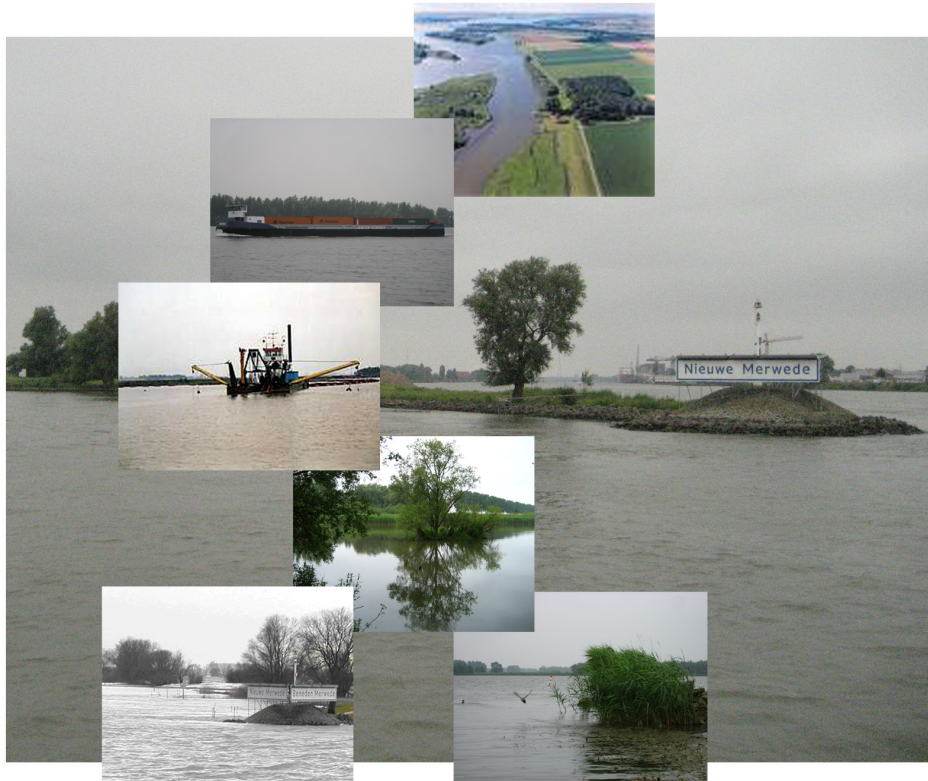


Het beheer van de Nieuwe Merwede

van een ongewilde erfenis

naar een duurzame toekomst



Concept afstudeeronderzoek
A.M. Ruijschoot

3 december 2007



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
COASTAL & RIVERS



Het beheer van de Nieuwe Merwede

van een ongewilde erfenis
naar een duurzame toekomst

Concept afstudeeronderzoek
A.M. Ruijschoot

3 december 2007

Afstudeercommissie:

dr. M.S. Krol
dr. ir. J.S. Ribberink
ing. R.H. Buijsrogge
dr. ir. C.M. Dohmen-Janssen
ir. G.W.R. Gerrits



HASKONING NEDERLAND B.V.
COASTAL & RIVERS



SAMENVATTING

Inleiding

In de huidige situatie voldoet de Nieuwe Merwede niet aan de gestelde functie-eisen. Zonder beheersingrepen worden er voor de toekomst geen verbeteringen verwacht in deze situatie. Met name de functies scheepvaart en milieu/ecologie zijn in het gedrang. Met het dichtmaken van de open zeeverbinding in het Haringvliet in het kader van de Deltawerken (1970), is de gemiddelde sedimentatie in de Nieuwe Merwede sterk toegenomen. In combinatie met de lozingen van verontreinigd afval(water) in de Rijn in de jaren '70 en '80, heeft dit de afzetting van lokaal sterk verontreinigde pakketten slib veroorzaakt. Deze verontreinigingen overschrijden de geldende normen voor een groot aantal chemische parameters. Nu de kwaliteit van het Rijnwater aanzienlijk is verbeterd, lijkt de tijd rijp voor de uitvoering van een pakket beheersmaatregelen waarmee de problemen in het gebied structureel worden aangepakt. Deze aanpak dient volgens de methodiek van "Integrated River Basin Management" te worden vormgegeven.

Doelstelling

Het ontwerp van een beheerplan met een aantal alternatieven voor de waterbodem van de Nieuwe Merwede voor een aangenomen toekomstscenario van 30 jaar, rekening houdend met de mogelijke invloed van klimaatverandering. Dit plan heeft betrekking op de morfologische ontwikkelingen van de waterbodem. Beschreven wordt welke ingrepen kansrijk zijn om te garanderen dat gedurende de hele periode wordt voldaan aan de in het toekomstscenario gestelde eisen. Deze eisen omvatten:

- *de waterkwaliteit in de Nieuwe Merwede (met betrekking tot erosie van verontreinigd sediment binnen het projectgebied)*
- *de minimale vaardiepte en -breedte voor de scheepvaart bij een hiervoor maatgevend debiet (met betrekking tot ondieptes ontstaan door sedimentatie)*
- *de minimale afvoercapaciteit (met betrekking tot het ontstaan van bottlenecks als gevolg van ontwikkelingen in het zomerbed binnen het projectgebied)*

De ontwikkeling van de waterbodem en de consequenties van de alternatieven zijn beoordeeld met behulp van de ééndimensionale morfologische SOBEK-RE schematisatie van het Noordelijk Deltabekken (NDB) door Mol (2004).

Problemen huidige situatie

Op weg naar het nieuwe natuurlijke evenwicht waar de rivier sinds 1970 naar streeft, zijn de doorstroomprofielen aanmerkelijk kleiner geworden. De vaargeul voldoet over meer dan de helft van zijn lengte niet aan de vereiste diepte. Bovendien zijn de gesedimenteerde lagen in het zomerbed tussen Kop van 't Land en de monding in het Hollandsch Diep zwaar verontreinigd. Deze lagen zijn vanaf de rivierbedding tot een diepte van 0,5 tot 4,0 m verontreinigd met klasse 3 tot 4+ materiaal.

Processen

De relatie tussen de waterkwaliteit en verontreinigingen in de rivierbodem is afhankelijk van een aantal variabelen: verontreinigingsgraad van het sediment, huidige waterkwaliteit en morfologische processen. Als het rivierwater door een dikke schone laag wordt gescheiden van de verontreinigingen, is het mogelijk dat er niet of nauwelijks sprake is van uitwisseling. Door morfologische processen verandert de bodemopbouw echter, waardoor het grensvlak voor uitwisseling van stoffen vergroot wordt tot de morfologisch actieve laag. Hierover kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Duinvorming (afvoerafhankelijk) is de bepalende factor voor de morfologisch actieve laag. Op basis van berekening van duinhoogten bij een afvoer van 15 000 m³/s bij Lobith, wordt de maximale dikte van deze laag aangenomen 0,5 m (+/- 50%) te bedragen

- Bij bankfull omstandigheden (+/- 2100 m³/s) kunnen de buitenbochten door het gecombineerde effect van spiraalstroming en duinvorming lokaal ook tot 0,5 m (+/- 50%) verdiepen

Doelstellingen

Concrete, meetbare doelstellingen voor het beheer van de Nieuwe Merwede in de eerstvolgende 30 jaar, kunnen voor een deel worden gekozen op basis van nationale- en Europese wetgeving. Deze worden aangevuld met de conclusies over de morfologisch actieve laag. De zo vastgestelde doelstellingen voor de jaren 2007 - 2037 zijn:

- gegarandeerde vaarwegdiepte bij OLW is tenminste 4,95 meter over 207 m breedte
- In het morfologisch actieve deel van de waterbodem (50 cm) wordt maximaal tot klasse 2 verontreinigd sediment aangetroffen
- Er mag geen verontreinigd sediment (klasse 3+) blijven liggen onder zones waarbij de grootschalige ontwikkeling erosie is
- Geen waterstandsverhoging bij MHW veroorzaakt door getroffen beheersmaatregelen

Naast deze doelstellingen wordt onderzocht in hoeverre klimaatverandering invloed heeft op de bodem. Op basis van actuele inzichten wordt de gevoeligheid getoetst van:

- Modelleren van een progressieve zeespiegelstijging van maximaal 35 cm tot 2037
- Modelleren van stijgende frequentie en intensiteit van extreme Rijn- en Maasafvoeren. Deze afvoeren dalen in de zomer en stijgen (vooral Rijn) in de winter.

SOBEK-RE schematisatie

Voor het berekenen van de ontwikkeling van de bodemhoogten, zijn 30 jaar-simulaties uitgevoerd voor het gehele Noordelijk Deltabekken met behulp van het SOBEK-RE model door Mol [2004]. Het ontbreken van essentiële informatie over in de laatste jaren gebaggerde volumes per locatie, maken het lastig om de resultaten van het gebruikte SOBEK-RE model te valideren. Als echter een marge voor deze onzekerheden wordt meegerekend, kan de werking van het model niet worden afgekeurd. Omdat de lange termijn voorspelling van het model (30 jaar) kwalitatief overeenkomt met de trend die in de laatste jaren is gemeten, wordt voor dit onderzoek aangenomen dat de resultaten een goede indicatie geven van de toekomstige trends. Hierbij moet rekening worden gehouden met de tekortkomingen van het ééndimensionale SOBEK-RE model: vooral het ontbreken van 3-dimensionale processen.

Autonome ontwikkeling & Gevoeligheid klimaatverandering

De autonome ontwikkeling van het gebied tot 2037, laat zien dat een morfologisch evenwicht bijna bereikt is. Alleen in het benedenstroomse deel van het projectgebied wordt meer sedimentatie verwacht. Klimaatverandering zal hier weinig aan veranderen. Beide onderzochte klimaatfactoren blijken –zelfs bij extreme ontwikkelingen– de gemiddelde bodemligging maximaal met enkele decimeters te beïnvloeden. Doordat de factoren een tegengestelde invloed hebben, is het geaccumuleerde effect verwaarloosbaar.

Beheersalternatieven

Op basis van het referentiescenario worden vijf nieuwe beheersalternatieven ontworpen. Deze alternatieven verschillen in strategie welke problematiek de meeste prioriteit verdient en op welke manier de aanpak dient te geschieden. Ze bestaan uit verschillende combinaties van de maatregelen nautisch baggeren, aanleg zandvang, volledig afgraven verontreinigd materiaal, verwijdering toplaag verontreinigd materiaal, natuurlijke afdekking en kunstmatige afdekking. De beheersalternatieven zijn:

- Nulalternatief
- Alternatief A: Vrije Doorvaart
- Alternatief B: Volledige sanering
- Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang
- Alternatief D: Integraal Beheer
- Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking

Resultaten

Om de beheersalternatieven op gelijke voet te kunnen beoordelen, zijn vier beoordelingscriteria opgesteld waarin alle functies zijn vertegenwoordigd: scheepvaart, veiligheid, milieu/ecologie en kosten voor uitvoering van de maatregelen. Er zijn geen wegingsfactoren toegekend aan de verschillende criteria, omdat de kennis voor een gefundeerde weging in dit onderzoek niet aanwezig is. Onderstaande tabel geeft de resultaten van elk beheersalternatief op deze criteria weer.

Alternatief	Scheepvaart	Milieu/ecologie	Veiligheid	Kosten
	++ = best -- = slechtst (getal tussen haakjes opgeteld resultaat)	++ = best -- = slechtst (getal tussen haakjes opgeteld resultaat)	++ = best -- = slechtst (getal tussen haakjes opgeteld resultaat)	++ = best -- = slechtst
nul	-- (-8)	0 (0)	--	0
A	0 (+2)	-- (-8)	0	41
B	-- (-8)	++ (+8)	++	132
C	+ (+4)	-- (-7)	+	34
D	+ (+3)	0 (-1)	++	137
E	-- (-6)	+ (+4)	+	156

Conclusies

- Maatregelen zuiver voor scheepvaart halen per definitie een slechte score op het criterium milieu/ecologie en vice versa
- Maatregelen gericht op een geïntegreerde doelstelling zijn per definitie kostbaar
- Succesvol integraal beheer is technisch haalbaar, maar hiervoor dienen de ontworpen alternatieven verder geoptimaliseerd te worden
- De gehanteerde aanpak (éénmalig nautisch baggeren) voor realisatie van de doelstellingen van de scheepvaart, blijkt niet goed gekozen. Vermoed wordt dat de resultaten verbeteren als periodiek baggeren als mogelijke maatregel wordt toegelaten. Tevens zullen de kosten hoogstwaarschijnlijk dalen
- Een zandvang kan voor de scheepvaart weliswaar functioneel zijn, maar dient dan groot te worden gedimensioneerd. Een dergelijke zandvang zal een slechte invloed hebben op de waterkwaliteit, omdat door migratie van de put dieperliggende benedenstroomse sedimenten zullen eroderen
- Een sanering van alleen de toplaag geeft redelijk goede resultaten, omdat in het gesaneerde deel van de rivier vooral sedimentatie plaatsvindt
- De geschiktheid van kunstmatige afdekking van de toplaag als Beheersmaatregel kon niet goed onderzocht worden door een slecht gekozen aanname. De maatregel blijft hierdoor ondanks slechte resultaten potentieel bruikbaar

Deze conclusies leiden tot de stelling dat het meest kansrijke beheerplan voor de Nieuwe Merwede zal bestaan uit een combinatie van de volgende maatregelen (indien deze combinatie kostendekkend kan worden uitgevoerd):

- Baggeren van de vaargeul tot aan het onderhoudsprofiel
- Monitoring van de vaargeul waarbij periodiek wordt gebaggerd indien nieuwe nautische knelpunten ontstaan. Het is te verwachten dat dit voornamelijk zal gebeuren na hoge afvoeren
- Afgraven toplaag met een dikte van 0,5 m over de verontreinigde oppervlakte
- (Eventueel kunstmatige afdekking indien deze aanpak in verder onderzoek een positieve invloed blijkt te hebben)

VOORWOORD

In maart 2007 ben ik begonnen aan dit afstudeeronderzoek, als afsluiting van een inspirerende, afwisselende en leerzame studietijd aan de opleiding Civiele Techniek in Enschede. Door het aanbod van Royal Haskoning om een afstudeerstage te faciliteren, was het mogelijk om de afsluiting van mijn studie te combineren met een kennismaking met de werkpraktijk van het watermanagement.

Dit verslag is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek. Het betreft het ontwerp van een beheerplan voor de bodem van de Nieuwe Merwede. Het onderzoek heeft voor het grootste deel plaatsgevonden op het hoofdkantoor van Royal Haskoning in Nijmegen.

Allereerst wil ik mijn directe begeleider Geert Gerrits bedanken: niet alleen voor het organiseren van mijn onderzoeksplek, maar vooral omdat hij altijd open stond voor vragen en regelmatig heeft geholpen op een dood punt oplossingen te vinden. Verder wil ik René Buijsrogge bedanken voor zijn voortdurende inzet om alle moeilijkheden die met het SOBEK-model gepaard gingen op te lossen. Ook mijn begeleiders Maarten Krol en Marjolein Dohmen-Janssen verdienen mijn dank, voor de vele nuttige tips en commentaren die zij mij tijdens vergaderingen, in gecorrigeerde hoofdstukken en via de mail hebben toegespeeld. Verder wil ik Jan Ribberink in het bijzonder bedanken voor het invallen voor Marjolein, die wegens enige uitloop van mijn onderzoeksperiode niet bij de afsluiting aanwezig kan zijn. Tenslotte wil ik al mijn collega's op het kantoor in Nijmegen bedanken voor de dagelijkse gezelligheid, goede raad en lekkere taarten waar bijna wekelijks op werd getraakteerd.

Nijmegen, 3 december 2007

Adriaan Ruijschoot

INHOUDSOPGAVE

LIJST MET AFKORTINGEN.....	XIII
----------------------------	------

BEGRIPPENLIJST	XIV
----------------------	-----

1 INLEIDING ONDERZOEK	1
------------------------------------	----------

1.1 ONDERZOEKSKADER	1
---------------------------	---

1.2 DOELSTELLING AFSTUDEERONDERZOEK.....	2
--	---

1.3 ONDERZOEKSOPZET	3
---------------------------	---

1.3.1 ONDERZOEKSVRAGEN.....	3
-----------------------------	---

1.3.2 METHODIEK.....	3
----------------------	---

1.4 LEESWIJZER.....	4
---------------------	---

2 BESCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE	5
--	----------

2.1 INLEIDING.....	5
--------------------	---

2.2 GEBIEDSBESCHRIJVING	5
-------------------------------	---

2.2.1 DEFINITIE PROJECTGEBIED.....	6
------------------------------------	---

2.2.2 AFMETINGEN PROJECTGEBIED.....	7
-------------------------------------	---

2.2.3 INRICHTING.....	7
-----------------------	---

2.3 WATERHUISHOUDING EN SEDIMENTBALANS.....	8
---	---

2.3.1 WATERSTAATKUNDIGE EN GEOLOGISCHE HISTORIE	8
---	---

2.3.2 HUIDIGE SITUATIE	9
------------------------------	---

2.3.3 WATERKWALITEIT	11
----------------------------	----

2.4 WATERBODEM IN BEELD	12
-------------------------------	----

2.4.1 BODEMHOOGTEN.....	12
-------------------------	----

2.4.2 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE BODEM.....	13
--	----

2.4.3 VERONTREINIGING VAN DE BODEM.....	14
---	----

2.4.4 AANGEVOERDE VERONTREINIGING.....	16
--	----

2.5 BELANGRIJKSTE CONCLUSIES HUIDIGE SITUATIE	17
---	----

3 MORFOLOGISCHE PROCESSEN IN DE BENEDENRIVIEREN	18
--	-----------

3.1 INLEIDING.....	18
--------------------	----

3.2 INVLOED VERONTREINIGD SLIB OP WATERKWALITEIT	18
--	----

3.3 HOGE AFVOEREN.....	20
------------------------	----

3.4 DUINVORMING	21
-----------------------	----

3.4.1 SCHATTING DUINHOOGTEN OP BASIS VAN THEORIE	21
--	----

3.4.2 KEUZE MAATGEVENDE ECOLOGISCHE AFVOER	22
--	----

3.4.3 GEVOLGEN NIEUWE MERWEDE	23
-------------------------------------	----

3.5 BOCHTMORFOLOGIE	23
---------------------------	----

3.6 CONCLUSIE	26
---------------------	----

4 UITGANGSPUNTEN NIEUWE MERWEDE 2037	27
---	-----------

4.1 INLEIDING FUNCTIES NIEUWE MERWEDE	27
---	----

4.2 EÉN REFERENTIESCENARIO VOOR 2037	27
--	----

4.3	WATERHUISHOUDING 2037	28
4.3.1	INLEIDING	28
4.3.2	KLIMAATVERANDERING IN NOORDWEST EUROPA [KNMI, 2006].....	28
4.3.3	GEVOLGEN VOOR ZEESPIEGEL	30
4.3.4	GEVOLGEN VOOR RIJN EN MAAS	31
4.3.5	VERGELIJKING MET HOOGWATERBELEID.....	32
4.3.6	CONCLUSIE: EISEN EN RANDVOORWAARDEN VANUIT DE WATERHUISHOUDING	33
4.4	SCHEEPVAART 2037	34
4.4.1	INLEIDING	34
4.4.2	ALGEMENE ONTWIKKELINGEN BINNENVAART.....	34
4.4.3	CONCLUSIE: EISEN VANUIT DE SCHEEPVAART	35
4.5	WATERKWALITEIT 2037.....	36
4.5.1	INLEIDING ONTWIKKELING WATERKWALITEIT RIJN.....	36
4.5.2	VERGELIJKING HUIDIGE SITUATIE MET RELEVANTE BELEIDSDOCUMENTEN.....	36
4.5.3	CONCLUSIE: EISEN VANUIT DE WATERKWALITEIT	38
4.6	CONCLUSIE NIEUWE MERWEDE 2037.....	38
5	<u>MODELOPZET</u>	<u>40</u>
5.1	INLEIDING.....	40
5.2	MORFOLOGISCHE MODELLERING MET SOBEK-RE	40
5.3	SCHEMATISATIE NOORDELIJK DELTABEKKEN.....	42
5.3.1	TOTSTANDKOMING.....	42
5.3.2	EIGENSCHAPPEN SCHEMATISATIE NDB MOL [2004]	42
5.3.3	AANPASSING BAGGERHOEVEELHEDEN	45
5.3.4	ONZEKERHEID NDB-MODEL MOL [2004].....	46
5.4	VALIDATIE MODEL.....	46
5.4.1	VERGELIJKING BEGINSITUATIE MODEL MET WERKELIJKHEID	46
5.4.2	VERGELIJKING RESULTATEN OVER 5 JAAR	47
5.4.3	DISCUSSIE TEKORTKOMINGEN SOBEK-RE.....	49
5.4.4	CONCLUSIE VALIDATIE.....	51
5.5	GEVOELIGHEIDSANALYSE KLIMAATVERANDERING	51
5.5.1	MODELLERING ZEESPIEGELSTIJGING.....	52
5.5.2	MODELLERING EXTREMERE AFVOEREN	52
5.6	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	53
6	<u>ALTERNATIEVEN</u>	<u>55</u>
6.1	INLEIDING.....	55
6.2	REFERENTIESCENARIO	55
6.2.1	RESULTATEN NULALTERNATIEF.....	55
6.2.2	RESULTATEN GEVOELIGHEID VOOR KLIMAATVERANDERING	56
6.2.3	CONCLUSIE REFERENTIESCENARIO.....	57
6.3	MOGELIJKE BEHEERSINGREPEN	57
6.4	ZES BEHEERSALTERNATIEVEN	59
6.4.1	INLEIDING	59
6.4.2	ALTERNATIEF A: VRIJE DOORVAART	60
6.4.3	ALTERNATIEF B: VOLLEDIGE SANERING	61
6.4.4	ALTERNATIEF C: VRIJE DOORVAART MET ZANDVANG.....	62
6.4.5	ALTERNATIEF D: INTEGRAAL BEHEER	63
6.4.6	ALTERNATIEF E: INTEGRAAL BEHEER MET AFDEKKING.....	64
6.4.7	SAMENVATTING ALTERNATIEVEN.....	66

