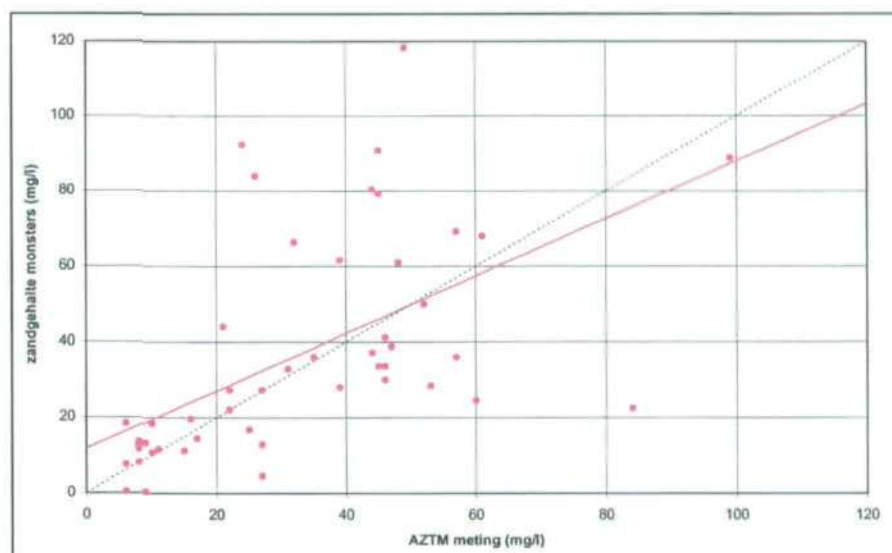


gebruiken die in het laboratorium zijn bepaald, zie Tabel 7. Deze ijklijnen zijn bepaald uit metingen in zoet water met een temperatuur van 15 °C ( $K_t=1$ ), en geldig vanaf 53  $\mu\text{m}$ . Per meetcampagne is de ijklijn is aangepast naar de omstandigheden tijdens de meting, met name de temperatuur.

Tabel 7 Gebruikte ijklijnen voor de AZTM-metingen.

nummer	meetperiode	ijklijn
1a	15 - 19 februari 1997	$y = 1,1533 x - 1,6079$
1b	26 februari - 1 maart 1997	$y = 1,1141 x - 1,3389$
2	januari 1998	$y = 1,9996 x + 0,2390$
3	november 1998	$y = 1,1600 x - 10,6800$
4a	24 - 27 februari 1999	$y = 1,2100 x - 11,4000$
4b	2 - 9 maart 1999	$y = 1,1800 x - 11,4000$

Figuur 34 Ijkmonsters januari 1998.

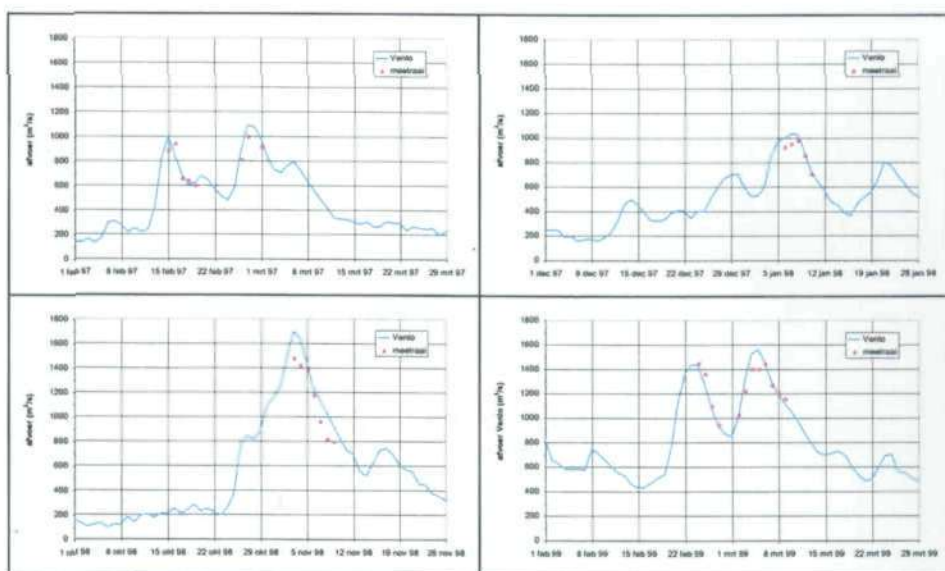


Door vermenigvuldiging met de stroomsnelheid zijn de puntconcentraties omgezet in fluxen. Door vermenigvuldiging van de flux en stroomsnelheid met een deeloppeervlak en sommatie van de deeloppeervlakken over de doorsnede, worden resp. het zwevend transport en het debiet gevonden. Voor het gedeelte van het dwarsprofiel tussen de buitenste verticalen en de oever (zie Figuur 29) is aangenomen dat de concentratie op de knikpunten van het profiel gelijk is aan de dichtstbijzijnde vertikaal, en dat het debiet van het knikpunt richting de oever lineair afneemt tot nul. De op basis van AZTM-metingen bepaalde debieten komen goed overeen met het gemeten debiet van de ADM bij Venlo, zie Figuur 35. In het onderstaande zal het op de meetraai berekende debiet worden gebruikt voor het afleiden van een relatie tussen afvoer en sedimenttransport.

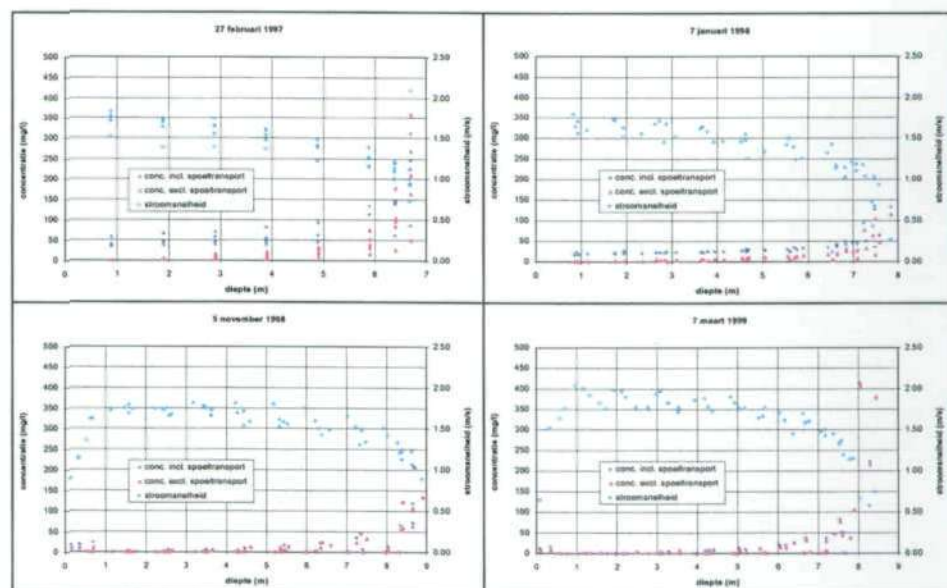
Zwevend transport bestaat deels uit bodemmateriaal en deels uit spoeltransport. De fijnste zandfractie wordt door de AZTM wel geregistreerd, maar is voor de morfologische ontwikkeling van het zomerbed te beschouwen als spoeltransport in de betekenis van Figuur 26. Zwevend transport dat morfologisch actief is, moet een gradiënt vertonen in de concentratieverticaal. Alleen dan kan er uitwisseling van materiaal optreden tussen bodem en waterkolom. Is er geen concentratieverloop over de diepte, dan is de

transportcapaciteit van de stroming kennelijk niet maatgevend voor de sedimentconcentratie, en leiden veranderingen in het snelheidsprofiel niet tot veranderingen in concentratie. Er is dan sprake van spoeltransport. Op grond van deze overwegingen kan het aandeel spoeltransport worden geschat door te kijken waar de concentratieverticaal geen gradiënt meer vertoont. Ter illustratie is in Figuur 36 voor elk van de vier meetcampagnes het concentratie- en stroomsnelheidsverloop over de verticaal op een representatieve meetdag uitgezet.

Figuur 35 Afvoerverloop en gemeten afvoeren per campagne.



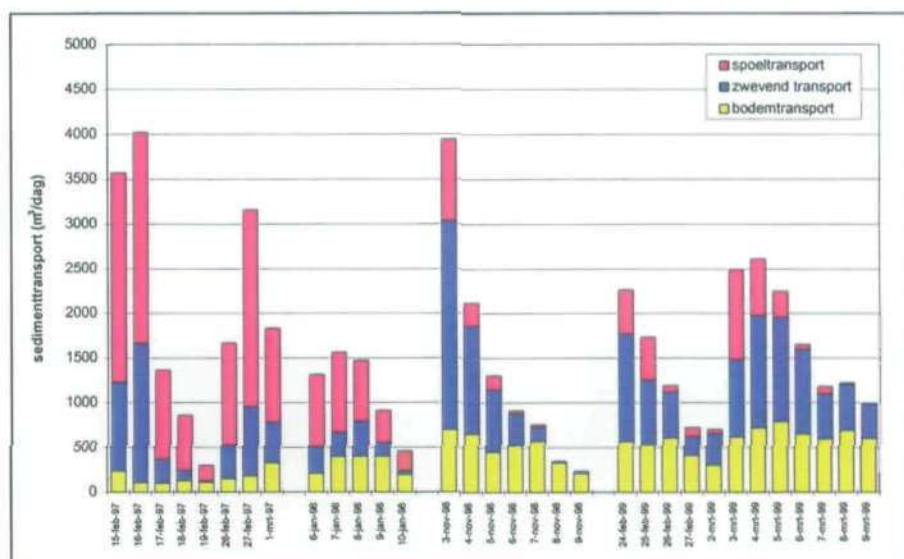
Figuur 36 Concentratie- en snelheidsverticalen AZTM.



De AZTM-metingen zijn voor zwevend transport gecorrigeerd door het gemiddeld gemeten transport in de bovenste 2 meter van de waterkolom af te trekken van de gemeten concentratie. Vooral de metingen van februari/maart 1997 en januari 1998 laten relatief hoge concentraties spoeltransport zien. In Figuur 37 is per meetdag de verhouding aangegeven tussen bodemtransport, zwevend bodemmateriaal en spoeltransport. In de meetcampagnes van

november 1998 en februari/maart 1999 is een zekere hysteresis waar te nemen in het aandeel spoeltransport. Het spoeltransport is aan het begin van de meetcampagne merkbaar hoger dan later. Kennelijk treedt tijdens een hoogwatergolf uitputting op in de levering van materiaal. De meetcampagnes van februari/maart 1997 en januari 1998 vertonen dit uitputtingsverloop niet, mogelijk omdat deze afvoergolven relatief laag waren (orde 1.000 m<sup>3</sup>/s) in vergelijking met die van november 1998 en februari/maart 1999 (orde 1.400 m<sup>3</sup>/s).

Figuur 37 Verhoudingen bodem- en zwevend transport.





$$\phi = \frac{S}{B \sqrt{g \Delta D^3}} \quad 2$$

De transportvergelijking is van de algemene gedaante:

$$\phi = A \cdot \frac{1}{1-\varepsilon} \cdot \beta_u \cdot (\mu\theta)^{\gamma_u} \cdot (\mu\theta - \theta_{cr})^{\alpha_u} \quad 3$$

Meer algemeen bekende formules die hiervan kunnen worden afgeleid, zijn de Engelund-Hansenformule voor totaaltransport:

$$\phi = A \cdot \frac{0,05}{1-\varepsilon} \cdot \frac{C^2}{g} \cdot \theta^{\frac{5}{2}} \quad 4$$

En de Meyer-Peter Müllerformule voor bodemtransport:

$$\phi = A \cdot \frac{8}{1-\varepsilon} \cdot (\mu\theta - 0,047)^{\frac{3}{2}} \quad 5$$

In aansluiting op (Wolters, 1998) wordt in deze paragraaf uitgegaan van de algemene transportformule (vlg. 3) met de volgende coëfficiënten:

$\varepsilon$	= 0,4	(-)
$\beta_u$	= 8,0	(-)
$\mu$	= 0,7	(-)
$\gamma_u$	= 0	(-)
$\theta_{cr}$	= 0,025	(-)
$\alpha_u$	= 1,5	(-)
$C$	= 45	(m <sup>1/2</sup> /s)
$\Delta$	= 1,65	(-)
$g$	= 9,81	(m/s <sup>2</sup> )

Tabel 8 Wijkingsfactoren (A) transportformule.

transportvorm	inclusief spoeltransport				exclusief spoeltransport			
	niet gewogen		wel gewogen		niet gewogen		wel gewogen	
	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>
bodemtransport	0,15	0,17	0,17	0,15	0,15	0,17	0,17	0,15
zwevend transport	0,96	0,54	0,60	0,43	0,32	0,25	0,27	0,23
totaaltransport	1,12	0,70	0,76	0,59	0,47	0,43	0,44	0,39

De waarden voor  $\varepsilon$ ,  $\Delta$  en  $g$  zijn (nagenoeg) universeel geldig. Een hydraulische ruwheid voor het zomerbed van  $C=45$  m<sup>1/2</sup>/s is voor het zomerbed van de Maas een goede benadering voor een groot bereik aan afvoeren. Voor de korreldiameter bij de ijking wordt het gemiddelde genomen van de Helley-Smithvangsten, gewogen met het transport per meetpunt. Idealiter zou de representatieve korreldiameter per meetdag ook gewogen moeten worden met de hoeveelheid en de samenstelling van het zwevend transport, maar zoals uiteengezet in paragraaf 3.3.2 zijn van het zwevend transport geen gegevens over korreldiameters beschikbaar. Over de macht in de transportformule  $\alpha_u$  en de drempelwaarde voor de stromingsparameter  $\theta_{cr}$  is enige discussie mogelijk. De macht  $\alpha_u$  ligt in de orde 1,0 à 3,0, de waarde voor  $\theta_{cr}$  zal in de orde van 0,03 - 0,05 liggen, het Shields criterium voor begin-van-bewegen van sediment. In paragraaf 3.6 wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op deze parameters.

De enige overblijvende vrije parameter is de ijkingsfactor A. Deze is met behulp van de kleinste kwadratenmethode voor de verschillende vormen van transport bepaald, zie Tabel 8. De tabel beschouwend bedraagt de ijkingsfactor inclusief spoeltransport ca. 0,8 en exclusief spoeltransport ca. 0,4. De transportvergelijking inclusief spoeltransport wordt dan:

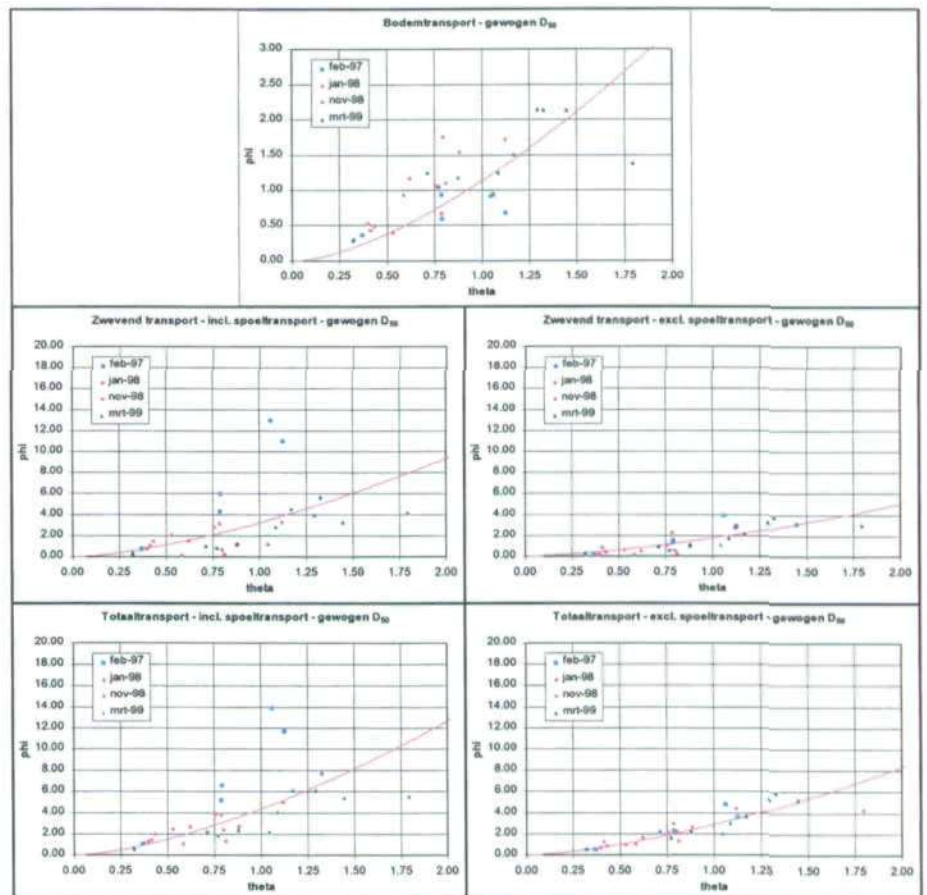
$$\phi = 0,8 \cdot \frac{8,0}{1 - 0,4} \cdot (0,7 \cdot \theta - 0,025)^{1,5} \quad 6$$

En exclusief spoeltransport:

$$\phi = 0,4 \cdot \frac{8,0}{1 - 0,4} \cdot (0,7 \cdot \theta - 0,025)^{1,5} \quad 7$$

In (Wolters, 1998) varieert de waarde van de ijkingsfactor tussen 0,34 (alleen bodemtransport) en 4,85 (totaaltransport incl. spoeltransport). In vergelijking hiermee zijn de nu gevonden waarden aan de lage kant, maar dit komt vooral doordat de stroomsnelheid nu anders wordt berekend en daardoor lager uitkomt. Bij eenzelfde waarde voor de transportparameter  $\phi$  is de stromingsparameter  $\theta$  kleiner, en dus moet de ijklijn een flauwer verloop hebben.

Figuur 38 Meetdata en transportfunctie voor gewogen  $D_{50}$ .



Voor de gewogen  $D_{50}$  zijn de meetpunten met de bijbehorende regressielijnen uitgezet in Figuur 38, zowel inclusief als exclusief spoeltransport. Voor de  $D_m$  en niet-gewogen korreldiameters zijn vergelijkbare figuren te geven. De metingen

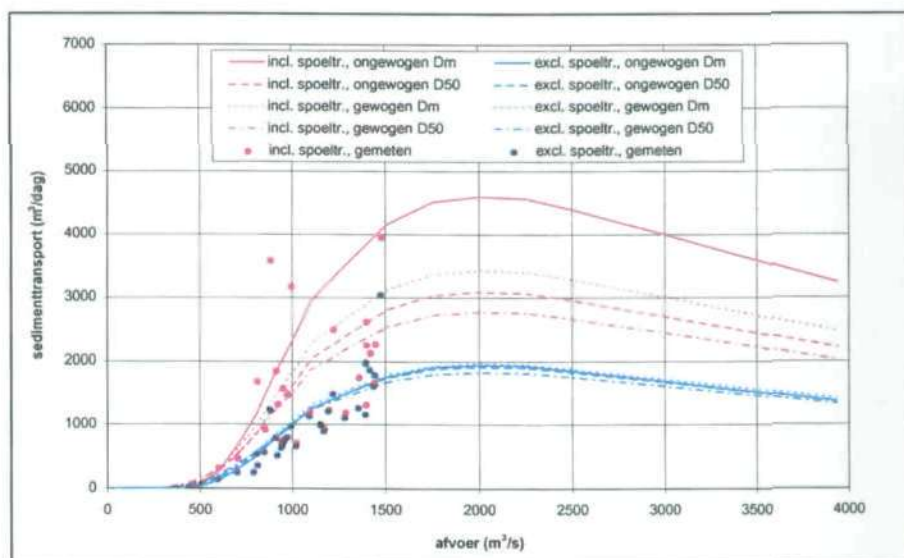
op km 158,8 (1x) en km 183,5 (2x) zijn niet in de ijking betrokken. In de figuur is onder andere te zien dat de niet voor spoeltransport gecorrigeerde meetpunten uit februari/maart 1997 duidelijk hoger liggen dan de overige meetpunten. Na correctie zijn deze uitschieters verdwenen.