6.5	CONCLUSIE ALTERNATIEVEN	66
7	<u>RESULTATEN BEHEERSALTERNATIEVEN</u>	<u>67</u>
7.1	INLEIDING.....	67
7.2	BEOORDELINGSCRITEIA ALTERNATIEVEN.....	67
7.2.1	SCHEEPVAART.....	67
7.2.2	MILIEU/ECOLOGIE	68
7.2.3	VEILIGHEID.....	69
7.2.4	KOSTEN	70
7.3	BEOORDELING BEHEERSALTERNATIEVEN	71
7.3.1	SAMENVATTING RESULTATEN	71
7.3.2	RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEHEERSALTERNATIEVEN	71
7.3.3	ANALYSE RESULTATEN BEHEERSALTERNATIEVEN	76
7.4	CONCLUSIES BEHEERSMAATREGELEN.....	76
7.4.1	EFFECTIVITEIT AFZONDERLIJKE MAATREGELEN.....	76
7.4.2	OPTIMAAL BEHEERSALTERNATIEF	79
7.5	DISCUSSIE RESULTATEN	80
7.6	CONCLUSIE	82
8	<u>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</u>	<u>84</u>
8.1	CONCLUSIES	84
8.2	AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	86
	REFERENTIES.....	87
	GERAADPLEEGDE EXPERTS.....	91
	<u>BIJLAGEN.....</u>	<u>92</u>
	<u>KAARTEN</u>	<u>128</u>

<u>BIJLAGE 1: WATERSTAATKUNDIGE EN GEOLOGISCHE HISTORIE.....</u>	<u>93</u>
<u>BIJLAGE 2: INGREPEN IN HET WATERSYSTEEM SINDS 1970</u>	<u>95</u>
<u>BIJLAGE 3: SEDIMENTBALANS NOORDELIJK DELTABEKKEN</u>	<u>97</u>
<u>BIJLAGE 4: REKENVOORBEELD DUINHOOGTEN NIEUWE MERWEDE.....</u>	<u>98</u>
<u>BIJLAGE 5: CLASSIFICATIE SCHEEPVAARTTYPEN</u>	<u>100</u>
<u>BIJLAGE 6: KWANTIFICERING ZEEPIEGELSTIJGING (IN SOBEK-RE)</u>	<u>101</u>
<u>BIJLAGE 7: MODELKEUZE.....</u>	<u>103</u>
<u>BIJLAGE 8: VERGELIJKINGEN MORFOLOGISCHE BEREKENINGEN SOBEK-RE</u>	<u>105</u>
<u>BIJLAGE 9: ONTWIKKELING OP KM 978 RONDON EEN HOGE RIJNAFVOER.....</u>	<u>108</u>
<u>BIJLAGE 10: RESULTATEN AUTONOME ONTWIKKELING ONDER INVLOED VAN KLIMAATVERANDERING</u>	<u>109</u>
<u>BIJLAGE 11: GRAFISCHE WEERGAVE BEHEERSALTERNATIEVEN.....</u>	<u>111</u>
<u>BIJLAGE 12: KAARTEN WIJZIGINGEN BODEMHOOGTE IN SOBEK.....</u>	<u>114</u>
<u>BIJLAGE 13: RESULTATEN BEHEERSALTERNATIEVEN.....</u>	<u>115</u>
<u>BIJLAGE 14: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM SCHEEPVAART</u>	<u>118</u>
<u>BIJLAGE 15: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM MILIEU/ECOLOGIE</u>	<u>120</u>
<u>BIJLAGE 16: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM VEILIGHEID</u>	<u>122</u>
<u>BIJLAGE 17: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM KOSTEN</u>	<u>123</u>
<u>BIJLAGE 18: EFFECTIVITEIT ZANDVANG</u>	<u>126</u>

LIJST MET AFKORTINGEN

CEMT:	Commissie van Europese Ministers van Transport
E & H:	Engelund & Hansen
EU:	Europese Unie
GIS:	Geografisch InformatieSysteem
HSW:	Handleiding Sanering Waterbodems
HVN:	HerVerontreinigingsNiveau (Rijntakken)
HW:	HoogWater (getij)
ICBR:	Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
KNMI:	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KRW:	KaderRichtlijn Water
LW:	LaagWater (getij)
MHW:	Maatgevend HoogWater
MinV&W:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
MTR:	Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau
N.A.P.	Normaal Amsterdams Peil
NDB:	Noordelijk DeltaBekken: het Nederlandse benedenrivierengebied tussen Hagestein (Lek), Tiel (Waal), Lith (Maas), Hoek van Holland (Nieuwe Waterweg) en de Haringvlietdam (Haringvliet). Zie Figuur 5-2
NW4:	Vierde Nota Waterhuishouding
PKB RvR:	Planologische KernBeslissing Ruimte Voor de Rivieren
OLW:	Overeengekomen LaagWater
RAO:	Regionaal Ambtelijk Overleg
RWS:	RijksWaterStaat
SOBEK-RE:	SOBEK-River/Estuary (zie begrippenlijst)

BEGRIPPENLIJST

Adsorptie:	Een oppervlakteverschijnsel waarbij de moleculen van het materiaal dat opgenomen wordt (b.v. verontreiniging) verspreid worden over de oppervlakte (inclusief poriën en capillairs) van het onoplosbare adsorbtiemateriaal
Bankfull:	De rivierafvoer waarbij het zomerbed tot aan de nok van de zomerdijken is gevuld met water, maar de uiterwaarden nog droog zijn. Voor enkele morfologische processen is dit de dominante afvoer
Baseline:	Software waarmee gebiedsschematisaties kunnen worden ingevoerd in hydraulische rekenprogramma's als WAQUA of SOBEK. Op basis van een GIS-database worden geografische kenmerken van het projectgebied gestructureerd ingevoerd
Bifurcatie:	Riviersplitsing (b.v. Pannerdensche Kop, Splitsing Merweden)
Desorptie:	Het proces waarbij een geadsorbeerd deeltje terug gaat naar de opgeloste fase (zie adsorptie)
Diffusie:	Het proces waarbij het bestaan van een hoge concentratie van een bepaalde stof naast een lage concentratie van dezelfde stof wordt tegengegaan. Hierbij zullen deeltjes bewegen van de hoge concentratie naar de lage concentratie
Kalibratie:	Het instellen van een model zodat de resultaten van simulaties onder alle omstandigheden zo goed mogelijk aansluiten bij gemeten data
Delft3D:	Hydraulisch rekenprogramma voor simulatie van 2- en 3-dimensionale processen in oppervlaktewater. Gebruikt langs kusten, rivieren, estuaria, enz.
Flocculatie:	De vorming van grotere vlokken tussen kleine geladen (slib-) deeltjes door hun elektrostatische aantrekkingskracht
Hydraulica:	De leer van de vloeistoffen, omvattende de hydrostatica en de hydrodynamica
Kribvak:	Niet stroomvoerende deel van rivier begrensd door de oever, een bovenstroomse kribbe, het stroomvoerende deel van de rivier en een benedenstroomse kribbe
(Sub)kritische stroming:	Stroming waarbij het Froude-getal < 1 . Verstoringen in het wateroppervlak kunnen zich in bovenstroomse richting verplaatsen
Laterale onttrekking:	Zijdelingse onttrekking van water of sediment uit een riviertak. Dit volume verdwijnt uit het watersysteem
Maatgevend Hoogwater:	Hoogste afvoer waaraan de Nederlandse dijken wettelijk verplicht zijn te voldoen. De hoogte van deze afvoer is locatieafhankelijk
Modal split:	Procentueel aandeel van verschillende vervoermiddelen in het totale transport
(Hydro)Morfologie:	Morfologie bestudeert de wisselwerking tussen de beweging van het water, het transport van zand en slib en de afkalving (erosie), aanzanding en aanslibbing in de rivier (of in zee).

Morfologisch actieve laag:	De toplaag van de bodem die regelmatig invloed ondervindt van erosie en sedimentatie (voornamelijk korte termijn).
Multibeam peilingen:	Zeer nauwkeurige en gedetailleerde meting van bodemhoogten, op basis van een waaier-vormige sonar scan. Meestal uitgevoerd vanaf een schip
Nalevering:	Het vertraagd vrijkomen van gebiedsvreemde stoffen door een herstelde interactie met de rivier, na een periode van opslag
Overdiepte:	Hoogteverschil tussen de onderhoudsdiepte en de minimaal vereiste diepte voor de scheepvaart. De overdiepte heeft als functie dat de minimaal vereiste diepte voor de scheepvaart in de komende jaren te allen tijde behaald wordt, rekening houdend met eventuele (tijdelijke) sedimentatie
Overeengekomen LaagWater:	De referentiewaterstand die voorkomt bij een Overeengekomen Lage Afvoer: de laagste afvoer waarbij ongelimiteerde doorvaart gegarandeerd wordt door de waterbeheerder
Poriënwater:	Water in de interstitiële (open) ruimte tussen sedimentkorrels
Sleephopperzuiger:	Een sleephopperzuiger is een vrijvarend schip dat is uitgerust met één of twee zuigpijpen, die worden gebruikt voor het baggeren van een waterbodem
(De) Slufter:	Baggerdepot op de Maasvlakte, gecreëerd om te voorzien in de vraag naar een veilige locatie waar zwaar verontreinigd sediment gestort kan worden
SOBEK-RE:	Hydraulisch rekenprogramma voor simulatie van ééndimensionale hydrodynamische processen in rivieren en estuaria
Sterk veranderd:	Een sterk veranderd water is een water welke door hydro-morfologische wijzigingen als gevolg van menselijke activiteiten wezenlijk veranderd is van aard
Vaargeul:	Het deel van het zomerbed waarvan vereist is dat het voldoet aan de eisen van de beroepsvaart
Vaarweg:	Het zomerbed exclusief de vaargeul, kribvakken en droge oevers
Validatie:	Het achteraf aantonen van de nauwkeurigheid van een model door vergelijking van de modeluitvoer met meetgegevens
WAQUA:	Hydraulisch rekenprogramma voor simulatie van 2-dimensionale hydrodynamische processen in rivieren
Winterbed:	De bodem in het gebied tussen twee winterdijken. Het winterbed is de maximale begrenzing van de rivier zonder dijkdoorbraken. Een deel van het winterbed (uiterwaarden) staat voor een groot deel van het jaar droog en kan dan benut worden voor andere functies
Zomerbed:	De bodem in het gebied tussen twee zomerdijken. Het grootste deel van het zomerbed staat permanent onder water

1 INLEIDING ONDERZOEK

1.1 Onderzoekskader

Probleembeschrijving

In de huidige situatie voldoet de Nieuwe Merwede niet aan de gestelde functie-eisen. Zonder beheersingrepen worden er voor de toekomst geen verbeteringen verwacht in deze situatie. Met name de functies scheepvaart en milieu/ecologie zijn in het gedrang. Omdat de Nieuwe Merwede deel uitmaakt van het belangrijkste binnenvaartnetwerk én midden in een natuurgebied ligt, is dit een onacceptabele situatie. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de extreme ontwikkeling die het systeem gedurende de laatste vijftig jaar heeft doorgemaakt.

Met het dichtmaken van de open zeeverbinding in het Haringvliet in het kader van de Deltawerken (1970), is de sedimentbalans in de Nieuwe Merwede ingrijpend veranderd. Door de afgenomen (getijden)dynamiek is de gemiddelde sedimentatie sterk toegenomen. In combinatie met de lozingen van verontreinigd afval(water) in de Rijn in de jaren '70 en '80, heeft dit de afzetting van lokaal sterk verontreinigde pakketten slib veroorzaakt. Deze verontreinigingen overschrijden de geldende normen voor een groot aantal chemische parameters. Nu de kwaliteit van het Rijnwater aanzienlijk is verbeterd, lijkt de tijd rijp voor de uitvoering van een pakket beheersmaatregelen waarmee de problemen in het gebied structureel worden aangepakt.

Geheel volgens de huidige tijdgeest binnen het waterbeheer, dient de beschreven problematiek volgens de methodiek van "Integrated River Basin Management" te worden onderzocht en opgelost. Niet alleen de functie-eisen van de twee beschreven functies moeten hierbij worden nagestreefd; er dient rekening te worden gehouden met alle (gebruiks-) functies die de Nieuwe Merwede herbergt, binnen het kader van de ontwikkelingen op stroomgebiedsniveau. De beste combinatie van betaalbare maatregelen zal uiteindelijk bepalen hoe het gebied wordt heringericht en in de komende tientallen jaren beheerd kan worden.

Aanvullend onderzoek "Sanering, herstel en onderhoud Nieuwe Merwede"

Royal Haskoning voert in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat een voorbereidend onderzoek uit naar de mogelijkheden tot sanering, herstel en onderhoud van de Nieuwe Merwede [Royal Haskoning, 2007]. Het verontreinigd sediment neemt in dit onderzoek een centrale plaats in. Op basis van de geografische, hydrologische, chemische en morfologische kenmerken van het projectgebied, worden de risico's geïdentificeerd die het verontreinigd sediment met zich mee brengt. Deze risico's worden opgedeeld in vier risicosporen: de risico's voor de mens, de ecologische risico's, de risico's van verspreiding naar het oppervlaktewater en de risico's van verspreiding naar het grondwater [RWS, 2006-III].

Dit afstudeeronderzoek vormt een uitgebreide verdieping van het spoor "risico's van verspreiding via het oppervlaktewater". Er wordt naar gestreefd om dit complexe aspect van de problematiek volledig in kaart te brengen, in samenspraak met alle andere functies die door de vorm en kwaliteit van de bodem worden beïnvloed. Het onderzoek spitst zich toe op de morfologische ontwikkelingen van de waterbodem. Vanwege de complexiteit van morfologische berekeningen, wordt hiervoor gebruik gemaakt van een hydraulisch- en morfologisch rekenmodel.

Benodigde ingrepen zullen kapitaal- en kostenintensief zijn. Om deze reden wordt gezocht naar robuuste beheersmaatregelen die tientallen jaren mee kunnen. Deze

maatregelen worden op basis van verschillende beheersstrategieën met elkaar gecombineerd, waarbij wordt gestreefd naar de optimale combinatie. Ook de actuele trend van klimaatverandering, die in het waterbeheer van groot belang is, wordt meegenomen in de beschouwing vanwege de lange tijdshorizon van het onderzoek.

1.2 Doelstelling afstudeeronderzoek

Op basis van een verkennend onderzoek uitgevoerd naar aanleiding van het beschreven kader, wordt de volgende doelstelling van dit afstudeeronderzoek geformuleerd:

Doelstelling:

Het ontwerp van een beheerplan met een aantal alternatieven voor de waterbodembodem van de Nieuwe Merwede voor een aangenomen toekomstscenario van 30 jaar, rekening houdend met de mogelijke invloed van klimaatverandering. Dit plan heeft betrekking op de morfologische ontwikkelingen van de waterbodembodem. Beschreven wordt welke ingrepen kansrijk zijn om te garanderen dat gedurende de hele periode wordt voldaan aan de in het toekomstscenario gestelde eisen. Deze eisen omvatten:*

- *de waterkwaliteit in de Nieuwe Merwede (met betrekking tot erosie van verontreinigd sediment binnen het projectgebied)*
- *de minimale vaardiepte en -breedte voor de scheepvaart bij een hiervoor maatgevend debiet (met betrekking tot ondieptes ontstaan door sedimentatie)*
- *de minimale afvoercapaciteit (met betrekking tot het ontstaan van bottlenecks als gevolg van ontwikkelingen in het zomerbed binnen het projectgebied)*

De gekozen route om dit doel te verwezenlijken is gedefinieerd als volgt:

*Voor het opstellen van het beheerplan wordt een aantal alternatieven ontworpen (bestaande uit combinaties van ingrepen voor sanering, herstel en onderhoud van de Nieuwe Merwede). De ontwikkeling van de waterbodembodem en de consequenties van de alternatieven worden beoordeeld** met behulp van de morfologische SOBEK-RE schematisatie van het Noordelijk Deltabekken (NDB) door Mol (2004), indien nodig aangevuld met expert judgement voor analyse van lokale 3-D effecten.*

***Toelichting “toekomstscenario”:** voor het bereiken van de bovenstaande doelstelling wordt eerst een toekomstscenario ontwikkeld waarin de eisen aan de Nieuwe Merwede in 2037 worden beschreven. Deze eisen zijn afhankelijk van de functies die de rivier in 2037 gegarandeerd moet kunnen vervullen en worden grotendeels vastgesteld op basis van huidige nationale en Europese wetgeving. Hierin krijgt onderzoek naar de invloed van klimaatverandering een vooraanstaande rol.

****Toelichting “beoordeling consequenties van alternatieven”:** deze beoordeling omvat twee aspecten. Enerzijds wordt geanalyseerd in hoeverre de Nieuwe Merwede in de periode 2007 – 2037 aan haar functie-eisen voldoet. Anderzijds wordt nagegaan welke kosten gemaakt worden voor uitvoering van de maatregelen. Voor beide aspecten worden beoordelingscriteria opgesteld.

1.3 Onderzoeksofzet

1.3.1 Onderzoeksvragen

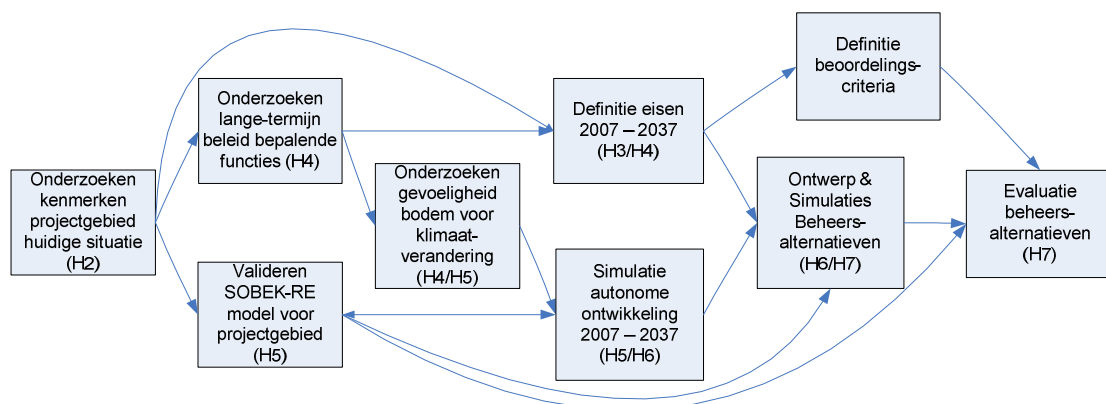
Voor het bereiken van de gestelde onderzoeksdoelstelling wordt de problematiek opgedeeld in zeven onderzoeksvragen. Elke onderzoeksvraag heeft betrekking op een afzonderlijk deelgebied van de problematiek. Een antwoord op elke vraag is onontbeerlijk voor het bereiken van de uiteindelijke doelstelling en het beoordelen van de waarde van de conclusies. De volgende onderzoeksvragen worden geformuleerd:

Onderzoeksvragen:

1. Welke kenmerken heeft de Nieuwe Merwede in de huidige situatie?
2. Welke processen domineren de ontwikkeling van de vorm en kwaliteit van de Nieuwe Merwede?
3. Aan welke eisen moet de Nieuwe Merwede in de periode 2007 - 2037 voldoen voor het waarborgen van haar functies?
4. In hoeverre zijn de resultaten van het morfologische SOBEK-RE model bruikbaar en waar schiet dit model tekort?
5. Welke alternatieven dragen bij aan de doelstelling?
6. Welke consequenties hebben deze alternatieven?
7. Wat is de onzekerheid van de resultaten?

1.3.2 Methodiek

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen wordt de methodiek gebruikt weergegeven in Figuur 1-1. Elk blok in deze figuur benoemt een activiteit die is uitgevoerd in het kader van het onderzoek. De pijlen geven aan waar uitkomsten van eerdere activiteiten gebruikt worden in latere activiteiten. Onderaan staat tussen haakjes vermeld in welk hoofdstuk de uitvoering en resultaten van de betreffende activiteit worden beschreven.