### 3.5 Berekening jaarvracht

Met de afgeleide transportformule is de jaarvracht aan sediment te berekenen. De formule is strikt genomen alleen geldig voor de meetraai (km 141,3), maar mag ook elders op de Zandmaas toegepast worden, mits de omstandigheden (sedimentsamenstelling, stroomsnelheden) daar niet teveel afwijken van die op de meetraai. De rekenprocedure verloopt als volgt:

- Kies een kenmerkende korreldiameter ( $D$ ), zie Tabel 6.
- Bereken met het Sobekmodel voor de Maas (Van der Veen *et al.*, 1998) bij een 25-tal permanente afvoeren ( $Q$ ) tussen 50 en 3935 m<sup>3</sup>/s, en op een aantal locaties de volgende waarden:
  - stroomsnelheid zomerbed ( $u$ ).
  - hydraulische ruwheid ( $C$ ).
  - breedte zomerbed ( $B$ )
- Bereken met deze waarden en de korreldiameter voor elke locatie en elke afvoer de stromingsparameter  $\theta$ .
- Bereken voor elke  $\theta$  met vgl. 3 de bijbehorende transportparameter  $\phi$ , en reken deze om in een sedimenttransport  $S$ .
- Vermenigvuldig iedere  $S$  met het gemiddeld aantal dagen per jaar dat de bijbehorende  $Q$  zich voordoet, en sommeer over het jaar.

Figuur 39 QS-relaties voor de meetraai (km 141,3).



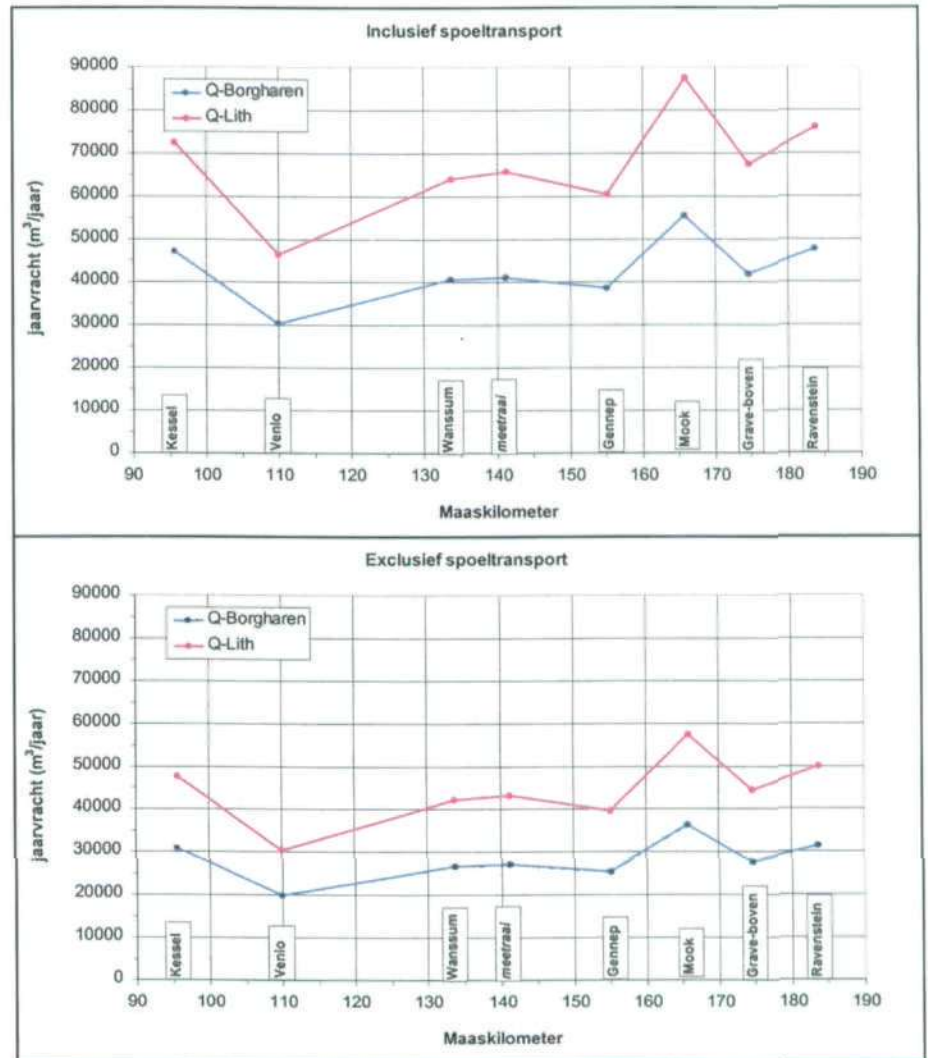
Het resultaat van de voorlaatste stap is een verband tussen de afvoer en het sedimenttransport (QS-relatie). Dit verband is in Figuur 39 voor de situatie inclusief- en exclusief spoeltransport, en voor verschillende korreldiameters uitgezet. Daarnaast zijn de gemeten transporten, inclusief en exclusief spoeltransport, in de figuur uitgezet.

Hoewel in zijn algemeenheid geldt dat het transport toeneemt met toenemende afvoer, blijkt voor km 141,3 het maximale transport plaats te vinden bij ca.



2000 m<sup>3</sup>/s. Volgens het Sobekmodel nemen op deze locatie de snelheden in het zomerbed tussen 2000 en 3000 iets af, waarschijnlijk als gevolg van impulsuitwisseling met het winterbed. Uit de figuur blijkt voorts dat de gevoeligheid voor de korreldiameter in de situatie exclusief spoeltransport nog maar gering is.

Figuur 40 Jaarvracht sedimenttransport (gewogen D<sub>50</sub>).



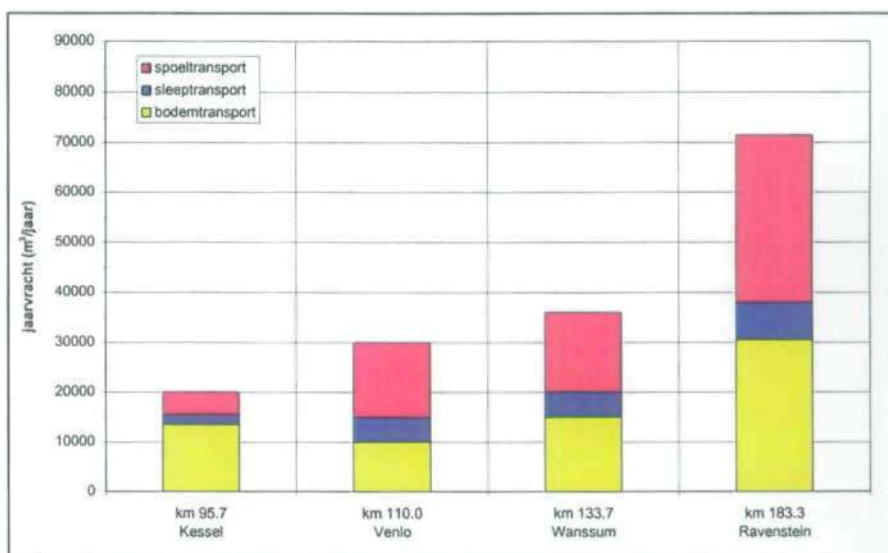
Bij de laatste stap van bovenstaande rekenprocedure is het van belang op welke frequentiecurve van de afvoeren men zich baseert. Hier zijn de afvoerreeksen van Borgharen en Lith (1911-1990) gebruikt, respectievelijk bovenstrooms van de Grensmaas en benedenstrooms van de Zandmaas gelegen. Voor de Zandmaas zal de afvoerfrequentie van Lith het meest representatief zijn. Globaal 80% van de jaarvracht wordt geleverd door de afvoeren in het bereik 500 - 1.400 m<sup>3</sup>/s, de afvoeren kleiner dan 500 m<sup>3</sup>/s en groter dan 1.400 m<sup>3</sup>/s dragen elk 10% bij. De lage afvoeren komen vaak voor maar het transport is dan laag, de hoge afvoeren kennen een hoog transport maar komen zelden voor. De berekende jaarvrachten voor de meetraai (km 141,3) als functie van de gekozen korreldiameter en afvoerfrequentie zijn gegeven in Tabel 9.

**Tabel 9** Berekende jaarvrachten, in 1.000 m<sup>3</sup>.

Afvoerfrequenties	inclusief spoeltransport				exclusief spoeltransport			
	niet gewogen		wel gewogen		niet gewogen		wel gewogen	
	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>m</sub>	D <sub>50</sub>
Borgharen	55	40	47	41	23	25	27	27
Lith	89	65	75	66	37	40	43	43

Uit Tabel 9 blijkt dat de berekende jaarvracht tamelijk ongevoelig is voor keuze van de korreldiameter. Dit is niet verwonderlijk, omdat in de transportparameter  $\phi$  de korreldiameter  $D$  tot de macht  $-1,5$  voorkomt, en in de stromingsparameter  $\theta$  bijna tot de macht  $-1,5$ , afhankelijk van hoe  $\theta$  zich verhoudt tot  $\theta_{cr}$ . Daarmee verdwijnt voor het sedimenttransport de afhankelijkheid van de korreldiameter, en worden verschillen in transport nog slechts veroorzaakt door een andere waarde voor de ijkingparameter  $A$ . Wel is het belangrijk of het spoeltransport wordt meegerekend, en voor welke reeks afvoeren men kiest. In Figuur 40 is voor de gewogen  $D_{50}$  de jaarvracht over de lengte-as van de Zandmaas uitgezet. Uitgaande van de afvoerfrequenties van Lith bedraagt de jaarvracht ca. 60.000 m<sup>3</sup>/jaar inclusief spoeltransport, en ca. 40.000 m<sup>3</sup>/jaar exclusief spoeltransport, met een bandbreedte van ca. 20%. De keuze voor de locaties in Figuur 40 is niet zonder betekenis. In (Gerritsen, 1968) wordt op basis van transportmetingen voor een aantal van deze locaties de jaarvracht berekend, zie Figuur 41. De berekende vrachten zijn inclusief spoeltransport. Uitgaande van de afvoerfrequenties van Lith zijn de nu berekende jaarvrachten, met uitzondering van Ravenstein, ongeveer twee keer zo hoog.

**Figuur 41** Jaarvrachten volgens (Gerritsen, 1968).



In Figuur 41 is te zien dat de jaarvracht in langsrichting toeneemt, hetgeen duidt op erosie van het zomerbed. Op basis van de gradiënt in het totaaltransport is de berekende daling tussen Kessel en Ravenstein ca. 5 mm/jaar, en minder nog als alleen naar bodem- en sleeptransport wordt gekeken. Ook in Figuur 40 is in de jaarvracht een zwakke gradiënt te onderkennen. De bodemligging van de Zandmaas laat de afgelopen decennia echter geen dalende trend zien, zodat de gradiënten in het transport kennelijk geen betekenis hebben.



Het sedimenttransport in de Zandmaas is uiteindelijk afkomstig uit de Grensmaas. In (Duizendstra, 1999) wordt voor het bodemtransport van de Grensmaas een jaarvracht in de orde van 50.000 m<sup>3</sup> gevonden. Hoewel dit getalsmatig ongeveer klopt met de nu berekende jaarvracht voor de Zandmaas, zijn deze waarden toch niet zonder meer vergelijkbaar. Bij het genoemde bodemtransport zou nog het zwevend transport op de Grensmaas en de bijdragen van de zijrivieren en de oevererosie van de Maas moeten worden opgeteld, maar hiervan zijn geen metingen beschikbaar. Daarentegen werken de Maasplassen op de overgang van Grensmaas naar Zandmaas als een sedimentvang, waardoor minder sediment de Zandmaas bereikt dan dat de Grensmaas verlaat.

### 3.6 Gevoeligheidsanalyse

De in dit hoofdstuk afgeleide vergelijking voor het sedimenttransport geeft een goede regressie door de metingen, maar de ijkingparameters hebben andere waarden dan in de meer gebruikelijke transportvergelijkingen. In deze paragraaf wordt gekeken hoe goed de metingen worden beschreven door de Engelund-Hansenvergelijking (EH, vgl. 4) en de Meyer-Peter-Müllervergelijking (MPM, vgl 5). Deze vergelijkingen zijn indertijd ontwikkeld voor respectievelijk totaaltransport en bodemtransport, en het toepassen ervan op andere vormen van transport is in feite dus oneigenlijk gebruik. De kenmerkende korreldiameter voor de MPM-vergelijking is de  $D_m$  en voor de EH-vergelijking de  $D_{50}$ . De ijkingparameter A wordt weer bepaald aan de hand van de kleinste kwadratenmethode, en met de afgeleide vergelijking en de afvoerfrequenties van Borgharen en Lith is vervolgens de jaarvracht op de meetraai (km 141,3) bepaald, zie Tabel 10 en Figuur 42.

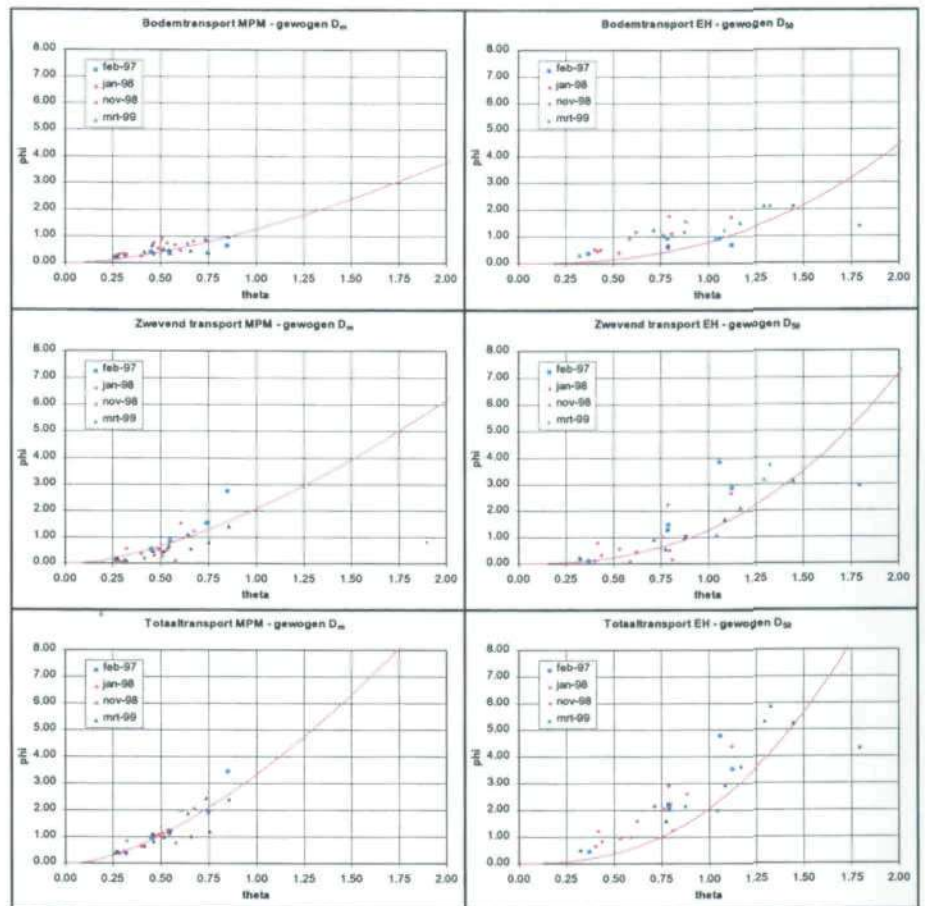
Tabel 10 Ijkingfactoren (A) en jaarvrachten MPM en EH.

	inclusief spoeltransport				exclusief spoeltransport			
	niet gewogen		wel gewogen		niet gewogen		wel gewogen	
	MPM	EH	MPM	EH	MPM	EH	MPM	EH
bodemtransport	0,17	0,06	0,18	0,05	0,17	0,06	0,18	0,05
zwevend transport	1,06	0,21	0,65	0,13	0,35	0,10	0,29	0,07
totaaltransport	1,23	0,27	0,83	0,18	0,51	0,16	0,47	0,12
vracht (x 1.000 m <sup>3</sup> /jr - Borgh.)	36	10	37	12	15	6	21	8
vracht (x 1.000 m <sup>3</sup> /jr - Lith)	60	17	60	20	25	10	34	14

Wat opvalt is dat de jaarvrachten met de EH-vergelijking aan lage kant zijn. Ook de regressie van de EH-vergelijking door de meetpunten is slechter dan de algemene vergelijking. De algemene vergelijking en de MPM-vergelijking onderscheiden zich alleen van elkaar door de waarde van  $\theta_{cr}$ , en hoe hoger deze waarde, hoe groter de gevoeligheid voor de korreldiameter. De vrachten berekend met de MPM-vergelijking hebben wel de goede orde van grootte, maar blijken erg gevoelig voor de gekozen korreldiameter. De regressie van de MPM-vergelijking door de puntenwolk is vergelijkbaar met die van de algemene vergelijking. Op grond van Tabel 10 wordt geconcludeerd dat de MPM- en de EH-vergelijking geen beter alternatief bieden voor de algemene vergelijking.



Figuur 42 MPM en EH voor gewogen koreldiameter, excl. spoeltransport.



### 3.7 Voortplanting sedimentatiefront

Aan de bovenstroomse begrenzing van het baggervak (km155,7) vindt sedimentatie plaats van aangevoerd zand. Met de afgeleide transportvergelijking is te berekenen hoe snel het sedimentatiefront voortschrijdt. Van toepassing is de continuïteitsvergelijking voor de morfologie:

$$\frac{dz}{dt} + \frac{ds}{dx} = 0 \quad 8$$

Deze wordt gediscetiseerd tot:

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} + \frac{\Delta s}{\Delta x} = 0 \quad 9$$

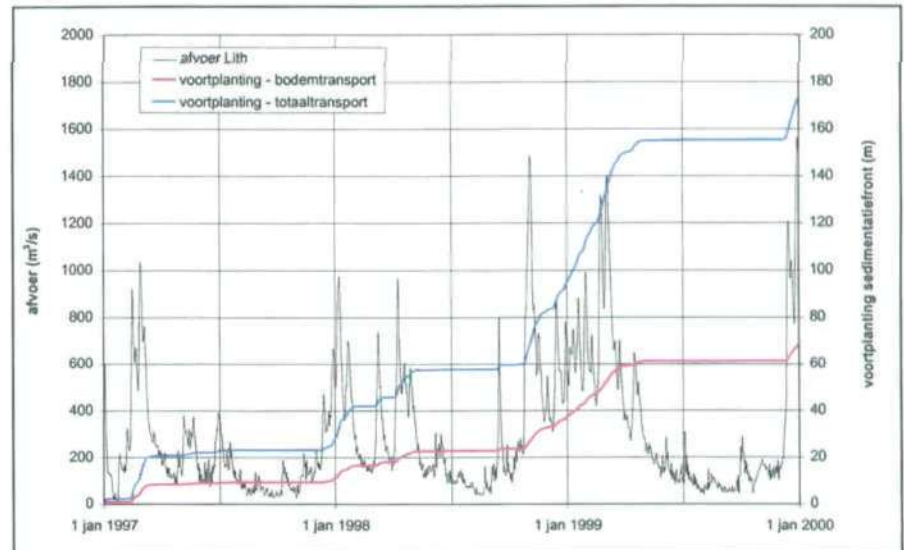
De voortplantingssnelheid van het front is dan:

$$c = \frac{\Delta x}{\Delta t} = - \frac{\Delta s}{\Delta z} = \frac{s_{in} - s_{uit}}{\Delta z} \quad 10$$

De parameters  $s_{in}$  en  $s_{uit}$  stellen het sedimenttransport per eenheid van breedte voor, respectievelijk direct boven- en benedenstrooms van het front. Als gevolg van de verruiming is de stroomsnelheid, en dus het transport, benedenstrooms van het front kleiner dan bovenstrooms. De parameter  $\Delta z$  is de hoogte van het front. In principe is dit de 3,0 meter waarmee het zomerbed is verdiept, maar omdat de voortplanting wordt berekend vanaf 1 januari 1997 en de erosiekuil

rond km 156 toen al ontstaan was, wordt voor de fronthoogte 4,0 meter aangehouden. De voorplanting is berekend met de gewogen  $D_{50}$  exclusief spoeltransport. De gevoeligheid voor de gekozen korreldiameter blijkt overigens minimaal. In Figuur 43 is de voorplanting van het front in de tijd uitgezet, samen met het afvoerverloop bij Lith.