Figuur 1-1: Systeemdiagram van de onderzoeksmethodiek

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt het projectgebied uitgebreid in kaart gebracht, waarbij de focus ligt op de waterbodem en de morfologie. Verder worden in algemene termen de geografie, morfologische geschiedenis en waterhuishouding beschreven. Hoofdstuk 3 bevat een theoretische beschouwing van de processen die de vorm en kwaliteit van de bodem domineren. In Hoofdstuk 4 volgt een uiteenzetting van de functies van de Nieuwe Merwede. Door te onderzoeken welke eisen nationale en Europese wetgeving stelt voor de eerstvolgende 30 jaar, kunnen functie-eisen worden geformuleerd waaraan zowel het ontwerp als de toetsing van beheerplannen kan worden gekoppeld. Het gebruikte SOBEK-RE model voor het onderzoeken van de morfologische ontwikkeling wordt beschreven in Hoofdstuk 5. Verder wordt hier de geschiktheid van het model voor toepassing in dit onderzoek gevalideerd en wordt kort beschreven hoe klimaatverandering onderzocht wordt. Hoofdstuk 6 begint met een beschrijving van de autonome ontwikkeling, waaruit blijkt hoe (on)gevoelig de bodem van de Nieuwe Merwede is voor klimaatverandering. Na een korte beschouwing van mogelijke maatregelen, bestaat dit hoofdstuk verder vooral uit een uitgebreide beschrijving van het ontwerp van de zes beheersalternatieven. In Hoofdstuk 7 worden de resultaten gepresenteerd en uitgebreid geanalyseerd op basis van een tevens in dit hoofdstuk beschreven beoordelingsmethodiek. In Hoofdstuk 8 tenslotte worden de belangrijkste bevindingen voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen gepresenteerd.

2 BESCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE

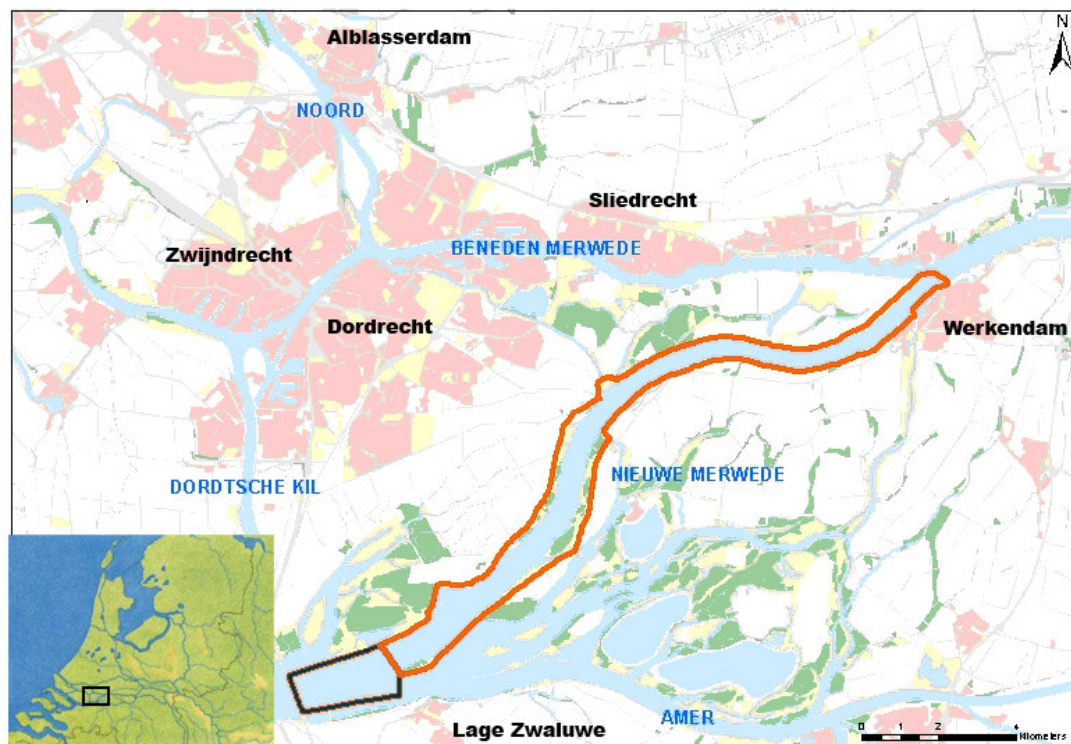
2.1 Inleiding

De eerste onderzoeksvraag: “Welke kenmerken heeft de Nieuwe Merwede in de huidige situatie?” wordt in dit hoofdstuk beantwoord. Hiervoor wordt een opdeling in een aantal deelvragen gemaakt, waarin de aspecten die van belang zijn voor het beheer van de bodem de meeste aandacht krijgen.

In paragraaf 2.2 worden de ligging, afmetingen en inrichting van het projectgebied beschreven. De waterhuishouding en sedimentbalans worden in paragraaf 2.3 onder de loep genomen, zowel nu als in het verleden. Hieronder valt ook een beschrijving van de ontwikkeling van de waterkwaliteit in de tijd. In paragraaf 2.4 wordt gefocust op de vorm en kwaliteit van de bodem. Achtereenvolgens komen aan bod: bodemhoogten van 1970 tot heden, fysische kenmerken van het sediment, verontreiniging van het sediment en tenslotte de kwaliteit van het aangevoerde sediment. In paragraaf 2.5 wordt uiteengezet wat de belangrijkste conclusies zijn voor de beantwoording van de eerste onderzoeksvraag.

2.2 Gebiedsbeschrijving

De Nieuwe Merwede is een door menselijke ingrepen ontstane Rijntak in het benedenrivierengebied, op de grens tussen Zuid-Holland en Noord-Brabant. Het is een zoetwater getijdenrivier, die gemiddeld 55% van het water van de Boven Merwede afvoert [RWS, 2003]. Bovenstrooms liggen de Waal en de Boven Merwede, benedenstrooms het Hollandsch Diep en het Haringvliet. De gehele Nieuwe Merwede bevindt zich in het Nationaal Park de Biesbosch, een voor Nederland uniek wetlandsgebied dat zich aan beide zijden van de rivier uitstrekt. In Figuur 2-1 is de ligging van de Nieuwe Merwede in het Nederlandse benedenrivierengebied weergegeven.

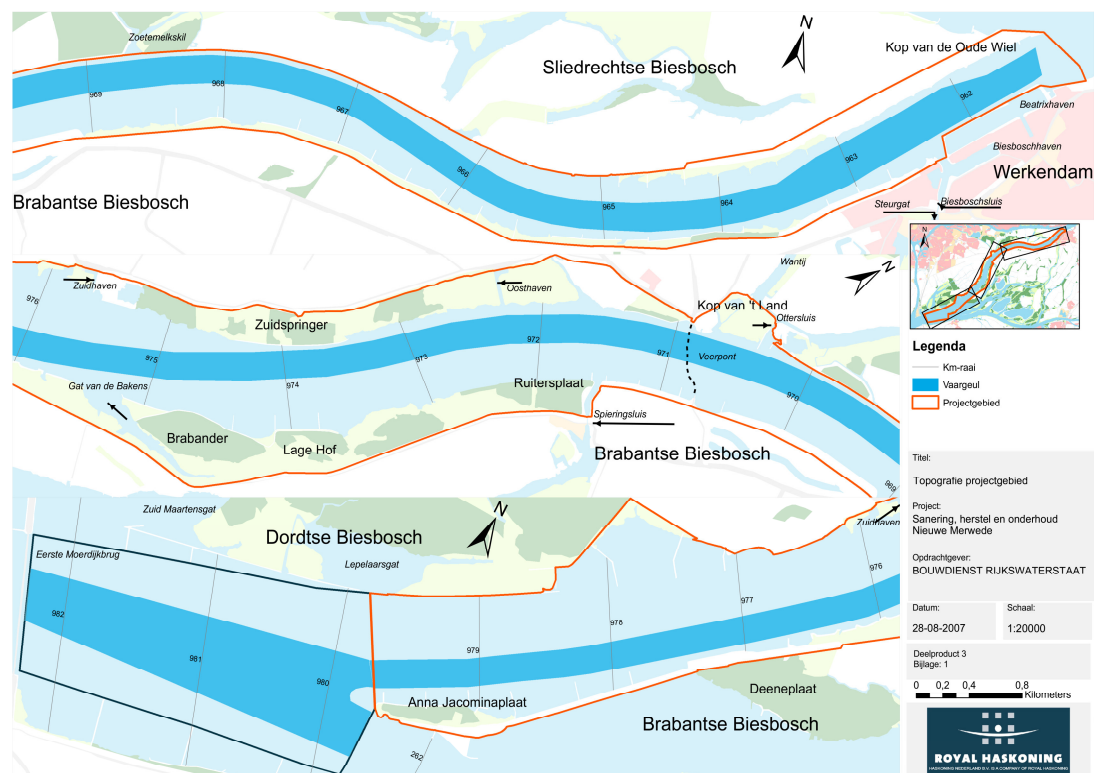


Figuur 2-1: Geografische ligging Nieuwe Merwede (rode omkadering) [Royal Haskoning, 2007]

N.B. Op een aantal figuren, waaronder de Figuren 2-1 en 2-2, wordt naast het hier beschreven projectgebied ook een deel van het Hollandsch Diep in kaart gebracht (blauwe omkadering). Dit komt doordat de kaarten afkomstig zijn van het project "Sanering, herstel en onderhoud Nieuwe Merwede" van Royal Haskoning. In dit project gelden andere gebiedsgrenzen.

2.2.1 Definitie projectgebied

Het projectgebied betreft de gehele Nieuwe Merwede van winterdijk tot winterdijk. In Figuur 2-2 is de afbakening van het projectgebied in detail aangegeven. De bovenstroomse begrenzing is het splitsingspunt van de Nieuwe Merwede en de Beneden Merwede, ter hoogte van Werkendam (km raai 961). De benedenstroomse begrenzing is de samenvloeiing met de Amer in het Hollandsch Diep, ter hoogte van de benedenstroomse punt van de Anna Jacominaplaat (km raai 980). De Amer en het Hollandsch Diep vallen niet binnen het projectgebied. De begrenzing van het projectgebied geldt van winterdijk tot winterdijk, afgezien van de oevers die deel uitmaken van de Sliedrechtse- en Dordtse Biesbosch. Hier is de begrenzing de uiterste noordrand van het zomerbed inclusief kribvakken.



Figuur 2-2: Afbakening en topografie projectgebied. Tevens opgenomen als Kaart 1 [Royal Haskoning, 2007]

In de rest van het rapport wordt met de naam "Nieuwe Merwede" het gehele rood omkaderde projectgebied aangeduid, tenzij anders aangegeven.

2.2.2 Afmetingen projectgebied

Het projectgebied heeft een totale lengte van bijna 19 km. De gemiddelde breedte van het zomerbed inclusief kribvakken is ongeveer 600 m, oplopend van 400 m bij Werkendam tot 800 m bij de monding in het Hollandsch Diep. De continu watervoerende geul heeft een gemiddelde breedte van 470 m, in stroomafwaartse richting toenemend van 375 m tot 695 m [RWS, 2003]. Het horizontale oppervlak op NAP-niveau bedraagt ca 9.157.000 m². De bodemhoogten worden beschreven in paragraaf 2.4. In het middendeel van de Nieuwe Merwede ligt aan beide zijden van de rivier een uiterwaard.



Figuur 2-3: De Nieuwe Merwede vanaf het splitsingspunt Boven Merwede – Beneden Merwede / Nieuwe Merwede

2.2.3 Inrichting

De vaargeul is aangegeven met de donkerblauwe strook in Figuur 2-2. Hierop is goed te zien dat de vaargeul de buitenbochten volgt. De minimale vaardiepte in de vaargeul is -4,95 m over een breedte van 207 m [RWS, 2003]. Dit wordt echter niet altijd gehaald, waardoor er nautisch onderhoud noodzakelijk is.



Figuur 2-4: Kribbe aan de linkeroever nabij Werkendam

Langs een groot deel van beide oevers zijn kribben (Figuur 2-4) aangelegd om het doorstroomprofiel te versmallen en zodoende diep genoeg te houden. Tevens zijn er kades aangelegd langs een aantal oevers. De uiterwaarden aan beide oevers zijn ingericht als natuurgebied en zijn beschikbaar voor recreatie. De begroeiing bestaat grotendeels uit (nat) grasland, gorzen en vloedbos.

Binnen het projectgebied bevinden zich geen bruggen of tunnels die de oevers verbinden. Ter hoogte van Kop van 't Land is een veerpont aanwezig.

Hiervoor is aan beide zijden van de rivier een veerstoep gebouwd. In de uiterwaard aan de noordelijke oever zijn drie kleine havens aangelegd: de Zuidhaven, de Oosthaven en de jachthaven van Kop van 't Land. Deze havens worden voornamelijk gebruikt door de recreatievaart. Verder zijn de uiterwaarden onbebouwd.

Langs een groot deel van de oevers zijn geen winterdijken aanwezig. Hier grenst de Nieuwe Merwede aan de Sliedrechtse-, Dordtse- of Brabantse Biesbosch. Winterdijken liggen ofwel veel meer landinwaarts, of ontbreken geheel tot aan een andere grote rivierarm zoals de Amer of de Beneden Merwede. De tussenliggende gebieden bestaan veelal uit uitgestrekte natuurgebieden, die bij hoogwater grotendeels onder water komen te staan. Op deze plekken vormen de oevers van het zomerbed de grenzen van het projectgebied (zie Figuur 2-2).

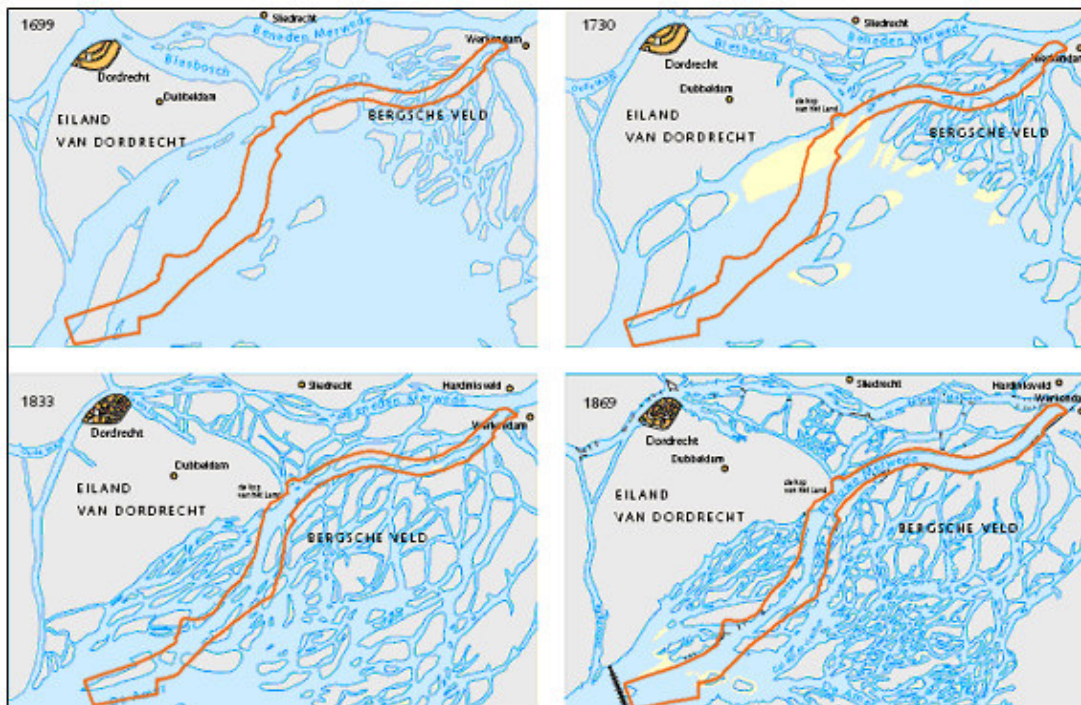
2.3 Waterhuishouding en Sedimentbalans

De Nieuwe Merwede vormt de verbinding tussen de Boven Merwede en het Hollandsch Diep. De rivier heeft een gemiddeld debiet van ongeveer 900 m³/s [www.waterbase.nl]. Het sedimenttransport is erg afhankelijk van het debiet; bij één hoogwater wordt grofweg evenveel materiaal verplaatst als in de rest van het jaar. De Nieuwe Merwede staat via de Ottersluis in verbinding met het Wantij en via de Spieringsluis en de Biesboschluis met de Brabantse Biesbosch.

2.3.1 Waterstaatkundige en geologische historie

Ontstaan

De aanleg van de Nieuwe Merwede werd voltooid in 1886, waarmee hij een van de jongste rivieren van Nederland is. Tot aan het begin van de 19e eeuw bestond het gebied ten zuiden van de Beneden Merwede uit een wirwar van snel veranderende eilanden, platen, kreken en killen. Omdat dit zowel voor de scheepvaart als voor de veiligheid geen ideale situatie was, werd besloten tot aanleg van een nieuwe, permanente riviertak. Door de afsluiting van een aantal kreken en killen en het afgraven van een aantal platen ontstond de Nieuwe Merwede in haar huidige vorm [RWS,2005-II] en [www.biesbosch.org]. Deze ontwikkeling wordt treffend weergegeven in Figuur 2-5. Ook is hierin te zien dat dit gebied morfologisch zeer actief is. Na 1886 werden de oevers verstevigd door aanleg van kades en kribben. Deze zorgden ook voor een betere bevaarbaarheid.



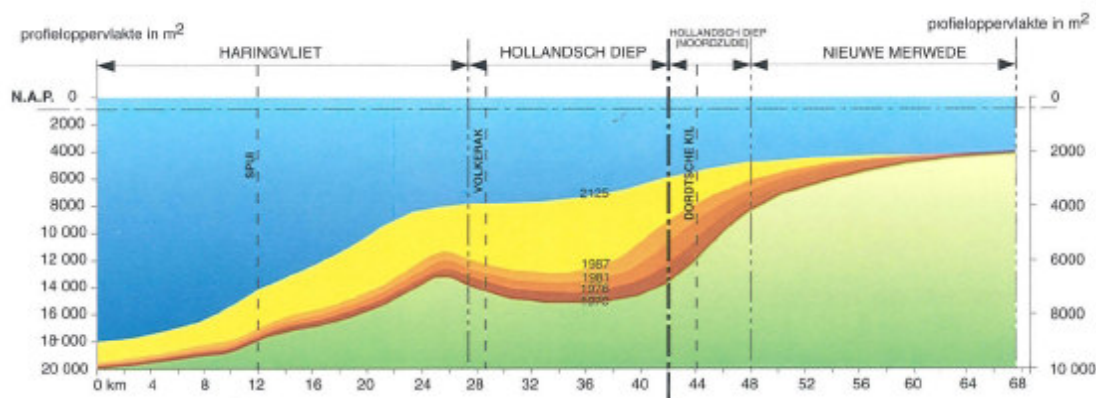
Figuur 2-5: Ontstaan van de Nieuwe Merwede & de Biesbosch. De huidige ligging van de Nieuwe Merwede is rood omrand [Bron: Internet]

Invloed Deltaplan

De watersnoodramp in 1953 veranderde de waterhuishouding van het gehele benedenrivierengebied. Grote zeegaten in Zeeland en Zuid-Holland werden afgesloten, waardoor de invloed van het getij drastisch afnam. Voor de Nieuwe Merwede was de aanleg van de Volkerakdam (1969) en vooral van de Haringvlietdam (1970) van grote invloed.

De Nieuwe Merwede was in een paar jaar tijd veranderd van een getij- én afvoergedomineerde rivier in een grotendeels afvoergedomineerde rivier. De getijslag nam af van ongeveer 1,90 m voor de afsluiting tot ongeveer 0,30 m na de afsluiting. Doordat er minder water verplaatst werd, namen ook de (maximale) stroomsnelheden af [Haring, 1977 & 1978].

Het doorstroomprofiel was nu te groot voor de afvoer en stroomsnelheden. In de jaren '70 sedimenteerden hierdoor grote hoeveelheden zand en slib in de Nieuwe Merwede en het Hollandsch Diep. Dit sedimentatieoverschot is goed te zien in de afname van de profieloppervlakte, weergegeven in Figuur 2-6. Hier blijkt overigens uit dat het grootste deel van de totale verwachte sedimentatie in de Nieuwe Merwede voor 2125 (geel + bruin opgeteld) al heeft plaatsgevonden (bruin). Daarmee was de Nieuwe Merwede al in 1987 in de buurt van een nieuwe evenwichtssituatie gekomen [RWS,1992].



Figuur 2-6: De grafiek laat de geomorfologische ontwikkeling van het bekken zien aan de hand van de afname van de natte doorsnede (=oppervlakte van het dwarsprofiel). De bovenkant van het groene gedeelte geeft de evenwichtstoestand weer vlak voor de afsluiting van het Haringvliet. Het bruine gedeelte geeft de waargenomen afname weer tussen 1970 en 1987. Het gele gedeelte geeft de verwachte ontwikkeling weer tot 2125 [RWS, 1992]

De inhoud van de Nieuwe Merwede is tussen 1971 en 1993 met 9% afgenomen. Dit heeft geen significante invloed op de waterstand gehad. In Bijlage 1 is een uitgebreide versie van de ontstaansgeschiedenis van de Nieuwe Merwede weergegeven.