Figuur 43 Voortplanting sedimentatiefront.



Bij de voortplantingssnelheid volgens vgl. 8 is impliciet verondersteld dat het transport instantaan reageert op veranderingen in de stroomsnelheid. Voor bodemtransport zal dit in het algemeen wel juist zijn, maar voor zwevend transport is een zekere lengte nodig waarover het zand uit de waterkolom kan uitzakken. Niet al het zwevend transport zal daarom in de voortplanting van het front gaan zitten, en de werkelijke waarde van de voortplantingssnelheid zal daarom liggen tussen die berekend op basis van bodemtransport en die op basis van totaaltransport. In Figuur 43 zijn beide voortplantingssnelheden gegeven. Te zien is dat de voortplanting een duidelijke relatie vertoont met het afvoerverloop: als gevolg van de drempelwaarde voor het sedimenttransport  $\theta_{cr}$  is in tijden van lage afvoer de voortplantingssnelheid gelijk aan nul. Een voortplanting van het front in de orde van 100 m tussen januari 1997 en juli 1999 komt overeen met een aanzandingsvolume van  $100 \times 50 \times 4 = 20.000 m^3$ . Uitgedrukt in een verandering in bodemligging van het kilometervak 155-156 over een breedte van 70 m is dit een toename van 0,28 m, hetgeen in dezelfde orde van grootte ligt als berekend op basis van de verschilpeilingen, zie Figuur 8. De voortplanting van het front blijkt niet erg gevoelig voor de keuze van de fronthoogte  $\Delta z$ . Bij een  $\Delta z$  van 3 m in plaats van 4 m is weliswaar de hoeveelheid benodigd sediment om het front aan te vullen minder, maar daar staat tegenover dat benedenstrooms van het front de stroomsnelheid en dus de sedimenttransportcapaciteit groter is. Netto resulteert dit in een slechts iets grotere voortplantingssnelheid.





---

## 4 Conclusies en aanbevelingen

---

### 4.1 Conclusies

#### Morfologie

- De risicolocaties op het traject van het 1<sup>e</sup> baggerbestek hebben geen acuut gevaar opgeleverd. Nabij km 156 is reeds in 1996 een ontgrondingskuil ontstaan van enkele meters diepte, maar deze is inmiddels weer voor een belangrijk deel opgevuld en verwacht wordt dat deze trend zich voortzet. Bij de brugpijlers in het zomerbed en de afgedekte kabels en leidingen zijn geen gevaarlijke ontgrondingen waargenomen. Dit betekent echter niet dat het risico hier definitief geweken is.
- De gebaggerde verruiming van het doorstroomprofiel is grotendeels in stand gebleven, maar wel zijn er aanzienlijke wijzigingen in de vorm van het dwarsprofiel. De bovenstroomse helft van het baggervak is dieper geworden door het uitspoelen van de fijne fractie uit het bodemmateriaal, in de benedenstroomse helft zijn de gebaggerde taluds in het dwarsprofiel uitgezakt. Aan de boven- en benedenstroomse begrenzing van het baggervak zijn respectievelijk sedimentatie en erosie opgetreden. Over de gehele lengte van het baggervak is tussen januari 1997 en juni 1999 netto ca. 100.000 m<sup>3</sup> bodemmateriaal verdwenen. De veranderingen zijn complexer dan op basis van een uniforme 1D-benadering verwacht mocht worden.
- De overgangshellingen van verdiept naar onverdiept, en vice versa, zijn in de loop der tijd flauwer geworden. Het talud van 1:10 bij oplevering is in drie jaar tijd afgenomen tot de orde 1:50 - 1:200. De grootste veranderingen treden in het eerste jaar na oplevering op.
- Bovenstrooms en benedenstrooms van het baggervak zijn geen veranderingen in de bodemligging waargenomen die kunnen worden toegeschreven aan de zomerbedverruiming.

#### Zandtransport

- Het uitvoeren van balansberekeningen op basis van gemeten transporten is, gezien de grote spreiding in de metingen, niet uitvoerbaar gebleken.
- Het uitvoeren van transportmetingen op de Zandmaas is zinvol vanaf 700 m<sup>3</sup>/s. Bij lagere afvoeren zijn de transporten te gering om te meten.
- De hier toegepaste methode, waarbij in vijf verticalen wordt gemeten, voldoet goed. Het reduceren van het aantal metingen per dag is ongewenst, terwijl een uitbreiding niet mogelijk is, omdat een volledige meting dan langer dan één werkdag zou duren.
- Het nemen van watermonsters in het veld om daarmee de AZTM te ijken blijkt in de praktijk slecht te werken. Beter is het om de in het laboratorium bepaalde ijklijn te gebruiken.
- Bij het bepalen van de kenmerkende korreldiameter dient de korreldiameter per meetpunt te worden gewogen met het transport op dat punt, om te voorkomen dat grote korreldiameters onevenredig zwaar meetellen.
- Op het gemeten zwevend transport dient een reductie plaats te vinden voor het spoeltransport. Met name bij de meetcampagne van februari/maart 1997 werd een groot gehalte aan zwevend transport gemeten. Bij de drie

latere campagnes is een uitputtingverloop in het aandeel spoeltransport zichtbaar.

- De gecalibreerde vergelijkingen voor het sedimenttransport inclusief, resp. exclusief spoeltransport luiden:

$$\phi = 0,8 \cdot \frac{8,0}{1 - 0,4} \cdot (0,7 \cdot \theta - 0,025)^{1,5}$$

$$\phi = 0,4 \cdot \frac{8,0}{1 - 0,4} \cdot (0,7 \cdot \theta - 0,025)^{1,5}$$

- De jaarvracht aan sediment op de Zandmaas bedraagt ca. 60.000 m<sup>3</sup> inclusief spoeltransport en ca. 40.000 m<sup>3</sup> exclusief spoeltransport, met een bandbreedte van ca. 20%. In (Gerritsen, 1968) werd nog een vracht berekend van ca. 35.000 m<sup>3</sup>/jaar, inclusief spoeltransport.
- Van het sedimenttransport op de Zandmaas vindt 80% plaats bij afvoeren tussen 500 en 1400 m<sup>3</sup>/s. Lagere afvoeren genereren nauwelijks transport, en hogere afvoeren komen te weinig voor om veel bij te kunnen dragen aan de jaarvracht.
- De met de afgeleide transportformule berekende voorschrijding van het sedimentatiefront bedraagt ca. 100 m in 3 jaar, hetgeen in overeenstemming is met de waarnemingen op basis van peilingen.

## 4.2 Aanbevelingen

### Morfologie

- De rivierbodem tussen Gennep en Grave vertoont een neiging tot erosie. In verband met de stabiliteit op langere termijn van oevers en infrastructuur, is het van belang te weten of deze trend zich voortzet, en zo ja hoe snel. Aanbevolen wordt om minimaal éénmaal per jaar, in de zomer of het najaar, de zomerbedbodem van het gehele stuwpand Grave te peilen. Voor de trajecten bovenstrooms van Sambeek en benedenstrooms van Grave volstaat de reguliere vijfjaarlijkse peiling.
- Bij zomerbedverdieping van de Zandmaas is het aansnijden van fijne lagen op meerdere locaties een probleem. Het is daarom belangrijk meer te weten te komen over het mechanisme achter het opvullen van de erosiekuil van het 1<sup>e</sup> baggerbestek. Aanbevolen wordt boringen van enkele meters lengte uit te voeren in de voormalige erosiekuil rond km 156, om te bezien of fijn sediment wordt afgedekt, of dat opvulling pas plaatsvindt nadat al het fijne sediment is uitgespoeld.
- Aanbevolen wordt aan de hand van boringen te onderzoeken of een verschil in de samenstelling van het bodemmateriaal de oorzaak is van het vervormen van het dwarsprofiel benedenstrooms van Mook, en het in stand blijven van het profiel bovenstrooms van Mook.
- Het morfologisch gedrag van een baggervak wordt in hoge mate bepaald door de samenstelling van de ondergrond. Het is daarom van belang om in de ontwerpfase boringen in het zomerbed uit voeren tot enkele meters onder de toekomstige rivierbodem, aangevuld met ondiep seismisch onderzoek. Op grond hiervan kan een prognose worden gemaakt voor de erosie en sedimentatie.
- Het is voldoende als in bochten de bodem horizontaal wordt uitgebaggerd. Het baggeren van een bochtprofiel is niet nodig, omdat de rivier daar na één of twee hoogwaters zelf voor zorgt. Wel dient men in verband met het



---

dieper worden van de buitenbocht bedacht te zijn op het aansnijden van eventueel aanwezige fijne lagen.

#### **Zandtransport**

- *Met de metingen tijdens het hoogwater van december 1999 zijn op km 141,3 in totaal vijf meetcampagnes naar sedimenttransport uitgevoerd. Verdere metingen zullen niet veel toegevoegde waarde hebben, en derhalve wordt geadviseerd de zandtransportmetingen op km 141,3 te beëindigen.*
- *Aanbevolen wordt om sedimenttransportmetingen uit te voeren op locaties waar het materiaal aanmerkelijk grover of fijner is dan op km 141,3. De nu afgeleide transportformule is voor deze locaties in principe niet geldig.*
- *Omdat sedimentmetingen worden uitgevoerd in het kader van procesonderzoek ten behoeve van modellen, is het van belang naast de hoeveelheden ook de samenstelling van het transport en van het bodemmateriaal te meten.*
- *Een verdere verbetering van de transportformule zou bestaan uit het in rekening brengen van hiding/exposure-effecten.*





---

## Referenties

---

- Duizendstra, H.D. (1999),  
'Sedimenttransport in de Grensmaas'. RWS/RIZA, werkdocument 99.158X.
- Gerritsen, J. (1968),  
'Materiaaltransport door de Maas'. Rijkswaterstaat Directie Limburg, Studiedienst Maas, nota 68.8.
- Jansen, P. Ph. (1979),  
'Principles of river engineering. The non-tidal alluvial river'. Delftse Uitgevers Maatschappij.
- Kleinhans, M. G. (1999),  
'Sedimenttransport in de Waal: Hoogwater november 1998'. Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Geografie, rapport ICG 99/6.
- Maaswerken (1999),  
'Trajectnota/MER Zandmaas/Maasroute'. Projectorganisatie 'De Maaswerken'.
- Prins, S.R., M. van Helvert en A.P. Kok (1995),  
'Ontwerpnota baggerwerkzaamheden zomerbed Zandmaas traject Gennep - Grave'. RWS/Bouwdienst, document USW.ZAB-I-95069.
- Schropp, M.H.I. (1995),  
'Monitoringsplan baggerbestek Gennep - Grave'. RWS/RIZA, werkdocument 95.151X.
- Schropp, M.H.I. (1997),  
'Actualisatie monitoringsplan baggerbestek Gennep - Grave'. RWS/RIZA, werkdocument 97.202X.
- Schropp, M.H.I. (1999),  
'Waterstandseffecten van verdieping van de Maas tussen Gennep en Grave'. RWS/RIZA, rapport 99.029.
- Schropp, M.H.I. (2000),  
'Evaluatie monitoring zomerbedverdieping Gennep - Grave'. RWS/RIZA, rapport 2000.017.
- Sloff, C.J. en C. Stolker (2000),  
'Morfologische berekeningen Zandmaas met Sobek-gegradeerd'. WL | Delft Hydraulics, rapport in voorbereiding.
- Veen, R. van der, U. Pakes, J. van Essen en L. Schutte (1998),  
'Calibratie Sobek-Maas (Versie 1998.1)'. RWS/RIZA, rapport 98.038.

- 
- Wolters, A.F. (1998),  
'Morfologische ontwikkeling van de Maas tussen Gennep en Grave ten  
gevolge van baggerwerkzaamheden'. RWS/RIZA, rapport 98.060.
- Wolters, A.F., P. Jesse, C.J. Sloff en C. Stolker (1999),  
'Morfologische berekeningen Zandmaas met Sobek'. RWS/RIZA,  
werkdokument 99.180X.



# Bijlagen

.....



---

# 1 Datarapporten sedimenttransport en boringen

---

## Sedimenttransport

### meetcampagne februari/maart 1997

#### *bodemtransport (Helley-Smith)*

Velde, P.A. van de (1997),

'Rapport betreffende monitorplan Maas'. Fugro Ingenieursbureau BV, opdrachtnummer H-0895/06.

#### *zwevend transport (AZTM)*

Anonymus (1997),

'Sedimentmetingen Zandmaas, 15 februari t/m 1 maart 1997'. RWS/Meetdienst Zeeland, notitie ZLMD-97.N.001.

### meetcampagne januari 1998

#### *bodemtransport (Helley-Smith)*

Velde, P.A. van de (1998),

'Onderzoek zandmonsters afkomstig van sedimenttransportmetingen. Monitoringplan Maas ten behoeve van 2<sup>e</sup> (= 1<sup>e</sup>) baggerbestek'. Fugro Ingenieursbureau BV, opdrachtnummer H-0895/07.

#### *zwevend transport (AZTM)*

Tiernego, P.C. (1998),

'AZTM meetgegevens'. RWS/Meetdienst Limburg.

### meetcampagne november 1998

#### *bodemtransport (Helley-Smith)*

Velde, P.A. van de (1998),

'Monitorplan Maas km 141.300, 1<sup>e</sup> baggerbestek, november 1998'. Fugro Ingenieursbureau BV, opdrachtnummer H-0895/08/Vde.

#### *zwevend transport (AZTM)*

Mulder, A. (1999),

'Sedimentmetingen Maas - november 1998'. RWS/Meetdienst Limburg.

### meetcampagne februari/maart 1999

#### *bodemtransport (Helley-Smith)*

Velde, P.A. van de (1999),

'Monitoring BB1. Sedimenttransport hoogwater februari/maart 1999'. Fugro Ingenieursbureau BV, opdrachtnummer H-0895/09.

#### *zwevend transport (AZTM)*

Mulder, A. (1999),

'Sedimentmetingen Maas - februari/maart 1999'. RWS/Meetdienst Limburg.



---

## Boringen

### meetcampage oktober 1995, in opdracht van de Bouwdienst

Korf, W. (1995),

'Verruimen zomerbed van de rivier de Maas tussen Gennep en Grave in het kader van het project Zandmaas. Bestek BDW 5098. Bijlage C. Grondgegevens'. RWS/Bouwdienst, documentnummer USW.ZAB-95092.

### meetcampage oktober 1996, in opdracht van de Combinatie Regenboog

Leeuwe, P.J. (1997),

'Herhalingsbodemonderzoek Maas traject Gennep - Grave'. Fugro Milieu Consult BV, opdrachtnummer D-6129/193.

### meetcampage juli 1997, in opdracht van de Bouwdienst

Burger, P.C.W. (1997),

'Resultaten grondonderzoek betreffende Zandmaas baggerproefvak I en Asseltse Plassen'. Fugro-IGF BV, opdrachtnummer P-1583/09.

Lang, F.D. de (1998),

'Boringen baggerproefvak I en Asseltse Plassen (met 6 bijlagen)'. TNO-rapport NITG 98-12-B.

## 2 Gegevens bodemtransport (Helley-Smith)

**Tabel 11** Basisgegevens bodemtransport, geschatte waarden gearceerd.

datum	locatie (km)	s-L2 (m <sup>2</sup> /dag)	s-L1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-AS (m <sup>2</sup> /dag)	s-R1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-R2 (m <sup>2</sup> /dag)	S <sub>bodem</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
15 feb 97	141,4	0,54	4,40	8,26	4,95	1,63	239
16 feb 97	158,8	1,50	1,84	2,06	2,28	0,72	104
17 feb 97	183,5	1,20	1,16	3,12	1,94	0,77	100
18 feb 97	183,5	1,00	3,13	1,95	2,31	2,72	128
19 feb 97	141,4	0,77	4,96	1,31	0,97	0,63	106
26 feb 97	141,4	0,53	6,79	2,25	1,41	1,53	150
27 feb 97	141,4	0,69	3,85	3,77	3,97	3,52	182
1 mrt 97	141,4	3,90	7,80	5,54	4,87	5,92	329
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
6 jan 98	141,3	0,25	0,42	4,60	8,77	2,73	212
7 jan 98	141,3	0,41	1,26	9,84	13,02	7,45	400
8 jan 98	141,3	0,16	0,90	9,08	14,54	7,45	402
9 jan 98	141,3	0,10	2,54	5,72	16,69	7,01	403
10 jan 98	141,3	0,02	1,06	3,61	7,13	3,82	196
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
3 nov 98	141,3	1,41	12,63	16,51	11,18	8,53	696
4 nov 98	141,3	1,98	10,28	13,13	16,90	2,77	650
5 nov 98	141,3	0,27	6,84	9,49	9,04	7,51	451
6 nov 98	141,3	1,30	11,09	6,41	15,99	1,24	527
7 nov 98	141,3	0,33	12,62	11,41	12,59	1,88	570
8 nov 98	141,3	4,46	9,32	5,75	3,11	0,74	326
9 nov 98	141,3	1,57	6,24	3,34	3,15	0,22	209
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
24 feb 99	141,3	0,39	15,53	11,63	10,23	6,87	566
25 feb 99	141,3	0,26	6,87	15,38	7,63	12,70	531
26 feb 99	141,3	3,55	7,10	12,56	9,43	17,28	606
27 feb 99	141,3	0,12	8,97	8,84	5,32	9,82	410
2 mrt 99	141,3	0,40	4,92	11,23	3,00	4,35	301
3 mrt 99	141,3	0,17	14,13	6,81	16,46	11,75	617
4 mrt 99	141,3	0,74	14,05	11,76	13,64	17,90	718
5 mrt 99	141,3	0,46	19,07	11,58	19,61	11,77	788
6 mrt 99	141,3	0,36	19,81	4,26	14,13	13,41	648
7 mrt 99	141,3	0,43	13,45	18,28	9,01	5,40	594
8 mrt 99	141,3	0,39	11,51	16,86	11,69	15,08	691
9 mrt 99	141,3	3,95	11,92	13,43	11,53	7,24	600