Recente werkzaamheden

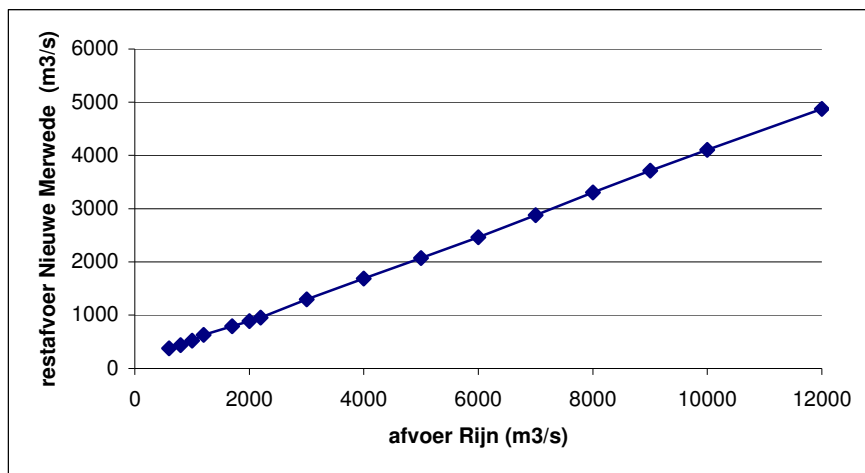
Vanwege de grote sedimentatie zijn er sinds 1970 verscheidene maatregelen getroffen om de Nieuwe Merwede bevaarbaar te houden. In de periode 1976 – 1977 is een vaargeul gebaggerd langs de buitenbochten van de Nieuwe Merwede. In dezelfde periode is tussen km raai 962 en 964 een slibvangput aangelegd. Deze bleek voornamelijk te functioneren als zandvang. Gedurende de gehele periode is regelmatig gebaggerd en zand gewonnen. Bijlage 2 bevat een gedetailleerd overzicht met de maatregelen en bijbehorende volumes uitgesplitst naar jaartal.

2.3.2 Huidige situatie

Waterhuishouding

Sinds de afsluiting van het Haringvliet heerst er onder alle omstandigheden een stroming in de ebrichting, hoewel deze bij lage afvoeren vooral tijdens de vloedfase zeer gering kan zijn [RWS, 2005-1]. Het debiet van de Nieuwe Merwede wordt in het gebied zelf niet

gemeten. Om toch een schatting te kunnen maken van het debiet onder verschillende omstandigheden, wordt gebruik gemaakt van het SOBEK-RE model van het NDB van Mol (2004). Dit is hetzelfde model dat in dit onderzoek wordt toegepast. De verhouding tussen de afvoer van de Rijn bij Lobith en de afvoer van de Nieuwe Merwede wordt weergegeven in Figuur 2-7.



Figuur 2-7: Relatie tussen de afvoer van de Rijn bij Lobith en de afvoer van de Nieuwe Merwede [RWS, 2005-II]

De waterstanden in het gebied variëren als gevolg van de afvoer van met name de Rijn en in mindere mate de Maas. Ook het getij heeft een aanzienlijke invloed op de waterstanden. Tabel 2-1 geeft de gemiddelde en extreme waterstanden aan ter hoogte van Werkendam en ter hoogte van de Deeneplaat. Hieruit blijkt dat de normen voor hoogwater (MHW) nog nooit overschreden zijn. De normen voor laagwater (OLW) zijn ruim onderschreden. Bij onderschrijding OLW kan de minimale waterdiepte niet gegarandeerd worden, wat gevolgen heeft voor de beladingscapaciteit van de binnenvaart.

Tabel 2-1: Waterstanden ter hoogte van Werkendam & Deeneplaat. [Bron: RWS]

Meetwaarde	Waterstanden (m +N.A.P.)			
	Werkendam		Deeneplaat	
Gemiddelde waterstand (gem. afvoer & getij)	HW	LW	HW	LW
		0,89 m	0,57 m	0,67 m
Maatgevend HoogWater (MHW)	4,30 m (1x per 2000 jaar)		2,92 m (1x per 1250 jaar)	
Hoogst gemeten waterstand*	3,13 m (02-02-1995)		2,24 m (28-01-1994)	
Overeengekomen LaagWater (OLW)	0,30 m		0,20 m	
Laagst gemeten waterstand*	-0,42 m (12-03-1972)		-0,54 m (20-01-1979)	

* periode 1971 - 2004

Sedimentbalans

Het onderzoek "Sediment in (Be)weging" [RWS, 2005-I] beschrijft de sedimentbalans van het Noordelijk Deltabekken in de periode 1990 - 2000. Er wordt per watersysteemdeel beschreven hoe de bodemhoogten veranderen. Uit dit onderzoek blijkt dat de bodem van het watersysteemdeel Nieuwe Merwede gemiddeld 0,2 cm per jaar dieper wordt. Dit is het gevolg van baggerwerk met een laagdikte van gemiddeld 0,8 cm per jaar,

sedimentatie van slib met een gemiddelde laagdikte van 3,0 cm per jaar en erosie van zand van gemiddeld 2,4 cm per jaar. In Bijlage 3 worden de figuren weergegeven waaruit deze gegevens afkomstig zijn.

Uit het bovenstaande blijkt dat het (onderhouds)baggerwerk zorgt voor een netto erosie. Als het baggerwerk niet meegerekend zou worden, zou er juist sedimentatie van baggerspecie optreden, met een gemiddelde laagdikte van 0,6 cm per jaar. Dit komt overeen met een sedimentatie van 55.000 m³ slibbig materiaal per jaar (zie Tabel 2-2).

Tabel 2-2: Gemiddelde inhoudsveranderingen per jaar als gevolg van baggeren, erosie en sedimentatie van slib en zand in de Nieuwe Merwede. LET OP: Bij erosie wordt de inhoud van de Nieuwe Merwede groter, net als bij baggerwerkzaamheden [RWS, 2005-I]

Water-systeem-deel	Oppervlakte (m ²)	Gemiddelde bodemverandering (cm/jaar)		Gemiddelde inhoudsverandering (m ³ /jaar)	Gemiddelde totale inhoudsverandering (m ³ /jaar)	
		Baggeren	Slib		Inclusief baggeren	Exclusief baggeren
Nieuwe Merwede	9.157.000	Baggeren	-0.8	+73.256	Inclusief baggeren	+18.314
		Slib	+3.0	-274.710	Exclusief baggeren	-54.924
		Zand	-2.4	+219.768		

Deze morfologische ontwikkelingen zijn klein in vergelijking met de ontwikkelingen in de jaren na 1970. Anno 2007 lijkt een morfologisch evenwicht in de rivierbodem niet ver weg. Dit wordt ondersteund door de erosie – sedimentatie figuur voor de periode 2001 – 2006, achterin dit rapport opgenomen als in Kaart 2. Voor het grootste deel van het oppervlak van de Nieuwe Merwede is geen significante verandering in de bodemhoogte opgetreden (minder dan 5 cm per jaar). Sterke erosie of sedimentatie (meer dan 20 cm per jaar) kwam alleen zeer lokaal voor. Hoewel data over exacte zandwinlocaties ontbreekt, wordt aangenomen dat juist ter plaatse van de grote verdiepingen zand wordt gewonnen. Strikt genomen gaat het dan niet om erosie.

Fysische samenstelling sediment

In de situatie van na 1970 sedimenteert niet alleen meer materiaal, maar ook fijner materiaal. Voor de afsluiting sedimenteerde er voornamelijk zand. Na de afsluiting bestaat een aanzienlijk deel van het afgezette materiaal uit fijnkorrelig slib. In 1992 bestond de toplaag van de Nieuwe Merwede voor 5 -15% (geul) en 30% - 70% (kribvakken) uit slib. Vooral in het benedenstroomse deel van de Nieuwe Merwede zijn in de periode 1970 – 1992 dikke sliblagen afgezet [Van Ledden, 1999]. Dit is een belangrijk gegeven, omdat verontreinigingen zich veel beter hechten aan fijnkorrelig materiaal dan aan zand. Vooral het na 1970 afgezette slib is ernstig verontreinigd; tegenwoordig is de kwaliteit aan het verbeteren.

2.3.3 Waterkwaliteit

Voor dit onderzoek is niet veel informatie over de waterkwaliteit van de Nieuwe Merwede beschikbaar gekomen. Er bestaat geen waterkwaliteitsmeetpunt in de Nieuwe Merwede. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van de kwaliteitsgegevens van het meetpunt bij Vuren. Dit is het meest nabijgelegen meetpunt stroomopwaarts langs de Waal en maakt onderdeel uit van het regionaal waterkwaliteitsmeetnet van Rijkswaterstaat Oost-Nederland [Royal Haskoning, 2007].

In het kader van de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) zijn Maximaal Toelaatbare Risiconiveaus (MTR's) gedefinieerd voor een aantal chemische parameters. De MTR geeft aan welke waterkwaliteit minimaal gehaald zou moeten worden, wil een gezond waterecosysteem tot ontwikkeling kunnen komen. Hoewel uitgebreide data ontbreekt, wordt in Tabel 2-3 de ontwikkeling in de tijd gegeven van de concentraties van een aantal zware metalen. Het gaat hierbij om de gemiddelde waterkwaliteit voor de jaren 1968, 1978, 1988, 1998 en 2005. Tevens is aangegeven wat de MTR voor de genoemde stoffen is.

Tabel 2-3: Gemiddelde waterkwaliteit van de Waal bij Vuren (ongefilterde monsters). Parameters die niet aan de MTR voldoen, zijn in het rood aangegeven en parameters die wel voldoen in het groen. [Royal Haskoning, 2007]

Parameter	Jaargemiddelden					MTR
	1968	1978	1988	1998	2005	
koper (µg/l)	19,0	11,0	5,0	4,3	3,8	1,5
zink (µg/l)	170	97,1	43,2	21,0	17,8	9,4
chromium (µg/l)	--	20,3	9,6	4,7	2,3	8,7
nikkel (µg/l)	10,7	9,9	3,3	4,6	2,8	5,1

Uit Tabel 2-3 blijkt dat de waterkwaliteit de laatste 40 jaar aanzienlijk is verbeterd. De verbetering kan zelfs tot een factor 10 bedragen. Desondanks wordt voor een aantal zware metalen de gewenste waterkwaliteit nog niet gehaald. De parameters chromium en nikkel voldoen inmiddels wél aan de MTR.

2.4 Waterbodem in beeld

2.4.1 Bodemhoogten

Huidige situatie

Als gevolg van de grote morfodynamiek in het gebied in combinatie met het periodiek baggeren van de vaargeul, kent het zomerbed een behoorlijke variatie in diepte. Kaart 3 achterin het rapport bevat een gedetailleerde weergave van de bodemhoogten in 2005. Afgezien van de oeverzones varieert de bodemhoogte tussen -0,5 en -10,0 m +N.A.P. De gemiddelde hoogte in het bovenstroomse gedeelte is ongeveer -4,6 m +N.A.P. en in het benedenstroomse gedeelte ongeveer -5,0 m +N.A.P. [RWS, 2003]. De gemiddelde waterstand varieert tussen 0,30 m en 0,60 m +N.A.P. (zie Tabel 2-1).

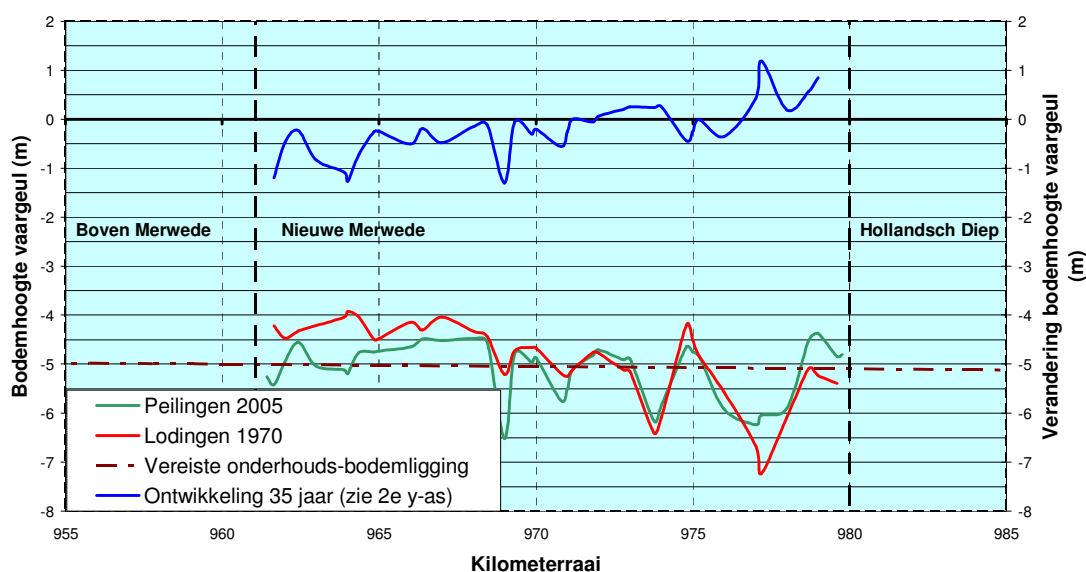
Het dwarsprofiel van Nieuwe Merwede kent een grote variatie in diepte. Over het algemeen zijn de buitenbochten relatief diep en de binnenbochten relatief ondiep. Het meeste water wordt afgevoerd door de diepe geul, die tevens dienst doet als vaargeul voor de scheepvaart. Op Kaart 3 is de vaargeul aangegeven met twee smalle blauwe lijnen. In de binnenbochten zijn ondiepten te herkennen, vooral in de benedenstroomse 5 km. Ter plekke van deze zandbanken kunnen waterdieptes minder dan één meter bedragen.

Ontwikkeling sinds 1970

In paragraaf 2.3.1 is gesteld dat er in de Nieuwe Merwede veel sedimentatie heeft plaatsgevonden sinds 1970. Op Kaart 4 worden de bodemhoogten in 1970 weergegeven en op Kaart 5 het verschil in bodemhoogten tussen 1970 en 2006. Hierop is duidelijk te zien dat vooral buiten de vaargeul veel sedimentatie heeft plaatsgevonden.

Het valt echter op dat vooral bovenstrooms en in de vaargeul juist verdieping heeft plaatsgevonden. Dit komt voornamelijk door baggerwerkzaamheden, waaronder de aanleg van een vaargeul midden jaren '70. Omdat er in de vaargeul daarna regelmatig periodiek baggeronderhoud plaats heeft gevonden, is het totale volume sindsdien weer licht toegenomen. Dit is een opvallend verschil met de globale trend van verondieping. De ontwikkeling van de gemiddelde diepten in de vaargeul tussen 1970 en 2005 is weergegeven in Figuur 2-8. Geconcludeerd kan worden dat er in de eerste 10 km een verdieping heeft plaatsgevonden. Tussen km 970 en 975 is de diepte ongeveer gelijk gebleven. In de laatste kilometers is de vaargeul gesedimenteerd.

Ontwikkeling bodemhoogte vaargeul 1970-2005



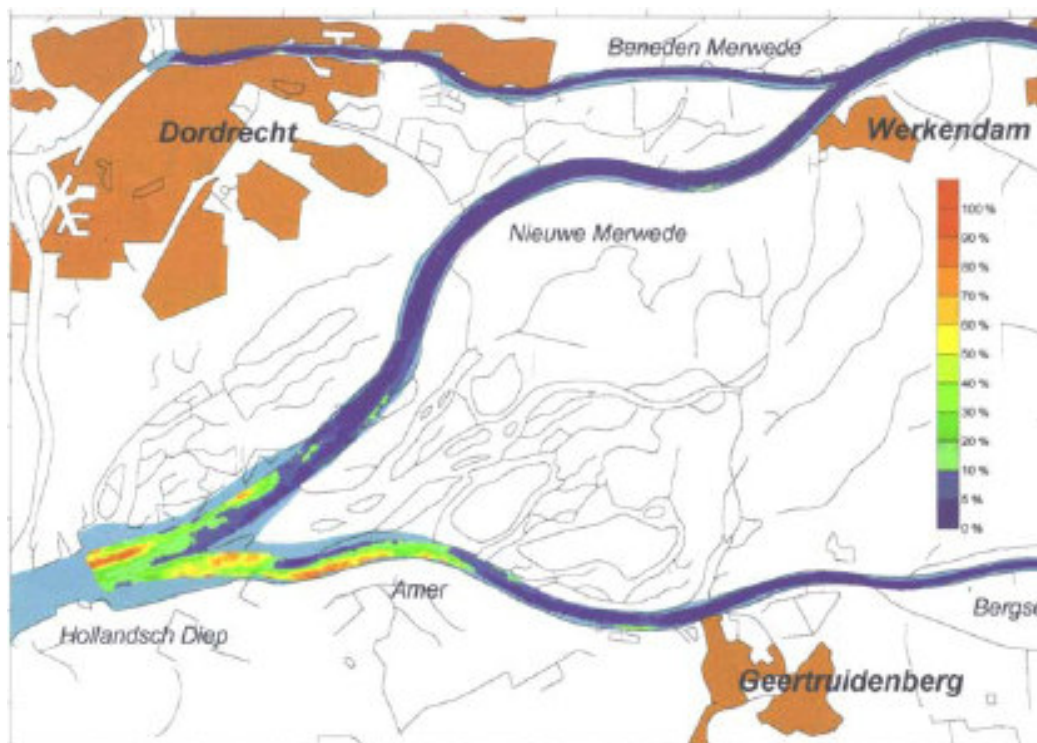
Figuur 2-8: Vergelijking waterdiepte in vaargeul 1970 en 2005 [Data afkomstig van RWS]

Het gebied is morfologisch niet geheel in balans, getuige de constante noodzaak tot baggeren. In grote lijnen kan echter gesteld worden dat de in paragraaf 2.3.1 geconstateerde verkleining van het totale volume voornamelijk terug te zien is in een verondieping van de ondiepere delen van de waterbodem.

2.4.2 Fysische eigenschappen van de bodem

Figuur 2-9 geeft aan welke zand- en slibgehalten in de bodem van het projectgebied voorkomen. De slibgehalten zijn in de Nieuwe Merwede over het algemeen laag, met uitzondering van de monding in het Hollandsch Diep. Hier bereikt het slibpercentage maximaal 60%. De figuur toont ook verschillen aan in dwarsrichting, zo zijn bijvoorbeeld de stroomgeulen van de Nieuwe Merwede en van de Amer te onderscheiden (blauw = grofkorrelig sediment, gebied komt overeen met diepere delen projectgebied). De kribvakken zijn niet meegenomen. [Koomans, R.L. *et al*, 2003 & RWS, 2005-1]

Volgens Mol [2003] varieert de mediane korreldiameter (d_{50}) tussen 0,0005 m rond de Merwedenkop en 0,0001m bij de monding in het Hollandsch Diep.



Figuur 2-9: Slibgehalten in de toplaag van de waterbodem 2003 (blauw = alleen zand, rood = alleen slib) [RWS, 2005-I]

2.4.3 Verontreiniging van de bodem

Zoals beschreven in paragraaf 2.3.3 is de waterkwaliteit van de Rijn en daardoor ook de Nieuwe Merwede in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw erg slecht geweest. Omdat juist sinds 1970 een sterke sedimentatie van het gebied op gang is gekomen, zijn er in het gehele benedenrivierengebied lagen verontreinigd slib afgezet. De Nieuwe Merwede vormt hierop geen uitzondering.

Beschrijving kwaliteit

Kaart 6 achterin dit rapport geeft weer op welke punten in de Nieuwe Merwede bodemonsters zijn genomen van de toplaag (bovenste 50 cm). Voor de monsterpunten is tevens aangegeven welke kwaliteitsklasse ze hebben volgens de 4e Nota Waterhuishouding. De schaalindeling loopt op in verontreinigingsgraad van schoon (klasse 0), tot zeer zwaar verontreinigd (klasse 4+). Momenteel wordt in het rivierengebied klasse 2 als bovengrens gehanteerd voor een acceptabel verontreinigingsniveau (zie paragraaf 2.4.4).

Resultaten van recente bemonsteringen van diepere lagen dan de toplaag waren voor dit onderzoek niet bekend. Hiervoor moet een aanname gemaakt worden. Er kan van worden uitgegaan dat de lagen onder het bodemniveau van 1970 schoon zijn [RWS, 1992; RWS, 1993]. Deze lagen bestaan uit grote korrels, omdat het gebied destijds morfologisch te actief was voor kleine slibdeeltjes om neer te slaan. De lagen sediment die zijn ontstaan tussen 1970 en 2005 worden aangenomen verontreinigd te zijn met klasse 3 – 4+. Het Nader Onderzoek Waterbodem uit 1993 bevestigt deze aanname, omdat alle monsters dieper dan 50 cm van klasse 3 of hoger blijken [RWS, 1993]. Ook experts uit het werkveld hebben bevestigd zich in deze aanname te kunnen vinden (Ing. M.A. Wilkens & Ir. G.W.R. Gerrits).

De kwaliteit van de waterbodem van de Nieuwe Merwede vertoont grote verschillen in ruimtelijke verdeling. Om deze reden wordt voor de beschrijving van de bodemkwaliteit een onderverdeling in de volgende vier deelgebieden gemaakt:

- vaargeul (relatief diep stromend water)
- vaarweg (relatief ondiep stromend water)
- oevers en kribvakken (stilstaand water bij een gemiddelde afvoer)
- uiterwaard (droogstaand gebied bij een gemiddelde afvoer)

Verder wordt voor de vaargeul en vaarweg onderscheid gemaakt in “bovenstrooms” (km raai 961 – 970.5) en “benedenstrooms” (km raai 970.5 - 980). In totaal ontstaan er zo 6 deelgebieden.