**Tabel 12** Basisgegevens korreldiameter  
D<sub>10</sub>

datum	locatie (km)	D <sub>10</sub> -L2 (mm)	D <sub>10</sub> -L1 (mm)	D <sub>10</sub> -AS (mm)	D <sub>10</sub> -R1 (mm)	D <sub>10</sub> -R2 (mm)	gemiddeld (mm)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
15 feb 97	141,4	-	-	0,30	-	0,27	0,29
16 feb 97	158,8	0,13	0,15	0,26	0,27	0,21	0,20
17 feb 97	183,5	0,28	0,30	0,35	-	0,30	0,31
18 feb 97	183,5	0,33	0,38	0,35	0,16	0,30	0,30
19 feb 97	141,4	-	-	0,31	-	0,27	0,29
26 feb 97	141,4	-	0,28	0,32	0,29	0,27	0,29
27 feb 97	141,4	-	0,28	0,31	0,29	0,27	0,29
1 mrt 97	141,4	-	0,31	0,34	0,28	0,27	0,30
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
6 jan 98	141,3	0,41	0,20	-	0,31	0,27	0,30
7 jan 98	141,3	0,42	0,30	0,32	0,34	0,29	0,33
8 jan 98	141,3	0,32	0,28	0,32	0,33	0,29	0,31
9 jan 98	141,3	0,44	0,28	0,31	0,33	0,29	0,33
10 jan 98	141,3	-	0,28	0,31	0,34	0,31	0,31
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
3 nov 98	141,3	2,86	0,27	0,41	0,36	0,23	0,83
4 nov 98	141,3	2,15	0,28	0,36	-	0,26	0,76
5 nov 98	141,3	0,26	0,28	0,32	0,29	0,27	0,28
6 nov 98	141,3	0,27	0,30	0,34	0,30	0,27	0,30
7 nov 98	141,3	0,27	0,30	0,35	0,28	0,25	0,29
8 nov 98	141,3	0,29	0,32	0,35	0,28	0,26	0,30
9 nov 98	141,3	0,28	0,11	0,26	0,16	0,25	0,21
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
24 feb 99	141,3	0,31	0,30	0,36	0,25	0,30	0,30
25 feb 99	141,3	0,27	0,29	0,37	0,36	0,29	0,32
26 feb 99	141,3	0,42	0,30	0,39	0,31	0,28	0,34
27 feb 99	141,3	0,32	0,30	0,41	0,31	0,28	0,32
2 mrt 99	141,3	0,28	0,30	0,34	0,29	0,28	0,30
3 mrt 99	141,3	0,26	0,25	0,37	0,30	0,44	0,32
4 mrt 99	141,3	0,31	0,29	0,35	0,32	0,28	0,31
5 mrt 99	141,3	0,27	0,29	0,44	0,35	0,28	0,33
6 mrt 99	141,3	0,33	0,29	0,43	0,34	0,28	0,33
7 mrt 99	141,3	0,35	0,29	0,42	0,29	0,28	0,33
8 mrt 99	141,3	0,43	0,28	0,42	0,36	0,24	0,35
9 mrt 99	141,3	0,82	0,28	0,42	0,28	0,29	0,42



**Tabel 13** Basisgegevens korreldiameter  $D_{50}$

datum	locatie (km)	$D_{50}$ -L2 (mm)	$D_{50}$ -L1 (mm)	$D_{50}$ -AS (mm)	$D_{50}$ -R1 (mm)	$D_{50}$ -R2 (mm)	gemiddeld (mm)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
15 feb 97	141,4	-	-	0,51	-	0,37	0,44
16 feb 97	158,8	0,19	0,26	0,63	0,49	0,34	0,38
17 feb 97	183,5	0,93	0,58	0,74	-	0,52	0,69
18 feb 97	183,5	0,78	0,74	0,74	0,30	0,55	0,62
19 feb 97	141,4	-	-	0,61	-	0,38	0,49
26 feb 97	141,4	-	0,44	0,68	0,49	0,37	0,50
27 feb 97	141,4	-	0,45	0,66	0,53	0,37	0,50
1 mrt 97	141,4	-	0,82	0,69	0,44	0,37	0,58
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
6 jan 98	141,3	7,17	4,14	-	0,60	0,37	3,07
7 jan 98	141,3	7,38	0,93	0,65	0,72	0,44	2,02
8 jan 98	141,3	2,56	0,51	0,69	0,68	0,46	0,98
9 jan 98	141,3	3,44	0,41	0,62	0,66	0,46	1,12
10 jan 98	141,3	-	0,38	0,61	0,70	0,57	0,57
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
3 nov 98	141,3	22,87	0,40	0,84	0,74	0,34	5,04
4 nov 98	141,3	23,65	0,45	0,80	0,56	0,35	5,16
5 nov 98	141,3	0,42	0,45	0,66	0,46	0,37	0,47
6 nov 98	141,3	0,38	0,62	0,78	0,52	0,37	0,53
7 nov 98	141,3	0,44	0,63	0,73	0,41	0,34	0,51
8 nov 98	141,3	0,46	0,67	0,75	0,40	0,34	0,52
9 nov 98	141,3	0,42	0,31	0,65	0,32	0,34	0,41
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
24 feb 99	141,3	4,11	0,52	0,68	0,80	0,56	1,33
25 feb 99	141,3	0,46	0,49	0,92	0,81	0,43	0,62
26 feb 99	141,3	20,28	0,52	0,86	0,62	0,41	4,54
27 feb 99	141,3	3,93	0,59	0,98	0,57	0,38	1,29
2 mrt 99	141,3	0,57	0,49	0,72	0,45	0,37	0,52
3 mrt 99	141,3	0,45	0,73	0,75	0,55	0,70	0,63
4 mrt 99	141,3	2,16	0,49	0,74	0,67	0,42	0,90
5 mrt 99	141,3	0,45	0,48	0,80	0,77	0,42	0,58
6 mrt 99	141,3	3,04	0,44	0,84	0,68	0,40	1,08
7 mrt 99	141,3	14,19	0,47	0,95	0,42	0,37	3,28
8 mrt 99	141,3	24,94	0,43	0,93	0,76	0,40	5,49
9 mrt 99	141,3	16,17	0,43	0,98	0,41	0,45	3,69

**Tabel 14** Basisgegevens korreldiameter  
D<sub>m</sub>

datum	locatie (km)	D <sub>m</sub> -L2 (mm)	D <sub>m</sub> -L1 (mm)	D <sub>m</sub> -AS (mm)	D <sub>m</sub> -R1 (mm)	D <sub>m</sub> -R2 (mm)	gemiddeld (mm)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
15 feb 97	141,4	-	-	0,65	-	0,40	0,52
16 feb 97	158,8	0,19	0,42	0,90	0,84	0,35	0,54
17 feb 97	183,5	1,25	0,69	0,96	-	0,56	0,87
18 feb 97	183,5	1,13	0,83	0,87	0,34	0,63	0,76
19 feb 97	141,4	-	-	0,71	-	0,41	0,56
26 feb 97	141,4	-	0,69	0,94	0,60	0,39	0,66
27 feb 97	141,4	-	1,00	1,02	0,59	0,40	0,75
1 mrt 97	141,4	-	2,05	0,83	0,50	0,39	0,94
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
6 jan 98	141,3	8,06	7,51	-	0,77	0,41	4,19
7 jan 98	141,3	9,04	3,54	1,08	1,10	0,56	3,06
8 jan 98	141,3	3,73	2,67	1,27	0,90	0,55	1,82
9 jan 98	141,3	5,07	0,82	0,99	0,80	0,53	1,64
10 jan 98	141,3	-	0,42	0,86	0,96	0,62	0,71
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
3 nov 98	141,3	21,92	0,93	1,40	1,12	0,35	5,14
4 nov 98	141,3	21,70	1,64	1,35	0,86	0,36	5,18
5 nov 98	141,3	2,80	1,20	0,91	0,70	0,46	1,21
6 nov 98	141,3	0,73	1,36	1,23	0,65	0,39	0,87
7 nov 98	141,3	3,01	1,26	1,01	0,46	0,35	1,22
8 nov 98	141,3	2,05	1,27	1,07	0,45	0,35	1,04
9 nov 98	141,3	0,94	0,50	0,71	0,36	0,35	0,57
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
24 feb 99	141,3	9,57	1,74	1,26	1,49	1,43	3,10
25 feb 99	141,3	6,22	1,68	2,03	1,29	1,12	2,47
26 feb 99	141,3	18,89	1,59	1,48	1,01	0,51	4,69
27 feb 99	141,3	12,46	1,66	1,68	0,72	0,42	3,39
2 mrt 99	141,3	4,68	1,06	0,99	0,57	0,40	1,54
3 mrt 99	141,3	0,86	2,39	1,14	1,24	0,71	1,27
4 mrt 99	141,3	5,63	1,37	1,11	1,03	0,58	1,94
5 mrt 99	141,3	3,06	1,24	1,54	1,49	0,48	1,56
6 mrt 99	141,3	6,97	1,11	1,38	0,79	0,46	2,14
7 mrt 99	141,3	13,44	1,11	1,55	0,97	0,51	3,52
8 mrt 99	141,3	23,60	1,24	1,47	1,30	0,46	5,61
9 mrt 99	141,3	16,18	0,88	1,65	0,72	0,69	4,03

**Tabel 15** Basisgegevens korreldiameter  
D<sub>90</sub>.

datum	locatie (km)	D <sub>90</sub> -L2 (mm)	D <sub>90</sub> -L1 (mm)	D <sub>90</sub> -AS (mm)	D <sub>90</sub> -R1 (mm)	D <sub>90</sub> -R2 (mm)	gemiddeld (mm)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
15 feb 97	141,4	-	-	1,60	-	0,66	1,13
16 feb 97	158,8	0,25	1,40	2,80	3,00	0,48	1,59
17 feb 97	183,5	3,40	1,60	2,60	-	0,90	2,13
18 feb 97	183,5	3,48	1,70	1,90	0,66	1,35	1,82
19 feb 97	141,4	-	-	1,75	-	0,71	1,23
26 feb 97	141,4	-	2,40	2,80	1,40	0,67	1,82
27 feb 97	141,4	-	4,59	3,40	1,10	0,70	2,45
1 mrt 97	141,4	-	7,93	2,00	0,89	0,60	2,86
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
6 jan 98	141,3	18,00	22,50	-	2,30	0,71	10,88
7 jan 98	141,3	22,30	13,00	40,00	3,80	1,40	16,10
8 jan 98	141,3	11,20	13,00	5,00	2,70	1,10	6,60
9 jan 98	141,3	15,00	3,90	3,50	2,10	0,90	5,08
10 jan 98	141,3	-	0,71	2,70	2,90	1,20	1,88
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>	
3 nov 98	141,3	38,25	4,80	5,50	4,00	0,45	10,60
4 nov 98	141,3	38,25	8,00	5,60	4,00	0,45	11,26
5 nov 98	141,3	16,00	6,80	2,80	2,00	1,00	5,72
6 nov 98	141,3	4,00	5,60	4,00	1,70	0,70	3,20
7 nov 98	141,3	14,00	5,00	3,30	0,87	0,45	4,72
8 nov 98	141,3	11,00	4,80	3,40	0,86	0,46	4,10
9 nov 98	141,3	4,80	1,90	1,60	0,71	0,46	1,89
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>	
24 feb 99	141,3	29,20	8,00	4,00	6,70	6,90	10,96
25 feb 99	141,3	31,50	8,00	8,00	4,50	5,80	11,56
26 feb 99	141,3	38,25	7,00	4,90	4,00	1,20	11,07
27 feb 99	141,3	38,00	6,90	5,50	2,00	0,86	10,65
2 mrt 99	141,3	18,00	4,80	3,00	1,40	0,71	5,58
3 mrt 99	141,3	2,80	10,00	4,00	6,60	1,00	4,88
4 mrt 99	141,3	22,50	6,80	5,40	3,60	1,70	8,00
5 mrt 99	141,3	18,00	6,50	5,00	6,20	0,90	7,32
6 mrt 99	141,3	26,90	5,60	4,80	1,90	0,90	8,02
7 mrt 99	141,3	29,00	5,50	4,80	3,90	1,70	8,98
8 mrt 99	141,3	47,00	7,40	4,50	5,60	0,90	13,08
9 mrt 99	141,3	31,50	4,20	5,00	2,40	2,40	9,10