Per deelgebied wordt de kwaliteit vastgesteld aan de hand van drie vragen:

1. Welke kwaliteit heeft de toplaag?
2. Welke dikte heeft de tussen 1970 en 2005 gesedimenteerde laag?
3. Welke korrelgrootte is er aangetroffen in de toplaag?

Vaargeul

In de vaargeul treden de grootste stroomsnelheden op en er kan verwacht worden dat de slibpercentages lager liggen dan in de andere deelgebieden. In het bovenstroomse deel is de maximaal aangetroffen verontreiniging van klasse 2. Omdat er weinig gegevens bekend zijn van dit deel, wordt een aanname gemaakt dat dit voor het gehele bovenstroomse deelgebied geldt. De grootschalige ontwikkeling geeft aan dat er geen sedimentatie heeft plaatsgevonden sinds 1970. Regelmatige vernieuwing van de toplaag door morfologische processen en zandwinning heeft tot een relatief schone bodem geleid.

Hoewel delen de benedenstroomse helft van de vaargeul relatief schoon zijn (b.v. rond km raaien 972 en 975), zijn andere delen ernstig verontreinigd (b.v. km raai 978 – 980). Het oorspronkelijke niveau van de waterbodem lag hier in 1970 lager dan nu, waaruit blijkt dat lagen (verontreinigd) slib zijn afgezet. Dit is vooral duidelijk tussen km raai 975 en 980 (zie Figuur 2-8 en Kaart 5). Door lagere stroomsnelheden konden ook kleinere slibdeeltjes hier neerslaan (zie Figuur 2-9), wat leidde tot ernstiger verontreiniging van de afgezette lagen. Omdat de hogere klassen bepalend zijn voor de classificatie van een deelgebied, geldt hier voor de toplaag en voor de diepere lagen klasse 4/4+.

Vaarweg

Ook van de vaarweg zijn er relatief weinig gegevens beschikbaar over de kwaliteit van de toplaag bovenstrooms en veel over de toplaag benedenstrooms. In het bovenstroomse deel wordt onder de schaarse monsterpunten geen ernstige vervuiling aangetroffen. Kaart 5 wijst echter uit dat er tussen 1970 en 2006 een dikke laag (tot 2m) bodemmateriaal is afgezet aan de linkeroever tussen km raai 969 en 975. De meeste sedimentatie heeft plaatsgevonden direct na de afsluiting van het Haringvliet in 1970, toen de water- en sedimentkwaliteit zeer slecht waren. Om die reden wordt er vanuit gegaan dat de hier genoemde afzetting wel ernstig vervuild is met klasse 3 – 4+.

In het benedenstroomse deel zijn extreem dikke lagen (meer dan 4m) bodemmateriaal afgezet tussen 1970 en 2006. Kaart 6 geeft aan dat alle klassen sediment zijn aangetroffen in het gebied. Uit Figuur 2-9 blijkt dat in het slibgehalte van het sediment in de toplaag aanmerkelijk hoger ligt dan in de rest van het zomerbed. Omdat klassen 3 – 4+ overal worden aangetroffen, wordt aangenomen dat het gehele gebied ernstig

verontreinigd is. Het volume van de verontreinigde lagen wordt aangenomen ongeveer even groot te zijn als het tussen 1970 en 2006 afgezette volume.

Oevers en kribvakken

De kwaliteit van de toplaag van de bodem in de ondiepe zones tussen de kribvakken en langs de oevers, varieert volgens de bemonstering tussen klasse 0 en klasse 4+. Omdat de stroomsnelheden hier over het algemeen laag liggen, kunnen kleine slibdeeltjes hier gemakkelijker blijven liggen dan in het stromende deel van het zomerbed. Aangenomen kan worden dat de klassen 4/4+ bepalend zijn voor dit deelgebied. In 1996 is een proefsanering uitgevoerd van twee kribvakken aan de linkeroever ter hoogte van km raai 968/969 [Den Besten, 1999]. Hierbij werd een laag van enkele meters dikte aangetroffen van klasse 4+.

Uiterwaarden

De bemonsterde punten in de uiterwaarden geven een eenduidig beeld: verontreiniging met klasse 4/4+. Deze gebieden staan weliswaar niet vaak onder water, maar bij een hoogwater is sedimentatie van kleine slibdeeltjes dominant boven erosie van het gebied. Dit komt door de lage stroomsnelheden en het vasthouden van de ondergrond door begroeiing. Volgens de Inventarisatie Bodemkwaliteit Oevergebieden Nieuwe Merwede [Van der Schreer & Gerritsen, 1998] is de gemiddelde dikte van de verontreinigde laag 0,6 m, met maxima van ongeveer 1,5 m.

Conclusie bodemkwaliteit

Uit de analyse van de ontwikkeling van de bodemhoogten en van de kwaliteit van het bodemmateriaal, blijkt het grootste deel van de bodem van de Nieuwe Merwede ernstig verontreinigd te zijn. Alleen in het bovenstroomse deel van de vaargeul (km 961 – 970.5) wordt maximaal klasse 2 sediment aangetroffen. In alle overige delen van de bodem worden klasse 3 – 4+ sediment aangetroffen. Hierbij kan het gaan om een verontreinigde toplaag van ongeveer 50 cm tot meer dan 4 m.

2.4.4 Aangevoerde verontreiniging

Het succes van een eventuele sanering van de waterbodem staat of valt met de kwaliteit van het aangevoerde sediment. Dit hangt met name af van twee factoren: de kwaliteit van het aangevoerde water en de kwaliteit van de waterbodem bovenstrooms. In paragraaf 2.3.3 is beschreven dat de kwaliteit van het Rijnwater al sinds de jaren '70 aan het verbeteren is.

Herverontreinigingsniveau

Voor soortgelijke projecten als de sanering van de Nieuwe Merwede, heeft Rijkswaterstaat het HerVerontreinigingsNiveau Rijntakken bepaald (HVN). Met het HVN wordt de gemiddelde kwaliteit van het bij Lobith aangevoerde sediment aangegeven in de laatste tien jaar [RWS, 2006-II]. De genoemde kwaliteit blijkt representatief voor de kwaliteit in het hele Nederlandse Rijnstroomgebied. De HVN bevat een achttal van de meest voorkomende zware metalen, 10 PAK's, 7 PCB's en een aantal andere stoffen zoals DDT en minerale olie. De meeste concentraties zijn momenteel van klasse 2, maar voor een aantal stoffen kan ook klasse 3 nog voorkomen.

Het belang van het HVN is dat het een maat is voor saneringsprojecten. Omdat de kwaliteit van het aangevoerde sediment slechts zeer langzaam verbetert, is het niet zinvol om een bodem tot aan klasse 0 of zelfs 1 te saneren. Na de sanering zal er immers weer sediment van bovenstrooms worden aangevoerd, dat klasse 2 á 3 heeft. Om deze reden wordt voor de Nieuwe Merwede aangegeven dat een rivierdeel "schoon" is, als de verontreinigingsgraad lager is dan het HVN.

2.5 Belangrijkste conclusies huidige situatie

De Nieuwe Merwede is een door menselijke ingrepen ontstane rivier. Omdat er in de loop der jaren constant (soms drastische) ingrepen in de invloedssfeer van de Nieuwe Merwede zijn gedaan, heeft de rivier nooit de tijd gekregen om een natuurlijke evenwichtssituatie te bereiken. Voor de toekomst worden er nieuwe ingrepen gepland, waaronder ingrepen ten behoeve van het beheer van de waterbodem. Bij het ontwerp van deze maatregelen dient rekening te worden gehouden met de volgende punten:

Waterkwaliteit:

- De waterkwaliteit is sinds de jaren '70 drastisch verbeterd, maar voor een aantal parameters nog altijd onvoldoende

Morfologie:

- De grootschalige ontwikkeling van de morfologie in de Nieuwe Merwede sinds 1970 is sedimentatie: het totale volume van het watersysteem is met ongeveer 10% afgenomen
- Deze sedimentatie heeft zich vooral voorgedaan in de ondiepe delen van de rivier
- In de laatste jaren (2001 - 2006) is de sedimentbalans redelijk in evenwicht gekomen
- De diepere delen van de rivier zijn over het algemeen dieper geworden tussen 1970 en 2006. Voor een belangrijk deel komt dit door baggerwerkzaamheden waaronder het graven van een vaargeul
- Onvolledige gegevens over de locatiegebonden volumes van baggerwerkzaamheden maken het lastig een exacte inschatting te maken van de natuurlijke autonome ontwikkeling van de bodem

Eigenschappen bodemmateriaal:

- Fijnkorrelig sediment wordt in de toplaag (bovenste 50 cm) alleen in hoge mate aangetroffen in de benedenstroomse helft van de Nieuwe Merwede, in kribvakken en in de uiterwaarden
- De recente gegevens over de mate van verontreiniging van de bodem zijn onvolledig: alleen de bovenste 50 cm van de benedenstroomse helft van de Nieuwe Merwede zijn afdoende in kaart gebracht
- Met behulp van een aantal aannames, getoetst door experts uit het werkveld, kan worden geconcludeerd dat de bodem zwaar verontreinigd is (klasse 3 – 4+) in de benedenstroomse helft van de vaargeul, de rest van het zomerbed, de kribvakken en de uiterwaarden
- De bovenstroomse helft van de vaargeul kan aangenomen worden “schoon” te zijn (klasse 0 -2)
- De verontreiniging betreft lagen met een dikte van tussen de 50 cm en 4 m, afhankelijk van de locatie

3 MORFOLOGISCHE PROCESSEN IN DE BENEDENRIVIEREN

3.1 Inleiding

Verontreinigingen opgeslagen in rivierbodems kunnen een negatieve invloed hebben op de waterkwaliteit. Deze relatie is echter afhankelijk van een aantal variabelen. Enerzijds wordt de relatie bepaald door de mate van verontreiniging van het sediment en de huidige waterkwaliteit. Anderzijds bepalen juist de morfologische processen of de verontreinigingen in contact kunnen komen met het water. Als het rivierwater door een dikke schone laag wordt gescheiden van de verontreinigingen, is het mogelijk dat er niet of nauwelijks sprake is van uitwisseling.

In dit hoofdstuk wordt met behulp van een theoretische beschouwing onderzocht welke aspecten van morfologische processen in de benedenrivieren van invloed kunnen zijn op het ontwerp van een beheerplan. Hiermee wordt het antwoord gezocht op de tweede onderzoeksvraag. Waar mogelijk wordt de theorie ondersteund met metingen en literatuur over eerder uitgevoerde onderzoeken. Eerst wordt in paragraaf 3.2 onderbouwd waarom juist erosie van invloed is op de uitwisseling van verontreinigingen tussen sediment en water. Vervolgens wordt in paragraaf 3.3 een onderbouwing gegeven voor het nut van onderzoek naar de invloed van klimaatverandering op de bodem. Tenslotte wordt onderzocht hoe dik de morfologisch actieve laag in de Nieuwe Merwede is. Omdat er in de Nieuwe Merwede geen structurele erosie plaatsvindt, wordt verspreiding van verontreinigingen uit de bodem voorkomen als de morfologisch actieve laag schoon is. In paragraaf 3.4 wordt aan de hand van duinvorming onderzocht hoe dik deze laag is. In sommige rivieren hebben spiraalstromingen in bochten een grote invloed op de dikte van deze laag. In paragraaf 3.5 wordt onderzocht in hoeverre dit voor de Nieuwe Merwede geldt. Aan het einde van elke paragraaf wordt toegelicht welke invloed het beschreven proces heeft op dit onderzoek. Tenslotte worden de belangrijke conclusies voor het ontwerp van beheersmaatregelen samengevat in paragraaf 3.6.

3.2 Invloed verontreinigd slib op waterkwaliteit

Theorie

Als verontreinigingen geïsoleerd in de bodem zijn opgeslagen, hebben ze een beperkte potentie om negatieve effecten te sorteren. De verontreinigingen kunnen zich niet verspreiden en worden alleen opgenomen door een kleine groep organismen die direct van sedimentdeeltjes gebruik maakt. Als de verontreinigingen echter door naleveringen in het water oplossen, komen ze voor veel meer soorten en hoeveelheden organismen beschikbaar. Bovendien kunnen ze zich in het stromende water verspreiden naar benedenstroomse wateren, waardoor een lokaal probleem geëxporteerd wordt. Of nalevering uit de bodem mogelijk is, wordt bepaald door chemische en biologische processen.

Vooraf hydrofobe verontreinigingen (organische verbindingen zoals PAK's en PCB's) kunnen door adsorptieprocessen gemakkelijk verbindingen vormen met kleideeltjes en organisch materiaal. Het basisproces dat ten grondslag ligt aan nalevering van verontreinigingen uit sediment bestaat uit desorptie en moleculaire diffusie [De Lange *et al.*, 2006]. Desorptie is het proces waarbij een geadsorbeerd molecuul zich losmaakt van de vaste fase. Moleculaire diffusie is het proces waarbij het bestaan van een hoge concentratie stof naast een lage concentratie van dezelfde stof wordt tegengegaan. Hierbij zullen deeltjes bewegen van de hoge concentratie naar de lage concentratie. Op andere, minder relevante processen die van invloed kunnen zijn op de flux van

verontreinigingen (b.v. uitdrijving door consolidatie, kwel) wordt hier ten behoeve van de eenvoud niet ingegaan.

Doordat de concentraties van verontreinigingen in het water van de Nieuwe Merwede veelal kleiner zijn dan de concentraties in het bodemmateriaal, bestaat er een diffusieproces waarbij deze deeltjes opnieuw oplossen. Door de sterke verbinding van verontreinigingen aan slibdeeltjes is dit echter alleen mogelijk als het water direct rondom het slibdeeltje een lage(re) concentratie opgeloste verontreiniging bevat. In diepere lagen slib zullen de concentraties verontreinigingen in het poriënwater in balans komen met de concentraties aan slibdeeltjes geadsorbeerde verontreinigingen. Het poriënwater raakt verzadigd. In een theoretische situatie waarbij het bodemmateriaal niet beweegt (en het poriënwater niet ververst wordt), vindt de nalevering nu alleen plaats op het grensvlak tussen sediment en water. Dit grensvlak (contactoppervlak) kan een dikte hebben van millimeters tot enkele centimeters [De Lange *et al.*, 2006].

Bij resuspensie van sediment worden dieperliggende deeltjes met geadsorbeerde verontreinigingen gesuspendeerd in “onverzadigd” water. De concentraties verontreinigingen in het water zijn nu weer laag genoeg om het desorptie-diffusie proces in gang te zetten. Ook wordt het vrijgekomen verontreinigde poriënwater gemengd met schoner water. Bij resuspensie van verontreinigd sediment neemt zodoende het contactoppervlak met een grote factor toe en kan de waterkwaliteit verslechteren. Als de bovenste 20 cm van het sediment wordt omgewoeld, is dit materiaal allemaal beschikbaar voor desorptie. Pas als het sediment tot rust is gekomen daalt het contactoppervlak weer.

Niet alle geadsorbeerde verontreinigingen lossen meteen op in water als de concentraties maar laag genoeg zijn. Een deel van de verontreinigingen vormt zulke sterke verbindingen met het bodemmateriaal dat het niet meer zal desorberen; een ander deel zal zeer langzaam desorberen. Een niet onbelangrijk deel echter valt binnen de “snelle fractie”: verontreinigingen die een relatief instabiele verbinding hebben met het slib. Deze desorberen binnen enkele uren of dagen en kunnen voor een significante verslechtering van de waterkwaliteit zorgen ten tijde van sterke resuspensie [Cornelissen, 1999].

Conclusie

In de Nieuwe Merwede (KRW-watertype R8 [RAO, 2004]) is erosie door stroming het dominante proces voor resuspensie en dientengevolge ook voor de flux van geadsorbeerde naar opgeloste verontreinigingen [De Lange *et al.*, 2006]. Resuspensie vindt alleen plaats in de morfologisch actieve laag. Bij het ontwerpen van maatregelen waarbij schoon water een doelstelling is, zullen er in de morfologisch actieve laag geen verontreinigingen voor mogen komen.

3.3 Hoge afvoeren

In deze paragraaf wordt beschreven waarom klimaatverandering meegenomen moet worden in een onderzoek naar het beheer van de bodem van de Nieuwe Merwede.

Theorie

De meeste wiskundige vergelijkingen voor het beschrijven van sedimenttransport hebben een vorm die gesimplificeerd weergegeven wordt door vergelijking 3.1 [Ribberink & Buijsrogge, 2003].

$$s = mu^n \quad (3.1)$$

waarin:

s = sedimenttransport per eenheid breedte [m^2/s]

m = coëfficiënt

u = stroomsnelheid [m/s]

n = machtsfactor

Met behulp van metingen kunnen de waarden van m en n worden geschat. De waarde van n ligt tussen 3 en 6, afhankelijk van de geldende condities en het wel of niet meerekenen van gesuspendeerd transport [Van den Berg, 2000]. Zie Bijlage 9 voor een uiteenzetting van de in dit onderzoek gehanteerde transportformules.

Uit de vorm van vergelijking 3.1 blijkt de grote invloed van hoge afvoeren op de morfologie. In sub-kritische stroming veroorzaken hogere afvoeren hogere waterstanden, verhanglijnen en stroomsnelheden. Door de machtsfactor n neemt het sedimenttransport exponentieel toe bij grotere stroomsnelheden. Tijdens een hoogwater komt er veel sediment van de rivierbodem in het water terecht als gesuspendeerd- of bodemtransport. Als het hoogwater voorbij is en de waterstanden weer zakken, zal dit materiaal weer ergens anders sedimenteren. Een hoge afvoer kan dus zowel grootschalige erosie als grootschalige sedimentatie tot gevolg hebben, afhankelijk van locatie, stroomsnelheid en korrelgrootte van het bodemmateriaal. Een van de voorspelde effecten van klimaatverandering in West Europa is dat hoge afvoeren vaker voor zullen komen. Dit wordt in paragraaf 4.3 beschreven.

Nieuwe Merwede

Van Ledden [1999] heeft onderzoek gedaan naar de verdeling van zand en slib in de Nieuwe Merwede. Ook in de Nieuwe Merwede blijken zijn bevindingen het bovenstaande te ondersteunen. Een bovenrijnafvoer van $6000 m^3/s$ of hoger representeert een kansinterval van 6% op jaarbasis, terwijl door deze afvoer ongeveer 80% van het jaarlijkse totale zandtransport wordt aangevoerd. Het overgrote deel (94%) van dit zand blijft achter in het projectgebied. Bij lage afvoeren ($<2200 m^3/s$ bij Lobith) sedimenteert veel zand in het bovenstroomse gedeelte, bij hoge afvoeren in het benedenstroomse gedeelte. In de kribvakken is vrijwel geen sprake van zandtransport.

Slib sedimenteert in de Nieuwe Merwede vooral in het benedenstroomse deel en in de kribvakken, maar alleen bij lage afvoeren. Bij hoge afvoeren spoelt het binnenkomende slib in suspensie door het projectgebied heen en erodeert een deel van het slib in het benedenstroomse deel van de Nieuwe Merwede. Dit materiaal wordt afgezet in het Hollandsch Diep, Haringvliet of in de Noordzee.

Frings [2005] heeft tijdens het hoogwater van januari 2004 uitgebreide metingen gedaan naar sedimenttransporten rond het splitsingspunt Merwedekop. De resultaten voor de Nieuwe Merwede, weergegeven in Tabel 3-1, geven duidelijk aan dat hoge afvoeren zeer bepalend zijn voor sedimenttransport en daardoor ook voor de morfologie.

Tabel 3-1: Debiet en bodemtransport in de Nieuwe Merwede [Frings, 2005]

Datum	Debiet (m ³ /s)	Bodemtransport incl. porieruimte (m ³ /dag)	Zwevend transport excl. porieruimte (m ³ /dag)
17-01	1995	225	2160**
18-01	2025*	992	2861**
19-01	2276	1164	1965**
20-01	2302	1366	1928**
22-01	2092	845	1203**
28-01	1522	69	97**
29-01	1147*	48	90**

* Bepaald door vermenigvuldiging debiet Boven Merwede met factor 0.60, de gemiddelde verhouding van de andere Boven Merwede – Nieuwe Merwede debietmetingen in Frings [2005]

** Bepaald door aanname dat verdeling zwevend stof op bifurcatie gelijk is aan verdeling debiet op bifurcatie

Conclusie

Piekafvoeren zouden in de toekomst onder invloed van klimaatverandering kunnen toenemen in frequentie en intensiteit. Omdat juist deze afvoeren bepalend zijn voor de morfologie, is belangrijk om te onderzoeken hoe groot de invloed van extremere afvoeren zal zijn op de bodem van de Nieuwe Merwede.

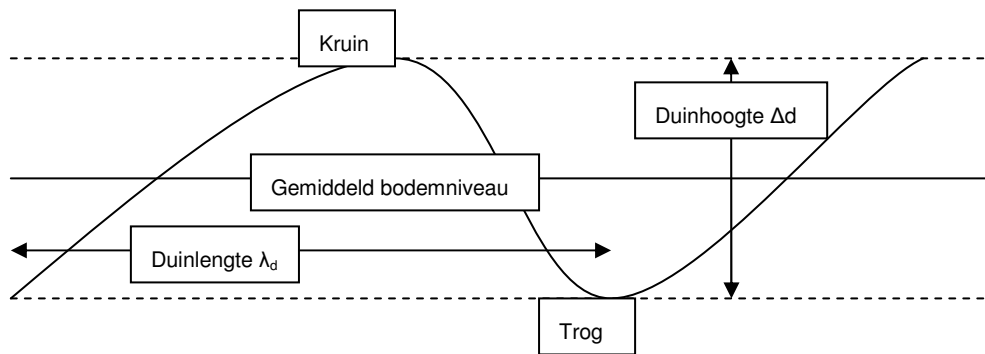
3.4 Duinvorming

Onder invloed van bodemtransport wordt de toplaag van rivierbodems regelmatig omgewoeld, voornamelijk door duinvorming. Dit is de morfologisch actieve laag. Voor het beheer van de Nieuwe Merwede is het van belang te schatten hoe dik een schone toplaag moet zijn, om eventuele erosie van dieperliggende verontreinigde sedimenten te voorkomen. Dit roept tevens vragen op over de “Maatgevende afvoer” voor erosie van sediment. Is dit dezelfde afvoer als de MHW voor de veiligheid?

3.4.1 Schatting duinhoogten op basis van theorie

Op rivierbodems met voldoende beschikbaarheid van zand worden er bij toenemende stroomsnelheid aanvankelijk ribbels en vervolgens duinen gevormd. Als de snelheid nog verder toeneemt, zal de duinhoogte weer afnemen. In de Merwedekop worden relatief lage stroomsnelheden gemeten (< 2 m/s), waardoor de maximale duinhoogte bereikt wordt bij de maximale stroomsnelheid (en waterstand).

De duinhoogte Δd wordt gedefinieerd als de verticale afstand tussen de kruin van een duin en de trog tussen twee duinen. Het gemiddelde bodemniveau ligt hier tussenin, zoals weergegeven in Figuur 3-1. Volgens Frings [2005] is de dikte van de morfologisch actieve laag ongeveer gelijk aan 0,5 x de maximale individuele duinhoogte. Dit komt bij benadering neer op 1 x de maximale gemiddelde (rivierbrede) duinhoogte.



Figuur 3-1: Weergave grootheden duinvorming

Van Rijn [1993] heeft uitvoerig onderzoek gedaan naar relaties tussen duinhoogte en duinlengte. Bepalende factoren in de vorming van duinen zijn bodemschuifspanning, korrelgrootte, stroomsnelheid en waterdiepte. Van Rijn heeft iteratief de volgende verbanden aangetoond:

$$\Delta d = 0.11h \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} (1 - e^{-0.5T}) (25 - T) \quad (3.2)$$

$$\lambda_d = 7.3h \quad (3.3)$$

$$T = (\tau'_{b,c} - \tau_{b,cr}) / \tau_{b,cr} \quad (3.4)$$

waarin:

Δd = gemiddelde duinhoogte [m]

h = waterdiepte tussen waterspiegel en gemiddeld bodemniveau [m]

d_{50} = mediane korreldiameter [m]

λ_d = duinlengte [m]

$\tau'_{b,c}$ = korrelgerelateerde bodemschuifspanning voor stroming [N/m^2]

$\tau_{b,cr}$ = kritische bodemschuifspanning [N/m^2]

De vergelijkingen voor het berekenen van schuifspanningen $\tau'_{b,c}$ en $\tau_{b,cr}$ worden beschreven in Bijlage 4.

3.4.2 Keuze Maatgevende Ecologische Afvoer

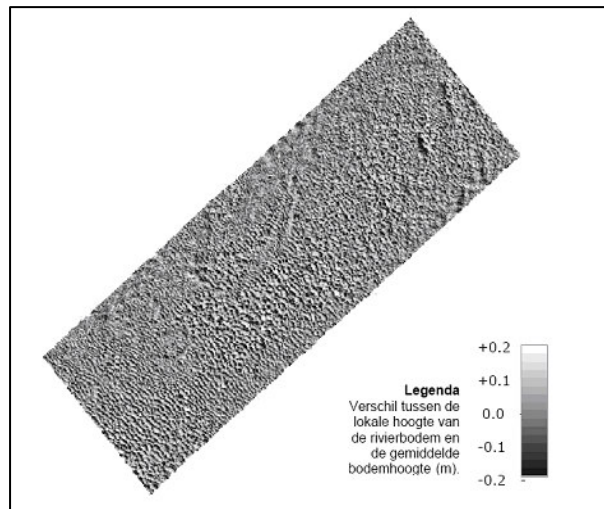
Uit bovenstaande vergelijkingen kan worden geconcludeerd dat de hoogste duinen gevormd worden bij MHW condities. Nu dient echter de vraag gesteld te worden of met deze condities rekening gehouden dient te worden bij de bepaling van de dikte van de te saneren toplaag. De hoogte van de MHW-afvoer is gekozen als een afvoer die eens per 1250 jaar voorkomt. Op deze tijdschaal lijkt het voorkomen van erosie van verontreinigingen in de rivierbodembodem minder belangrijk. Mogelijk is een groot deel van de verontreinigingen over enkele honderden jaren al afgebroken. Bovendien is het waarschijnlijk, gezien voorgaande ervaringen in bijvoorbeeld de Elbe in 2002, dat de ecologische schade door overstroming van bijvoorbeeld industriegebieden relatief veel groter is [Christiansen, 2004].

Hoewel deze vraag erg relevant is, wordt hij in dit onderzoek niet verder uitgewerkt. Er wordt aangenomen dat een "Maatgevende Ecologische Afvoer" kleiner is dan een MHW, maar beduidend groter dan een 30-jaar afvoer (30 jaar is de tijd waarop het beheer in dit

onderzoek gedimensioneerd wordt). Hiervoor wordt een afvoer gekozen van 15 000 m³/s bij Lobith.

3.4.3 Gevolgen Nieuwe Merwede

In Bijlage 4 is een berekening weergegeven waaruit blijkt bij een afvoer van 15 000 m³/s bij Lobith de gemiddelde duinhoogte Δd in de Nieuwe Merwede maximaal 0,55 m zal bedragen. De grootste duinen worden gevormd net na het Merwede-splitsingspunt bij Werkendam. Hier zijn de stroomsnelheden en korreldiameters het grootst. De duinen in het benedenstroomse deel van de Nieuwe Merwede (Deeneplaat) worden maximaal 0,36 m hoog. Omdat het vrijwel onmogelijk is om exact de te verwachten hoogte te berekenen, moet een onzekerheidsmarge worden aangehouden. Hiervoor wordt 50% gekozen.



Figuur 3-2: Weergave van duinvorming in de Nieuwe Merwede rond km raai 962 [Frings, 2005]

Frings [2005] heeft met multibeam-peilingen onderzoek gedaan naar sedimenttransporten en duinvorming rond de Merwedekop tijdens het hoogwater van januari 2004. De afvoer tijdens dit hoogwater bedroeg maximaal 6651 m³/s bij Lobith. Figuur 3-3 geeft weer dat duinvorming duidelijk zichtbaar is rond km raai 962. Tijdens de meetserie was de maximaal gemeten duinhoogte in de Nieuwe Merwede 0,36 m. Er bestaan geen metingen van maximale duinhoogten in de Merwedekop van grotere piekafvoeren, zoals in 1993 en 1995. Controle van de uitkomsten van vergelijking 3.2 met de meetresultaten van [Frings, 2005] geeft aan dat de duinhoogten in dit geval door vergelijking 3.2 enigszins overschat worden.

Conclusie

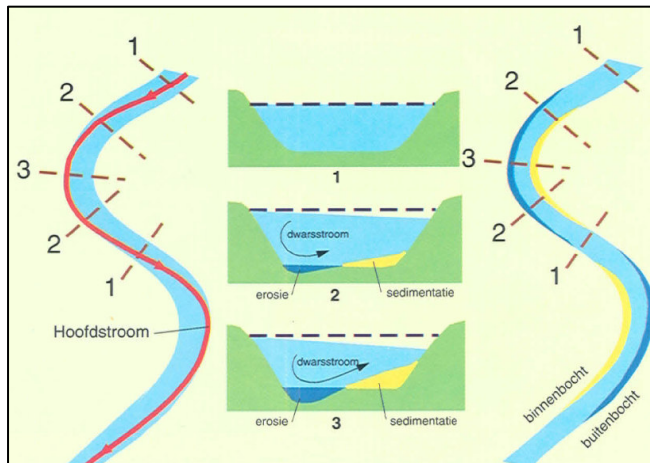
De maximale duinhoogte berekend volgens Van Rijn [1993] bedraagt in de Nieuwe Merwede ongeveer 55 cm (+/- 50%). Er bestaan hier geen metingen van duinhoogten bij extreem hoge afvoeren. Metingen uit 2004 geven aan dat de berekende waarde een lichte overschatting van de maximale duinhoogte geeft. Een aanname van de maximale dikte van de morfologisch actieve laag in de Nieuwe Merwede van 0,5 m geeft een veiligheidsmarge, omdat deze berekend is een afvoer die slechts eens in de enkele honderden jaren voorkomt. Deze waarde wordt in het vervolg van dit onderzoek aangehouden.

3.5 Bochtmorfologie

In bochten hebben rivieren over het algemeen een zeer asymmetrisch dwarsprofiel. De mate van asymmetrie is afhankelijk van een aantal parameters, waaronder de grootte van de afvoer. Bij hoge afvoeren kan de buitenbocht verdiepen ten opzichte van haar gemiddelde diepte. In deze paragraaf wordt onderzocht of dit effect van belang is bij het bepalen van de morfologisch actieve laag.

Theorie

Kribben en vaste kades hebben in de Nieuwe Merwede een einde gemaakt aan vormveranderingen van de rivier als gevolg van de hydraulica (b.v. bochtmigratie), maar de onderliggende processen bepalen nog altijd de bodemhoogten. In bochten ervaart het water een middelpuntszoekende kracht doordat de stroomrichting wordt veranderd. Hierdoor komt het water in de buitenbocht iets hoger te staan dan in de binnenbocht, waardoor een gradiënt ontstaat in druk (als gevolg van de gravitatiekracht) op het water. Hierdoor ontstaat bij de bodem een secundaire stroming in de richting van de binnenbocht, die in combinatie met de primaire stroming resulteert in een spiraalstroming in de rivier. Dit proces wordt geïllustreerd in Figuur 3-4.



Figuur 3-3: Stroombeeld in rivierbocht [RWS, 1992]

De grootte van de secundaire stroming bedraagt slechts enkele procenten van de primaire stroming. Omdat het bodemtransport echter vooral afhankelijk is van de stroming vlakbij de bodem, heeft de secundaire stroming een grote invloed op de transportrichting. Door het overschot aan bodemtransport in de richting van de binnenbocht ontstaat een gradiënt in de bodemhoogte, wat weer een zwaartekrachtgeïnduceerd transport richting buitenbocht veroorzaakt. Uiteindelijk ontstaat een dynamische balans in sedimentflux over de dwarsrichting [Jansen *et al.*, 1979]. Deze balans van sedimenttransport in dwarsrichting kan worden weergegeven door vergelijking 3.2:

$$s_r = s_{rs} + s_{rg} = 0 \quad (3.2)$$

Waarin:

s_r = sedimenttransport in dwarsrichting [m^2/s]

s_{rs} = sedimenttransport als gevolg van secundaire stroming [m^2/s]

s_{rg} = sedimenttransport als gevolg van zwaartekracht [m^2/s]

Dit evenwicht is sterk afhankelijk van de rivierafvoer [Ribberink & Buijsrogge, 2003; Li *et al.* 2004]. Bij hogere afvoer wordt een sterker asymmetrisch profiel gevormd als gevolg van een sterkere spiraalstroming. In de Yangtze is bij Jiujiang experimenteel bepaald wat de verhoudingen in diepte waren tussen situaties met een normaal debiet en een hoogwater. De resultaten worden weergegeven in Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Waterdieptes in rivierbocht Yangtze bij Jiujiang [Li *et al.*, 2004]

Locatie	Gemiddelde jaarlijkse afvoer 24,500 (m^3/s)	Gemiddelde afvoer hoogwaterseizoen 60,000 (m^3/s)
Binnenbocht	5.60m	10.18m
Buitenbocht	32.40m	56.86m
Verskil	26.80m	46.68m*

*Waarde gecorrigeerd t.o.v. bron

Uit [Li *et al.*, 2004] is naar voren gekomen dat zowel de duur als de hevigheid van een hoogwater bepalend zijn voor de waarde van de maximale diepte. Volgens Anthony & Harvey [1991] is de vorm van een riviergeul sterk afhankelijk van de fase van de waterafvoer. Bij een toenemende waterstand zijn de dwarsprofielen het meest asymmetrisch. Bij het dalen van de waterstand keert het rivierprofiel weer relatief snel terug naar de oude situatie. Er is nog veel sediment in de waterkolom opgenomen dat door de dalende stroomsnelheden zal sedimenteren.

Een belangrijke kanttekening bij de beschreven processen is dat in een rivier met uiterwaarden, bankfull-omstandigheden representatief zijn voor de morfologisch bepalende situatie. Dit komt doordat de gradiënt van het wateroppervlak in bochten deels wegvalt bij overstroming van de uiterwaard.

Nieuwe Merwede

In dit rapport wordt analoog aan bovenstaande conclusies aangenomen dat de secundaire stroming in de Nieuwe Merwede toeneemt bij stijgende afvoeren, tot aan bankfull-omstandigheden. Ook in de Nieuwe Merwede kunnen grotere dieptes ontstaan in de buitenbochten. Het evenwicht in de relatie tussen het dwarsverhang van de bodem, de gemiddelde waterdiepte en de straal van de rivierbocht kan grof benaderd worden met vergelijking 3.3 [Ribberink & Buijsrogge, 2003]:

$$\frac{\partial h}{\partial r} \approx \beta \frac{h}{r} \quad (3.3)$$

Waarin:

- δh = verdieping ten opzichte van de gemiddelde waterdiepte [m]
- δr = horizontale ten opzichte van de middenlijn van de rivier [m]
- h = gemiddelde waterdiepte [m]
- r = straal van rivierbocht [m]
- β = constante met grootte ongeveer 10 [-]

In de bochten van de Nieuwe Merwede kan met vergelijking 3.3 worden vastgesteld dat in een ideale bocht, bij bankfull-omstandigheden (ongeveer 2100 m³/s) maximaal tot 0,5 m dieper kunnen worden. Volgens Van de Berg [2000] echter treden er in de Rijn bij flauwe bochten ($r > 1$ km) verstoringen op van de secundaire stroming. De bochten van de Nieuwe Merwede zijn flauw ($r > 4$ km), waardoor de optredende tweedimensionale stromingseffecten niet erg sterk zullen zijn. In dit onderzoek wordt uitgegaan van een maximale extra verdieping bij bankfull omstandigheden van enkele decimeters. Opgeteld bij de hoogte van bij deze afvoer gevormde duinen (+/- 30 cm), wordt aangenomen dat de maximale dikte van de morfologisch actieve laag in de buitenbochten 0,5 m (+/- 50%) bedraagt.

Conclusie

De Nieuwe Merwede is een langzaam stromende rivier met uiterwaarden en flauwe bochten. Waarschijnlijk zal de bodem in de buitenbochten van de rivier bij hogere afvoeren enkele decimeters verdiepen. De meeste verdieping zal optreden bij bankfull omstandigheden, als de spiraalstroming het sterkst is. Samen met het effect van duinvorming, is de maximale dikte van de morfologisch actieve laag in de buitenbochten ongeveer 0,5 m (+/- 50%). Dit geldt echter alleen op deze specifieke locaties; in de rest van het zomerbed heeft spiraalstroming een verwaarloosbare invloed. Bij hogere afvoeren neemt de kracht van de spiraalstroming af. De dan optredende (turbulente) processen zijn moeilijk te kwantificeren.

3.6 Conclusie

Nalevering van in de bodem opgeslagen verontreinigingen kan alleen plaatsvinden op het grensvlak tussen sediment en water. Als de bodemopbouw van de Nieuwe Merwede niet zou veranderen, zouden alleen de verontreinigingen in de bovenste centimeters van het sediment de waterkwaliteit kunnen beïnvloeden. Door morfologische processen verandert de bodemopbouw echter wel, waardoor het grensvlak vergroot wordt tot de morfologisch actieve laag. Er zou een wettelijke norm opgesteld moeten worden voor de maatgevende afvoer voor erosie van verontreinigingen. In dit onderzoek is hiervoor een aanname gemaakt. Over de morfologisch actieve laag kunnen in de Nieuwe Merwede de volgende conclusies worden getrokken:

- Duinvorming is de bepalende factor voor de morfologisch actieve laag. Bij benadering is de dikte van deze laag gelijk aan maximale gemiddelde (rivierbrede) duinhoogte
- Op basis van berekening van duinhoogten bij een afvoer van 15 000 m³/s bij Lobith, wordt de maximale dikte van deze laag aangenomen 0,5 m (+/- 50%) te bedragen
- De grootste duinvorming doet zich bij een andere afvoer voor dan de sterkste spiraalstroming
- Bij bankfull omstandigheden (+/- 2100 m³/s) kunnen de buitenbochten door het gecombineerde effect van spiraalstroming en duinvorming lokaal ook tot 0,5 m (+/- 50%) verdiepen
- De invloed van klimaatverandering dient onderzocht te worden, omdat stijgende frequentie en intensiteit van hoge afvoeren bepalend zijn voor alle genoemde morfologische processen

Aanbevelingen

De waarde van 0,5 m als maatgevend voor de morfologisch actieve laag is voornamelijk bepaald op basis van theorie en schattingen. Het wordt zeer aanbevolen om een monitoring uit te voeren van ontwikkeling van de diepten in de Nieuwe Merwede (bochten) en van de dimensies van zandduinen tijdens een extreem hoogwater. Dit zal een meer betrouwbare schatting opleveren van de dikte van de morfologisch actieve laag.

4 UITGANGSPUNTEN NIEUWE MERWEDE 2037

4.1 Inleiding functies Nieuwe Merwede

In dit hoofdstuk wordt gezocht naar het antwoord op de derde onderzoeksvraag: “Aan welke eisen moet de Nieuwe Merwede in de periode 2007 – 2037 voldoen voor het waarborgen van haar functies?”. In het BeheerPlan Nat van Rijkswaterstaat Zuid-Holland worden de volgende functies toegekend aan de Nieuwe Merwede [RWS, 2003]:

1. Waterkeren
2. Afvoer van water, ijs en sediment
3. Transport en doorgaande recreatievaart
4. Lokale recreatievaart
5. Ecologie en waterkwaliteit
6. Oeverrecreatie en sportvisserij
7. Beroepsvisserij
8. Regionale watervoorziening
9. Overig buitendijks

Een aantal van deze functies heeft een relatief groot economisch of maatschappelijk belang. Hieronder worden voornamelijk de functies “waterkeren”, “afvoer van water, sediment en ijs”, “transport en doorgaande recreatievaart” en “ecologie en waterkwaliteit” gerekend. Met deze stelling wordt niet beweerd dat de overige vijf functies onbelangrijk zijn. Naar aanleiding van de doelstelling wordt echter besloten dat de vier genoemde functies in dit onderzoek de meeste relevantie hebben. Om deze reden worden alleen deze functies verder onderzocht.

Voordat dieper wordt ingegaan op hoe en óf deze functies in de toekomst veranderen, wordt in paragraaf 4.2 beschreven hoe in dit onderzoek wordt omgegaan met de onzekere toekomst. Deze onzekerheid wordt met name bepaald door klimaatverandering, die door zijn invloed op de waterhuishouding een grote rol zou kunnen spelen in het toekomstig beheer van de Nieuwe Merwede. In paragraaf 4.3 wordt beschreven welke aannames gemaakt worden voor toekomstige randvoorwaarden. In paragraaf 4.4 wordt beschreven welke ontwikkelingen de eisen op het gebied van de scheepvaart bepalen. De laatste belangrijke factor voor het beheer van de Nieuwe Merwede is de vereiste waterkwaliteit. Deze wordt met een beperkte diepgang beschreven in paragraaf 4.5. In paragraaf 4.6 worden de belangrijkste aannames en eisen die uit deze functiebeschrijvingen voortvloeien samengevat.

4.2 Eén referentiescenario voor 2037

Infrastructurele projecten vergen meestal niet alleen een lange tijd om te voltooien, ze worden ook uitgevoerd om in de toekomst een tijd lang aan hun functies te voldoen. Daarbij is het belangrijk een goed beeld te hebben van hoe de benodigde functies er gedurende de gehele levensduur van het project uit zullen zien. Het maken van deze voorspelling gaat echter gepaard met grote moeilijkheden. De woorden toekomst en onzekerheid zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Omdat infrastructurele projecten over het algemeen veel geld kosten, zijn goede voorspellingen van de toekomst zeer waardevol.

Er is een aantal methoden ontwikkeld om de onzekerheid te verkleinen, zoals modelschematisaties, best practice en scenarioanalyse. Deze voorzien allen in een net iets andere behoefte en kunnen elkaar ook aanvullen of input leveren voor elkaar. De scenarioanalyse is de laatste jaren in opkomst als methode voor het weergeven van “de

toekomst". In de milieuwetenschappen wordt een scenario voornamelijk beschreven als "beelden van de toekomst, of alternatieve toekomsten" [Nakicenovic *et al*, 2000]. Hierbij wordt een aantal - meestal extreem van elkaar gedifferentieerde - visies op mogelijke toekomstontwikkelingen opgesteld. Aan de hand daarvan kan worden nagegaan hoe men zich het beste op de scenario's kan voorbereiden, bijvoorbeeld door nu al maatregelen te nemen die op dit moment nog niet nodig lijken. De huidige discussie over klimaatverandering, aangewakkerd door rapporten van het IPCC, is hier een goed voorbeeld van. Ook bij morfologische voorspellingen hanteert men voor toekomstvoorspellingen scenario's [Mosselman *et al*, 2001]. Hiermee kunnen de randvoorwaarden die in de toekomst gelden worden gevarieerd bij het ontwerpen van maatregelen.