### 3 Gegevens zwevend transport (AZTM)

Tabel 16 Basisgegevens zwevend transport, inclusief spoeltransport.

datum	locatie	s-L2 (km)	s-L1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-AS (m <sup>2</sup> /dag)	s-R1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-R2 (m <sup>2</sup> /dag)	S <sub>zwevend</sub> (m <sup>3</sup> /dag)	Q <sub>AZTM</sub> (m <sup>3</sup> /s)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>		
15 feb 97	141,4	43,14	41,77	41,77	39,47	22,60	3333	881
16 feb 97	158,8	73,43	76,66	38,18	24,02	17,14	3919	935
17 feb 97	183,5	12,50	15,10	12,69	12,04	13,36	1262	651
18 feb 97	183,5	7,85	5,76	6,84	7,27	8,50	730	638
19 feb 97	141,4	1,29	2,20	3,09	2,50	1,60	196	596
26 feb 97	141,4	22,46	25,61	10,60	22,83	7,26	1517	808
27 feb 97	141,4	33,04	45,97	29,12	45,77	19,21	2978	995
1 mrt 97	141,4	16,13	14,35	14,02	17,96	14,47	1505	910
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>		
6 jan 98	141,3	10,24	15,16	12,65	14,01	15,15	1097	920
7 jan 98	141,3	12,66	14,13	16,17	14,47	12,92	1163	946
8 jan 98	141,3	7,58	13,89	14,09	7,62	14,81	1069	975
9 jan 98	141,3	4,25	5,93	5,04	3,07	7,33	511	850
10 jan 98	141,3	2,64	3,44	3,05	10,59	3,25	264	702
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>		
3 nov 98	141,3	46,77	9,22	47,32	27,80	46,77	3248	1476
4 nov 98	141,3	1,55	12,99	29,82	22,60	25,05	1465	1417
5 nov 98	141,3	0,59	7,22	16,34	13,13	18,20	852	1393
6 nov 98	141,3	0,49	4,55	6,01	5,24	8,89	384	1171
7 nov 98	141,3	0,00	5,13	2,21	2,75	2,66	188	956
8 nov 98	141,3	0,00	0,25	0,61	0,43	0,33	23	813
9 nov 98	141,3	0,00	0,00	1,56	0,11	0,21	28	790
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>		
24 feb 99	141,3	28,69	30,33	36,11	7,89	2,57	1691	1444
25 feb 99	141,3	25,52	22,25	20,74	3,53	0,39	1203	1356
26 feb 99	141,3	14,18	8,51	12,04	1,80	0,13	585	1093
27 feb 99	141,3	6,57	3,80	7,07	1,62	0,30	309	940
2 mrt 99	141,3	7,63	6,09	7,63	3,08	1,31	400	1021
3 mrt 99	141,3	29,90	28,37	24,68	16,00	10,94	1870	1219
4 mrt 99	141,3	33,66	26,01	35,53	14,54	5,74	1895	1395
5 mrt 99	141,3	26,93	25,53	26,95	9,08	2,23	1454	1396
6 mrt 99	141,3	21,23	15,35	25,74	2,84	0,15	1003	1437
7 mrt 99	141,3	14,39	10,27	12,27	1,04	0,01	586	1283
8 mrt 99	141,3	11,96	9,55	12,33	1,00	0,20	532	1196
9 mrt 99	141,3	9,36	6,73	7,78	0,88	0,42	389	1150

**Tabel 17** Basisgegevens zwevend transport, exclusief spoeltransport.

datum	locatie (km)	s-L2 (m <sup>2</sup> /dag)	s-L1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-AS (m <sup>2</sup> /dag)	s-R1 (m <sup>2</sup> /dag)	s-R2 (m <sup>2</sup> /dag)	S <sub>zwevend</sub> (m <sup>3</sup> /dag)	Q <sub>AZTM</sub> (m <sup>3</sup> /s)
		<u>-20,0 m</u>	<u>-7,5 m</u>	<u>5,0 m</u>	<u>17,0 m</u>	<u>30,0 m</u>		
15 feb 97	141,4	17,69	14,84	14,84	12,91	3,98	987	881
16 feb 97	158,8	30,49	39,35	16,48	8,51	6,26	1559	935
17 feb 97	183,5	2,87	1,83	4,43	3,91	2,77	270	651
18 feb 97	183,5	1,12	0,77	1,29	1,68	1,59	119	638
19 feb 97	141,4	0,17	0,26	0,42	0,30	0,15	24	596
26 feb 97	141,4	7,82	6,13	2,22	6,29	1,56	378	808
27 feb 97	141,4	11,02	12,38	10,49	15,23	2,88	775	995
1 mrt 97	141,4	5,09	5,47	4,94	8,60	3,33	453	910
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>		
6 jan 98	141,3	0,97	3,86	5,28	4,78	4,47	297	920
7 jan 98	141,3	1,91	4,65	2,99	4,18	3,89	267	946
8 jan 98	141,3	1,12	5,33	5,82	6,86	6,37	385	975
9 jan 98	141,3	0,34	2,66	1,73	2,76	2,56	152	850
10 jan 98	141,3	0,23	0,60	0,66	0,58	0,75	43	702
		<u>-30,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>0,0 m</u>	<u>15,0 m</u>	<u>30,0 m</u>		
3 nov 98	141,3	37,94	4,82	28,60	22,34	37,94	2338	1476
4 nov 98	141,3	1,55	5,27	25,63	19,47	23,61	1205	1417
5 nov 98	141,3	0,29	4,26	10,00	13,13	17,93	697	1393
6 nov 98	141,3	0,24	3,57	6,01	5,24	8,66	355	1171
7 nov 98	141,3	0,00	5,13	2,21	0,77	2,66	158	956
8 nov 98	141,3	0,00	0,25	0,61	0,43	0,33	23	813
9 nov 98	141,3	0,00	0,00	1,56	0,11	0,21	28	790
		<u>-28,0 m</u>	<u>-15,0 m</u>	<u>-2,0 m</u>	<u>11,0 m</u>	<u>24,0 m</u>		
24 feb 99	141,3	22,30	24,57	23,51	4,49	2,01	1206	1444
25 feb 99	141,3	13,08	15,02	17,44	2,79	0,39	722	1356
26 feb 99	141,3	12,38	6,62	12,04	1,80	0,13	513	1093
27 feb 99	141,3	5,00	3,64	4,18	0,58	0,16	211	940
2 mrt 99	141,3	7,33	5,79	7,22	2,37	0,56	354	1021
3 mrt 99	141,3	16,54	19,34	13,78	4,48	1,56	865	1219
4 mrt 99	141,3	25,76	21,24	25,63	5,86	1,83	1255	1395
5 mrt 99	141,3	21,71	20,58	23,50	7,06	1,69	1168	1396
6 mrt 99	141,3	20,26	15,12	24,50	2,84	0,15	947	1437
7 mrt 99	141,3	14,18	6,82	10,07	1,04	0,01	502	1283
8 mrt 99	141,3	11,51	9,55	11,79	1,00	0,09	508	1196
9 mrt 99	141,3	9,36	6,73	7,78	0,88	0,21	383	1150



---

## 4 Figuren bodemligging

---

---



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging januari 1997



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging januari 1997



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging april 1997



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging april 1997





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging juni 1997



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging juni 1997





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging september 1997



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging september 1997



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging februari 1998



Rijkswaterstaat

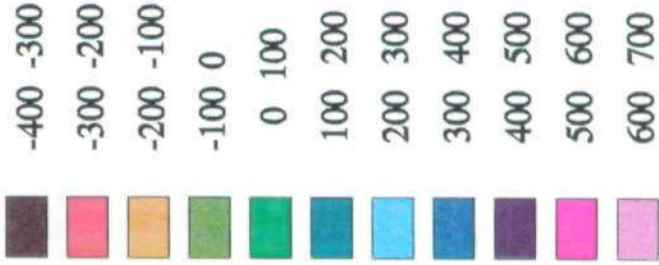
RIZA

Bodempelling en Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging februari 1998





Lodigen cm +NAP:



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging juni 1998



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging juni 1998





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging september 1998



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempelingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging september 1998



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging december 1998



Rijkswaterstaat  
RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging december 1998





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging maart 1999



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1  
Bodemligging maart 1999





## Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging juni 1999



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Bodemligging juni 1999



## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Vershil in bodemligging juni 1999 - januari 1997



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1999 - januari 1997





## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging april 1997 - januari 1997



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging april 1997 - januari 1997





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1997 - april 1997



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1997 - april 1997



## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Vershil in bodemligging juni 1999 - maart 1999



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1999 - maart 1999





## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging maart 1999 - december 1998



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempelingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging maart 1999 - december 1998





Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging december 1998 - september 1998



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging december 1998 - september 1998



Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging september 1998 - juni 1998



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging september 1998 - juni 1998





## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1998 - februari 1998



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging juni 1998 - februari 1998





## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging februari 1998 - september 1997



Rijkswaterstaat

RIZA



Bodempellingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging februari 1998 - september 1997



## Bodempeilingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging september 1997 - juni 1997



Rijkswaterstaat

RIZA

Bodempelingen Zandmaas Baggerbestek 1

Verschil in bodemligging september 1997 - juni 1997