De relatief lange modelsimulaties in combinatie met de beperkte tijd voor het onderzoek, laten echter geen ruimte voor een uitgebreide scenarioanalyse. In dit onderzoek wordt volstaan met het gebruik van één toekomstscenario waarop alle beheersalternatieven gedimensioneerd worden: het referentiescenario. Voor de bepaling van het referentiescenario worden vier klimaatscenario's getoetst:

- de autonome ontwikkeling zonder klimaatverandering
- de autonome ontwikkeling onder invloed van een stijging in de frequentie en intensiteit van hoge afvoeren
- de autonome ontwikkeling onder invloed van zeespiegelstijging
- de autonome ontwikkeling onder invloed van beide verschijnselen

De verschillen tussen de resultaten van de genoemde scenario's geven aan hoe gevoelig het systeem is voor deze ontwikkelingen. Deze gevoeligheid kan eventueel worden meegenomen bij het kiezen van het referentiescenario en het ontwerpen van beheersalternatieven. Deze keuze wordt beschreven in Paragraaf 6.2.

4.3 Waterhuishouding 2037

4.3.1 Inleiding

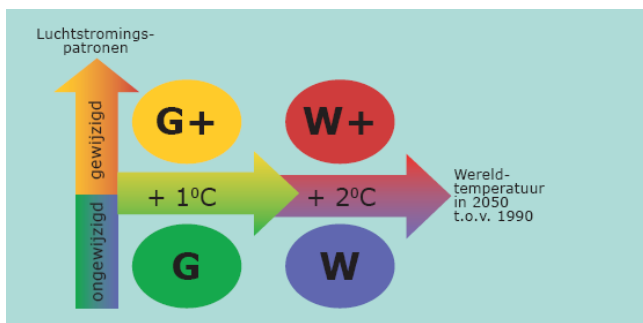
Bij de kwestie hoe de waterhuishouding in de toekomst gaat veranderen, is de belangrijkste factor wat er met het klimaat gebeurt. In deze paragraaf wordt beschreven welke scenario's Nederland de komende 100 jaar te wachten staan en hoe deze worden verwerkt in dit onderzoek. Het doel hiervan is om te komen tot randvoorwaarden die in het SOBEK-RE model worden verwerkt.

4.3.2 Klimaatverandering in noordwest Europa [KNMI, 2006]

Op basis van recent wereldwijd klimaatonderzoek en de resultaten van de nieuwste klimaatmodellen heeft het KNMI vier klimaatscenario's opgesteld: de KNMI '06 klimaatscenario's. Deze scenario's zijn opgesteld op basis van dezelfde gegevens die ook zijn gebruikt voor het IPCC rapport [IPCC, 2007]. Hierin zijn gegevens verwerkt over de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes.

De verschillen tussen de KNMI'06 klimaatscenario's zijn vooral gebaseerd op een aantal aannames omtrent temperatuurstijging en overheersende windstromingen. Alle scenario's gaan uit van een wereldwijde temperatuurstijging, maar ze variëren in de mate van stijging (1 °C of 2 °C stijging in 2050 ten opzichte van 1990). Verder verschillen ze in

de aanname of overheersende windstromingen boven West Europa wel of niet drastisch veranderen tot 2050. Een drastische verandering houdt in dat winters zachter en natter worden, terwijl zomers warmer en droger worden. In Figuur 4-1 zijn de gemaakte aannames uiteengezet.



G	Gematigd	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
G+	Gematigd +	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	Warm	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
W+	Warm +	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

Figuur 4-1: Betekenis van KNMI'06 klimaatscenario's [KNMI, 2006]

In elk scenario komt een aantal kenmerken van de klimaatverandering in Nederland en omgeving naar voren:

- De opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor
- De winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe
- De hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder
- De berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid
- De zeespiegel blijft stijgen

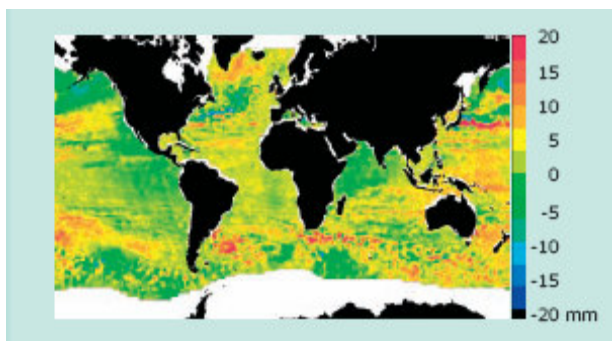
Hoewel het niet mogelijk is te zeggen welk van de scenario's het meest waarschijnlijk is, kan wel gesteld worden dat het zeer waarschijnlijk is dat het klimaat zich tussen de hier beschreven extremen zal ontwikkelen. Voor het onderzoeken van de invloed op het beheer van de Nieuwe Merwede, moeten de voor dit onderwerp relevante extremen worden gevonden en in het integrale plan meegenomen. Op die manier kan ook gesteld worden dat de Nieuwe Merwede zich hoogstwaarschijnlijk binnen de hier beschreven extremen zal ontwikkelen.

Het W+ scenario vertegenwoordigt de meest extreme verandering, omdat in dit scenario de temperatuurstijging hoog is (2 °C) en omdat de neerslagpatronen ingrijpend veranderen. In de winter valt veel meer regen, in de zomer veel minder. Een vergelijking tussen de resultaten bij een onveranderde weerssituatie en bij applicatie van het W+ scenario levert een goed beeld op van de mogelijke extremen, waartussen de toekomstige werkelijkheid zich waarschijnlijk zal bevinden. Voor dit onderzoek zijn vooral de ontwikkelingen in de neerslag (rivierafvoer) en zeespiegel van belang, omdat dit randvoorwaarden voor het watersysteemdeel Nieuwe Merwede zijn. De invloed van klimaatverandering volgens het W+ scenario op de zeespiegel en rivierafvoeren wordt in de volgende paragrafen besproken.

4.3.3 Gevolgen voor Zeespiegel

Metingen

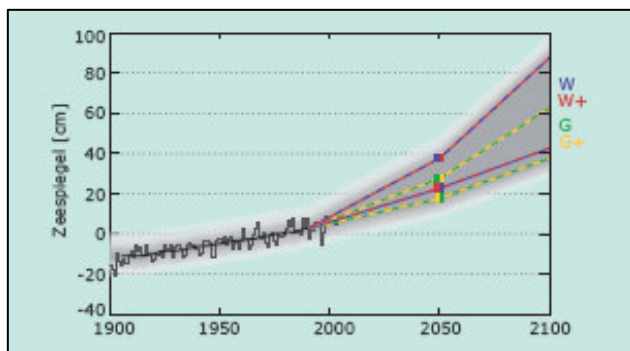
Wereldwijd verschillen de meetresultaten sinds 1993 van -20 mm tot +20 mm per jaar, maar de gemiddelde ontwikkeling is een stijging van +3 mm per jaar. Zoals ook in Figuur 4-2 te zien is, stijgt de zeespiegel in het noordelijke deel van de Atlantische Oceaan (inclusief de Noordzee) momenteel relatief snel. De gemiddelde jaarlijkse stijging in de 20e eeuw was +1 tot +2 mm per jaar. Het is echter nog niet mogelijk om aan te tonen of de ogenschijnlijke versnelling van de stijging in de laatste jaren een gevolg is van klimaatverandering. Hiervoor is de nieuwe reeks te kort.



Figuur 4-2: Zeespiegelstijging in mm per jaar tussen 1993 en 2004 zoals gemeten door satellieten [KNMI, 2006]

Toekomst

Dit onderzoek beperkt zich tot de -voor klimaatstudies zeer korte- termijn van 30 jaar. Vanwege de grote onzekerheden waarmee in klimaatstudies wordt gewerkt, geven de KNMI'06 scenario's een bandbreedte aan waarbinnen de werkelijke zeespiegelstijging zich zal bevinden. Dit wordt weergegeven met het grijze gebied in Figuur 4-3. Voor 2050 bedraagt deze bandbreedte een stijging tussen +15 cm en +35 cm ten opzichte van 1990. Omstreeks 2100 varieert de voorspelling tussen +35 cm en + 85 cm stijging. Hierna zal de zeespiegel waarschijnlijk nog honderden jaren blijven stijgen.



Figuur 4-3: De gemeten zeespiegelhoogte tot 2004 voor de Nederlandse kust (t.o.v. N.A.P.), en de bandbreedtes voor de KNMI'06 scenario's. De 0 cm lijn wordt aangegeven door de hoogte van de zeespiegel in het jaar 1990 [KNMI, 2006]

Voor dit onderzoek moet de zeespiegelstijging tot 2037 worden geschat. Hier zijn geen concrete gegevens over beschikbaar, maar op basis van bovenstaande data kan een inschatting gemaakt worden hoeveel de stijging ongeveer zal bedragen. Een van de doelen van deze studie is het bepalen van de extremen die de bodem door veranderingen in het klimaat kan bereiken. Dit geeft een basis om uit te gaan van het meest extreme scenario. De maximale stijging van de zeespiegel bedraagt hierin +35 cm in 2037. De methode die hiervoor gehanteerd is, wordt

beschreven in Bijlage 6. Er wordt in het onderzoek geen rekening gehouden met de invloed van de algemene bodemdaling in West Nederland. Voor zover deze ook op een rivierbodembodem van invloed is, wordt dit als een extra marge beschouwd ten gunste van de scheepvaart.

4.3.4 Gevolgen voor Rijn en Maas

Neerslagmetingen

In noordwest Europa is de gemiddelde hoeveelheid neerslag in de 20^e eeuw met 5 á 10% toegenomen. Hiervoor worden twee hoofdoorzaken aangewezen. Ten eerste kan warmere lucht meer waterdamp opnemen en ten tweede komt de relatief natte (zuid)westenwind steeds meer voor. In Nederland is de gemiddelde jaarlijkse neerslag zelfs toegenomen met 18%. Deze toename komt vooral voor rekening van de winter, lente en herfst. De hoeveelheid neerslag in de zomer is nauwelijks veranderd. De extreme hoeveelheid neerslag (tien-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden) is drastisch toegenomen met 29%.

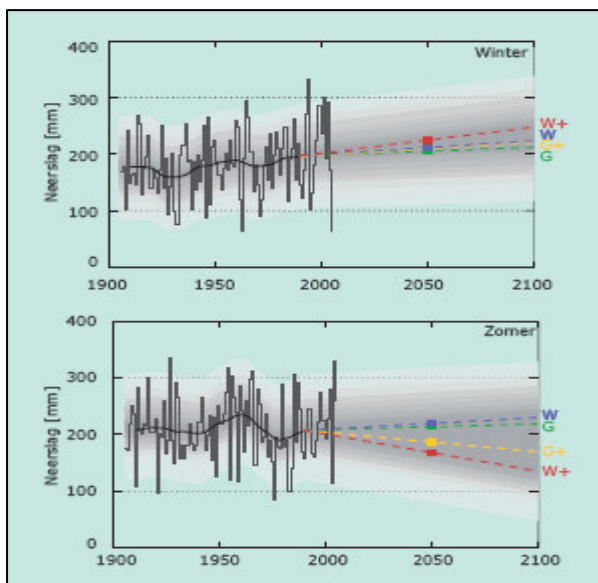
Toekomst

De voorspellingen voor de toekomstige neerslag verschillen behoorlijk tussen de verschillende scenario's. Dit is goed te zien in de verschillen tussen de stippellijnen in Figuur 4-4. De G en W scenario's voorspellen een toename van ongeveer 3% neerslag per graad temperatuurstijging, zowel 's zomers als 's winters. In de G+ en W+ scenario's (met een verandering in luchtstromingspatronen), neemt de neerslag extra toe in de winter (7% per graad) en af in de zomer (-10% per graad).

Gevolgen maandelijkse afvoeren

Van Deursen [2002] heeft met behulp van de modellen Rhineflow en Meuseflow onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van de afvoeren van de Rijn en Maas bij verandering van het klimaat. Het doel van de studie was om de bandbreedtes van toekomstige afvoeren vast te stellen. Ook werden maandelijkse gemiddelde afvoerveranderingen ten opzichte van de situatie in 2000 berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de WB21 scenario's (de voorloper van de KNMI'06 scenario's). De Wit et al. [2007] hebben dezelfde studie dit jaar opnieuw uitgevoerd met de KNMI'06 scenario's en gecontroleerd met behulp van het HBV model. De uitkomsten waren bijna identiek aan de resultaten van de eerdere studie van Van Deursen.

In alle scenario's stijgt de winterafvoer voor zowel Rijn als Maas. Met name voor de Rijn daalt de zomerafvoer drastisch; voor de Maas blijft de afvoer nagenoeg gelijk. Voor het W+ scenario zijn de gemiddelde maandelijkse veranderingen ten opzichte van het basisjaar 1990 weergegeven in Tabel 4-1. Omdat deze getallen niet beschikbaar waren voor de Maas, zijn de getallen van het WB21 scenario-midden genomen, die volgens De Wit et al [2007] representatief zijn voor de KNMI'06 scenario's W en W+.



Figuur 4-4: Neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 stations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen [KNMI, 2006]

Tabel 4-1: Gemiddelde verandering maandelijkse afvoeren Rijn en Maas in 2050 [Van Deursen, 2002 & De Wit *et al.*, 2007]

Maand	Relatieve verandering Rijn (%)	Relatieve verandering Maas (%)
Januari	14	25
Februari	18	18
Maart	16	18
April	12	17
Mei	2	8
Juni	-12	6
Juli	-24	1
Augustus	-34	-2
September	-37	-8
Oktober	-33	3
November	-18	-4
December	3	15

4.3.5 Vergelijking met hoogwaterbeleid

Tot nu toe is de voorspelde ontwikkeling op het gebied van de waterhuishouding gebaseerd op klimaatonderzoeken. Een vergelijking met het gevoerde (hoog)waterbeleid is op zijn plaats om te controleren of de genoemde conclusies bevestigd kunnen worden. Alleen de meest invloedrijke plannen worden besproken. Voor de veiligheid is vooral de PKB RvR relevant. Verder worden er momenteel studies uitgevoerd om een alternatief beheer van de Haringvlietsluizen te implementeren (De Kier).

PKB RvR [PKB RvR, 2006]

Op 19 december 2006 is de Eerste Kamer akkoord gegaan met deel 3 van de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivieren [ruimtevoorderivier.nl]. Om aan veranderende afvoeren te kunnen voldoen, moet de Maatgevende Hoogwaterafvoer (MHW-afvoer) voor de grote rivieren omhoog voor 2015. Voor de Rijn betekent dit een verhoging van 15 000 m³/s bij Lobith naar 16 000 m³/s. Voor de Maas gaat de MHW-afvoer van 3650 m³/s bij Borgharen naar 3800 m³/s. Op de langere termijn gaan deze MHW-afvoeren verder omhoog naar respectievelijk 18 000 m³/s voor de Rijn en 4600 m³/s voor de Maas. Ook wordt er uitgegaan van een zeespiegelstijging van 60 cm tot het jaar 2100. Vanaf 2015 wordt er gekeken naar oplossingsrichtingen voor het handhaven van het veiligheidsniveau tegen deze achtergronden. Grotendeels probeert men waterstandsverhogingen te voorkomen door de rivier de ruimte te geven. Hierbij kan gedacht worden aan maatregelen als uiterwaardenvergravingen, aanleg van nevengeulen en verwijdering van obstakels. Bij de Nieuwe Merwede wordt een waterstandverhoging voorkomen doordat de Noordwaard meestromend wordt gemaakt. Dit relatief grote project beoogt de voorgeschreven waterstandsverlaging voor alle Merwedens voor haar rekening te nemen. Dit wordt bereikt door een grondige herinrichting van polder de Noordwaard.

Herinrichting Noordwaard

De Noordwaard is een grote polder ten zuiden van de Nieuwe Merwede. Het huidige voorstel is om in deze polder 1.000 ha doorstroomgebied te creëren waarbij het doorstroomgebied tussen de 10 en 100 dagen per jaar onder water staat [RWS, 2007]. De herinrichting van de Noordwaard heeft bij hoge afvoeren grote invloed op de stroomsnelheid, waterstanden en morfologie in de Nieuwe Merwede. Naar verwachting zal bij MHW ca. 40% van de totale afvoer in de Nieuwe Merwede door de Noordwaard gaan. Dit zal de sedimenthuishouding in de Nieuwe Merwede veranderen [Royal Haskoning, 2007]. Omdat het water dat de Noordwaard instroomt relatief sedimentarm is

(de instroomopeningen liggen boven de hoogte waarin het bed-load transport plaatsvindt), veroorzaken hoge afvoeren een sedimentatiegolf in de Nieuwe Merwede. Modelberekeningen hebben aangetoond dat deze golven maximale hoogten bereiken van 50 cm. Bij een gelijkblijvende afvoerreeks verplaatsen de golven zich in benedenstroomse richting met een snelheid van ongeveer 400 m per jaar [Mol, 2004].

Vergelijking met KNMI'06 scenario's

In de studie van De Wit et al [2007] is behalve naar gemiddelde waarden ook gekeken naar de ontwikkeling van de MHW-afvoeren. Hiervoor wordt de huidige MHW-afvoer vermenigvuldigd met de procentuele verhoging van de 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-2. Voor het W+ scenario zijn de MHW-afvoeren aanzienlijk hoger dan de langetermijn doelen van de PKB RvR. De methode om tot deze resultaten te komen is echter zeer ruw. Om deze reden worden deze resultaten niet meegenomen in deze studie. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van de langetermijn doelen van de PKB RvR.

Tabel 4-2: MHW voor Rijn en Maas in huidige situatie en volgens het KNMI'06 W+ scenario [De Wit et al., 2007]

Herkomst norm	Rijn (Lobith) (m ³ /s)	Maas (Borgharen) (m ³ /s)
Huidige MHW-afvoer	16 000	3800
Toekomstige MHW-afvoer	18 000	4600
KNMI'06 W+ scenario	19 840	4712

De stijging van de zeespiegel bedraagt de laatste jaren 3 mm per jaar. De KNMI'06 scenario's gaan uit van een stijging tussen de +35 cm en +85 cm tot 2100. De aanname uit de PKB RvR van een stijging van +60 cm ligt hier precies tussenin. Deze komen goed met elkaar overeen.

Project Getemd Getij/De Kier

In het Besluit Beheer Haringvlietsluizen (2000) is afgesproken te streven naar een beheer dat een beperkte getijdenwerking toelaat in het Haringvliet-Hollandsch Diep [MinV&W, 2000]. In 2005 zou begonnen worden met het Project de Kier, waarbij de sluizen niet alleen bij eb maar ook bij vloed geopend worden (in beperkte mate). De begindatum van dit project is echter verschoven naar 2008. De gevolgen van Project de Kier zullen in het projectgebied nauwelijks te merken zijn. Stroomsnelheden zullen vrijwel hetzelfde blijven. De waterhoogten bij laagwater kunnen in extreme gevallen 1 á 2 cm lager worden [RWS, 2004]. Ook het overgangsgedebied tussen zoet en zout water blijft buiten de Nieuwe Merwede.

4.3.6 Conclusie: eisen en randvoorwaarden vanuit de waterhuishouding

Wetenschappelijk onderzoek op klimatologisch gebied geeft in combinatie met Nederlands hoogwaterbeleid een goede basis voor het vaststellen van randvoorwaarden op het gebied van de waterhuishouding. In dit onderzoek wordt aangenomen dat rekening gehouden moet worden met de volgende ontwikkelingen (alles ten opzichte van 2007):

- De zeespiegel blijft progressief stijgen en bedraagt maximaal +35 cm in 2037
- Het MHW stijgt naar 18 000 m³/s op de Rijn bij Lobith en 4600 m³/s op de Maas bij Borgharen
- De gemiddelde maandelijkse afvoeren op Rijn en Maas veranderen volgens Tabel 4-1. Dit betekent een toename van de afvoer in de winter (Rijn & Maas) en een grote afname van de afvoer in de zomer (alleen Rijn)

- Als gevolg van het herinrichten (meestromend maken) van de Noordwaard treden er bij hoge afvoeren sedimentatiegolven op van maximaal 50 in op de Nieuwe Merwede

Tevens blijven de volgende eisen gelden met betrekking tot de waterhoogten:

- Bij OLW wordt de vereiste vaardiepte van 4,95 m te allen tijde gehaald
- Bij MHW wordt geen waterstandsverhoging veroorzaakt door getroffen beheersmaatregelen

4.4 Scheepvaart 2037

4.4.1 Inleiding

De Nieuwe Merwede maakt deel uit van de hoofdtransportassen voor de binnenvaart en is met name van belang voor de route Duitsland – Antwerpen/Gent. Dit economische belang maakt de scheepvaart een van de bepalende factoren voor de afmetingen van het watersysteem. De transportsector groeit in Nederland al tientallen jaren, waarbij het aandeel van de scheepvaart in de modal split ongeveer gelijk is gebleven. Naast de economische belangen zijn de risico's van calamiteiten groot (b.v. door een vastgelopen schip dat gevaarlijke stoffen vervoert). Hierdoor is de ontwikkeling van de scheepvaart in de toekomst een belangrijke factor bij het ontwerpen van een beheerplan voor de Nieuwe Merwede. De recreatievaart wordt hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat deze niet bepalend wordt geacht voor de afmetingen van de rivier.



Figuur 4-5: Beroepsvaart op de Nieuwe Merwede

4.4.2 Algemene ontwikkelingen binnenvaart

In 1996 is een analyse gemaakt van de ontwikkelingen op het gebied van de binnenvaart op basis van gegevens uit 1992 [Smeenk & Kraan,1996]. Het totale transport per binnenschip in 1992 bedroeg 166,2 miljoen ton, waarvan het containervervoer nog geen 4% uitmaakte. In deze studie worden voorspellingen gedaan voor 2015, met behulp van een tweetal economische scenario's. De totale groei ligt tussen 30% en 100% voor de gegeven periode. Vooral het containervervoer groeit met 350% snel. In de studie wordt alleen in algemene termen naar de binnenvaart gekeken, waardoor er geen specifieke ontwikkeling voor de Nieuwe Merwede bekend is

In de Nota Mobiliteit [2004] worden vergelijkbare voorspellingen gedaan. Tot 2020 wordt een jaarlijkse groei voorspeld van 2% voor het bulkvervoer en 7 tot 10% voor het containervervoer. De investeringen die nodig zijn voor het op peil houden van de capaciteit van de vaarwegen gaan voornamelijk naar het oplossen van knelpunten bij bruggen, sluizen en ligplaatsen. Er wordt voornamelijk niet voorzien in een vergroting van het profiel van de hoofdtransportassen. Figuur 4-6 geeft de streefbeelden weer voor 2020, met de daarvoor geldende normen.

Verwachte ontwikkelingen Nieuwe Merwede

De groei van de scheepvaart op de Nieuwe Merwede kan aangenomen worden vergelijkbaar te zijn met de algemene trend. Deze aanname is bevestigd door expert O. Koedijk van RWS-DZH. De Nieuwe Merwede laat in de huidige situatie echter al de grootste typen binnenvaartschepen toe die in Nederland voorkomen, de zesbaksduwvaart. Dit komt overeen met afspraken van de Commissie van Europese Ministers van Transport (CEMT klasse VIc). In Bijlage 5 is een toelichting opgenomen voor de CEMT-classificatie van binnenvaartschepen. Er zullen meer scheepspassages plaatsvinden, maar niet van grotere schepen. Afgezien van achterstallig onderhoud voldoet de Nieuwe Merwede aan de gestelde normen. Negenbaksduwvaart vindt in Nederland vooralsnog nergens plaats; ook alle andere hoofdtransportassen voldoen hier niet aan [RWS, 2006-I]. Ook wordt voorlopig niet voorzien in een vergroting van het profiel van de Nieuwe Merwede voor de toelating van zeeschepen, zoals in de Dordtse Kil is gebeurd. De havens en vaarwegen bovenstrooms van de Nieuwe Merwede zijn hier niet op toegerust.



Figuur 4-6: Streefbeeld vaarwegennet 2020 [Nota Mobiliteit, 2004]

4.4.3 Conclusie: eisen vanuit de scheepvaart

Voor de komende jaren blijft de scheepvaartnorm voor de Nieuwe Merwede CEMT klasse VIc [RWS, 2003]. Dit betekent dat de volgende normen voor het watersysteem van kracht zijn:

- Gegarandeerde vaarwegbreedte bij OLW is 207 meter, voldoende voor 4-strooks verkeer
- gegarandeerde vaarwegdiepte bij OLW is tenminste 4,95 meter*

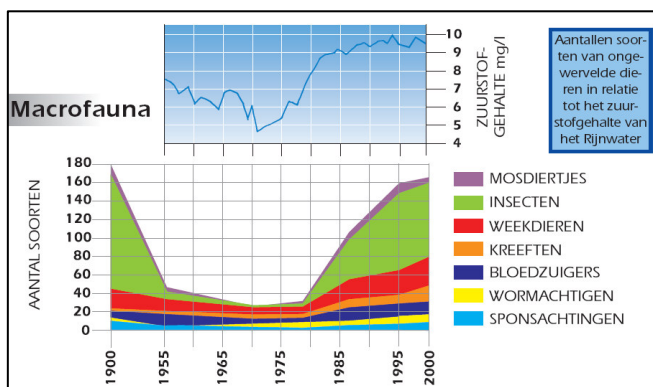
* Voor een gegarandeerde vaardiepte van 4,95 m wordt een onderhoudsdiepte aangehouden van 5,30 m. Gezien de geldende OLW-normen beschreven in Tabel 2-1, betekent dit een gegarandeerde diepte van -5,0 m N.A.P. bij Werkendam en -5,1 m N.A.P. bij de Deeneplaat.

4.5 Waterkwaliteit 2037

4.5.1 Inleiding ontwikkeling waterkwaliteit Rijn

Door grootschalige aanleg van rioolwaterzuiveringsinstallaties en het verbieden van lozingen door industrieën in het Rijnstroomgebied, zijn de meeste puntbronnen weggenomen als oorzaak van de voorheen slechte waterkwaliteit. Hierdoor zijn de concentraties van een aantal prioritaire stoffen afgenomen met 70% - 100% tussen 1986 en 2000. In Figuur 4-7 is te zien dat ook op ecologisch gebied al veel bereikt is. In Tabel 2-3 is evenwel aangetoond dat de gewenste kwaliteit nog niet voor alle stoffen bereikt is.

Door de afname van verontreinigingen uit puntbronnen komen de minder acute, maar



niet onbelangrijke diffuse bronnen van verontreiniging nu steeds meer in beeld als volgende stap in de verbetering van de waterkwaliteit. Hierbij kan gedacht worden aan uitspoeling van nutriënten uit landbouwgebieden en herverontreiniging van het water door in de tijd opgebouwde sliblagen.

Figuur 4-7: Ontwikkeling van de soortenrijkdom in de Rijn [ICBR, 2003]

De Nieuwe Merwede is zowel afhankelijk als oorzaak van deze herverontreiniging. Het is voor het ontwerp van een beheerplan van belang om te bepalen welke toestand gewenst is voor zowel het water als voor de bodem in 2037. In deze paragraaf wordt beschreven welke beleidsdocumenten hiervoor relevant zijn en in hoeverre een vertaling gemaakt kan worden naar eisen voor het beheer.

4.5.2 Vergelijking huidige situatie met relevante beleidsdocumenten

Inleiding

Voordat de Kaderrichtlijn Water (KRW) in 2000 in Europees verband werd aangenomen, werd de 4^e Nota Waterhuishouding (NW4) aangehouden als normstellend voor zowel waterkwaliteit als waterbodemkwaliteit in Nederland. In Hoofdstuk 2.4.3 is beschreven in hoeverre de bodem van de Nieuwe Merwede voldoet aan de eisen uit NW4.

In de toekomst zal de KRW het beleid steeds meer gaan vormen. Naast de genoemde beleidsdocumenten is de "Handleiding Sanering Waterbodems" [RWS, 2006-III] vooral in praktische zin belangrijk. De relevante eisen uit de genoemde beleidsdocumenten worden hier besproken. *N.B. Er zijn meer relevante beleidsdocumenten zoals de "Natuurbeschermingswet" en de "Flora en Faunawet". Deze beleidsdocumenten worden echter niet besproken omdat niet het niet binnen de scope van het onderzoek valt om de relatie tussen ecologie en bodemkwaliteit te onderzoeken.*

Kaderrichtlijn Water

De KRW beoogt het nieuwe kader te vormen voor regelgeving op het snijvlak tussen water en milieu in Europees verband. Waterbeheer op stroomgebiedniveau is daarbij het uitgangspunt. Momenteel wordt nationale regelgeving aangepast om aan de KRW te voldoen. Ook worden nieuwe programma's opgevat om door de KRW gestelde doelen na

te streven. In de KRW wordt ieder water- en grondwaterlichaam gekarakteriseerd als “natuurlijk”, “sterk veranderd” of “kunstmatig”. Hiernaast wordt ieder lichaam ook gedetailleerd getypeerd (b.v. “zwak gebufferde (regionale) kanalen” of “matig grote diepe gebufferde meren”). Aan ieder type worden chemische en ecologische doelen toegekend, waar de waterkwaliteit in 2015 of uiterlijk in 2027 aan dient te voldoen. Om deze reden vormen de KRW-doelen een relevante input voor het bepalen van de gewenste eigenschappen van de Nieuwe Merwede in 2037 [RAO, 2004].

De Nieuwe Merwede is opgenomen in deelgebied Rijn-west en wordt samen met de Dordtsche Biesbosch aangemerkt als één waterlichaam (NL94_2). Dit waterlichaam heeft volgens het KRW-portaal kenmerken zoals weergegeven in Tabel 4-3.

Tabel 4-3: KRW-classificatie Nieuwe Merwede [Royal Haskoning, 2007]

Kenmerk	Beoordeling
code waterlichaam:	NL94_2
KRW-type:	R8, zoet getijdenwater (uitlopers rivier op zand/klei)
geaggregeerd type:	Rivieren
KRW-status:	sterk veranderd. Kent vooroevers en is aan de noordkant bedijkt. Het zoetwatergetijdengebied van Nieuwe Merwede en Dordtse Biesbosch is wezenlijk veranderd door afsluiting van de Haringvliet.
chemische toestand:	Probleemstoffen: <ul style="list-style-type: none"> • KRW-stoffen: anthraceen, diuron, nikkel, benzo(k)fluorantheen, simazine en tributyltin • Rijnrelevante stoffen: koper en som PCB
ecologische toestand:	Biologische kwaliteitselementen: <ul style="list-style-type: none"> • probleemstoffen: totaal stikstof, totaal fosfor, koper en PCB's • biologische toestand: ontoereikend (fytobenthos, macrofyten, vis)

In de KRW worden nog geen concrete eisen geformuleerd over de toestand van de waterbodem. Momenteel wordt er in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat gewerkt aan de harmonisatie van de KRW met nationale wetgeving. Verwacht wordt dat dit binnen enkele jaren zal leiden tot meetbare eisen.

Handleiding Sanering Waterbodems

In Hoofdstuk 1 is beschreven dat met dit onderzoek onder andere een uitgebreide verdieping van het risicospoor “verspreiding via het oppervlaktewater” wordt beoogd. De werkwijze van het onderzoeken van risico's per spoor is afkomstig uit de Handleiding Sanering Waterbodems (HSW). Deze is opgesteld als uitwerking van de Circulaire Sanering Waterbodems (2005) en geldt als maatgevend voor het bepalen van:

- noodzaak om een waterbodem te saneren (saneringscriterium)
- tijdstip van sanering
- doelstellingen van de sanering

Voor iedere klasse aangetroffen verontreiniging gelden andere normen omtrent de wijze van sanering, transport en verwerking. Gezien de aard van de aangetroffen verontreinigingen in de Nieuwe Merwede (veelal klasse 3 – 4+, zie Hoofdstuk 2.4.3) is de regelgeving streng. Indien het slib geen risico vormt, is momenteel de beste oplossing opslag op de huidige locatie, ook in geval van zware verontreiniging. In de praktijk betekent dit over het algemeen het afgraven van een toplaag, gevolgd door afdekking met schoon materiaal (eventueel kunstmatig aangebracht). Het onderliggende materiaal kan daardoor niet meer verspreiden. Het afgegraven materiaal zal worden opgeslagen in een depot zoals het Baggerspeciedepot Hollandsch Diep of de Slufter op de Maasvlakte.

Net als in de KRW, worden er in de HSW geen concrete eisen gesteld aan de kwaliteit van de waterbodem. De eisen zullen altijd per locatie verschillen, door verschillen in korrelgrootte, bodemmateriaal, grondwaterstromen, lokaal voorkomende natuur, functies en gebruik, enz. Het valt buiten de scope van dit onderzoek om deze factoren allen mee te nemen. Bij het schrijven van dit rapport, vindt de risicoanalyse van de bodem van de Nieuwe Merwede plaats. De eerste resultaten wijzen in de richting van een saneringsnoodzaak [Royal Haskoning, 2007]. De resultaten uit dat onderzoek worden voor zover mogelijk meegenomen.

4.5.3 Conclusie: eisen vanuit de waterkwaliteit

Eventuele negatieve gevolgen van verontreinigingen in de waterbodem zijn afhankelijk van lokale omstandigheden zoals grondwaterstromen, lokaal voorkomende natuur, functies en gebruik, enz. De minimaal gewenste kwaliteit van de bodem is afhankelijk van deze omstandigheden. Voor het vaststellen van de gewenste kwaliteit is hierdoor een risicoanalyse nodig.

Hoewel de gewenste kwaliteit nog niet exact bekend is, staat vast dat de kwaliteit van zowel water als bodem in de Nieuwe Merwede niet voldoen aan NW4 én KRW. Bovendien is de verwachting van Rijkswaterstaat dat er een saneringsnoodzaak bestaat [Royal Haskoning, 2007]. Omdat de kwaliteit van de bodem wel van wezenlijk belang is voor de kwaliteit van het water én sediment benedenstrooms, moet hier een aanname voor worden gemaakt. Deze wordt gebaseerd op de conclusie uit Hoofdstuk 3 over de dikte van de morfologisch actieve laag.

In dit onderzoek wordt de doelstelling op het gebied van de bodemkwaliteit als volgt gedefinieerd:

- In het morfologisch actieve deel van de waterbodem (50 cm) wordt maximaal tot klasse 2 verontreinigd sediment aangetroffen
- Er mag geen verontreinigd sediment (klasse 3+) blijven liggen onder zones waarbij de grootschalige ontwikkeling erosie is*

* Sedimentatie is geen probleem, aangezien de toplaag alleen wordt verhoogd met sediment van het HVN. Hierdoor blijft de kwaliteit van de morfologisch actieve laag maximaal klasse 2 verontreinigd.

4.6 **Conclusie Nieuwe Merwede 2037**

In dit hoofdstuk is beschreven dat veranderende behoeften op milieutechnisch gebied nieuwe eisen zullen stellen aan de Nieuwe Merwede. De kwaliteit van het Rijnwater is al ruim 20 jaar aan het verbeteren. Het saneren van de verontreinigde waterbodem is een onvermijdelijke volgende stap om verdere verbeteringen te bewerkstelligen. Hoewel de eisen van de scheepvaart niet veranderen in de nabije toekomst, blijven ze medebepalend voor de inrichting van het zomerbed.

Niet alleen de behoeften van de mens veranderen de eisen aan het projectgebied. Hoewel de exacte invloed moeilijk te analyseren blijft, zal het veranderende klimaat zeker invloed hebben op de randvoorwaarden. Er zullen (vaker) extremere afvoeren voorkomen en de zeespiegel zal niet alleen blijven stijgen: hoogstwaarschijnlijk neemt het stijgingstempo in de toekomst toe. Bij het ontwerpen van een nieuw beheersplan

dient met deze factoren rekening mee te worden gehouden. In dit onderzoek veranderen de randvoorwaarden van toepassing op het watersysteem als volgt:

- de zeespiegel blijft progressief stijgen en bedraagt maximaal +35 cm in 2037
- het MHW stijgt naar 18 000 m³/s op de Rijn bij Lobith en 4600 m³/s op de Maas bij Borgharen
- de gemiddelde maandelijkse afvoeren op Rijn en Maas veranderen volgens Tabel 4-1. Dit betekent een toename van de afvoer in de winter (Rijn & Maas) en een grote afname van de afvoer in de zomer (alleen Rijn)
- als gevolg van het herinrichten (meestromend maken) van de Noordwaard treden er bij hoge afvoeren sedimentatiegolven op van maximaal 50 cm in de Nieuwe Merwede

De eisen die in dit onderzoek gelden voor de Nieuwe Merwede in 2037 worden geformuleerd als volgt:

- gegarandeerde vaarwegbreedte bij OLW is 207 meter, voldoende voor 4-strooks verkeer
- gegarandeerde vaarwegdiepte bij OLW is tenminste 4,95 meter
- In het morfologisch actieve deel van de waterbodem (50 cm) wordt maximaal tot klasse 2 verontreinigd sediment aangetroffen
- Er mag geen verontreinigd sediment (klasse 3+) blijven liggen onder zones waarbij de grootschalige ontwikkeling erosie is
- Bij MHW wordt geen waterstandsverhoging veroorzaakt door de uitgevoerde beheersmaatregelen

5 MODELOPZET

5.1 Inleiding

In dit onderzoek wordt gezocht naar informatie over de ontwikkeling van de waterbodem in de tijd (30 jaar), over een afstand van bijna 20 km. Een gedetailleerde berekening hiervan is zonder model niet mogelijk. Daarom wordt gebruik gemaakt van het ééndimensionale SOBEK-RE model, op basis van een bestaande schematisatie van het benedenrivierengebied. In dit hoofdstuk wordt het model beschreven en een antwoord gegeven op de vierde onderzoeksvraag: “In hoeverre zijn de resultaten van het morfologische SOBEK-RE model bruikbaar en waar schiet dit model tekort?”.

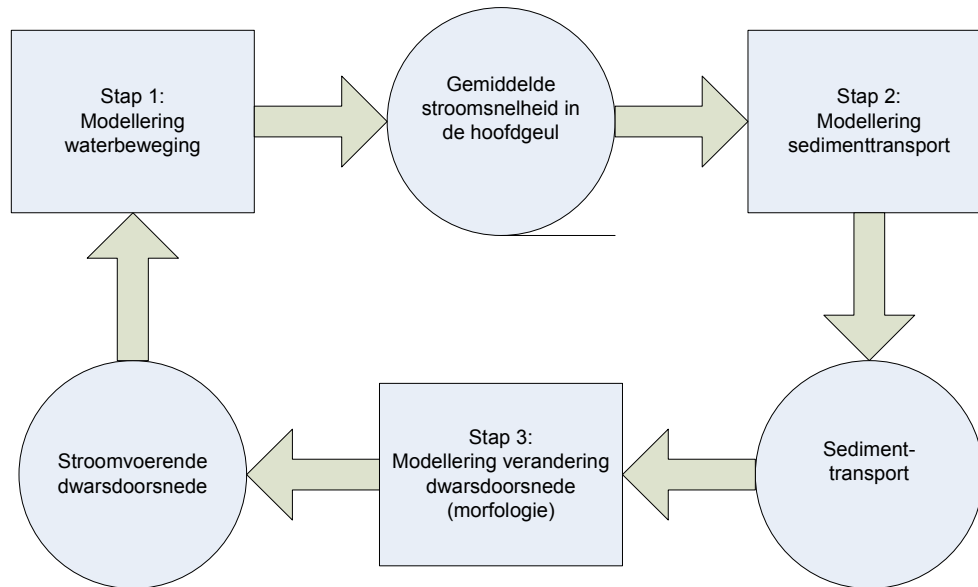
Het SOBEK-RE model is ontwikkeld door WL|Delft Hydraulics in samenwerking met Rijkswaterstaat-RIZA en is voor onderwijsdoeleinden beschikbaar gesteld aan de Universiteit Twente. In paragraaf 5.2 wordt beschreven hoe het gebruikte model functioneert. paragraaf 5.3 behandelt de instellingen van het model voor toepassing op het projectgebied (modelschematisatie). Ook wordt beschreven welke aanpassing wordt gedaan ten opzichte van het bestaande model. De validatie van het model met behulp van recente metingen wordt in paragraaf 5.4 beschreven. Hierin wordt duidelijk gemaakt in hoeverre het model de ontwikkelingen weergeeft zoals die in de werkelijkheid geschieden. In paragraaf 5.5 wordt beschreven welke aanpassingen in de schematisatie zijn aangebracht voor het onderzoeken van de invloed van klimaatverandering. De belangrijkste conclusies worden samengevat in paragraaf 5.6.

5.2 Morfologische modellering met SOBEK-RE

Het gebruik van het SOBEK-RE model stond voor aanvang van dit onderzoek nog niet vast. In de voorbereidende fase werden de voor- en nadelen van 3 modellen (SOBEK-RE, WAQUA en Delft3D) tegen elkaar afgewogen. In Bijlage 7 is beschreven hoe tot de keuze van het hier gebruikte model is gekomen. De belangrijkste redenen zijn het bestaan van een gekalibreerde schematisatie van het projectgebied en de relatief kleine rekencapaciteit die benodigd is voor het uitvoeren van simulaties. SOBEK-RE heeft in eerdere morfologische studies van het Rijntakkenstelsel haar bruikbaarheid bewezen [Jesse & Kroekenstoel, 2001; Ter Hoeven, 2002].

SOBEK-RE is een numeriek 1-dimensionaal model voor berekening van processen in een dynamische open geul. Het kan gebruikt worden voor de berekening van hydraulische parameters zoals waterhoogten en stroomsnelheden, maar ook voor aanverwante processen zoals zouttransport, sedimenttransport en morfologie.

Voor de relatief complexe morfologische berekeningen wordt in het SOBEK-RE model een quasi-stationaire waterbeweging verondersteld. De waterbeweging is namelijk afhankelijk van de rivierdoorsnede en de morfologie is weer afhankelijk van de waterbeweging. In het model wordt eerst met een vaste dwarsdoorsnede bepaald welke waterdieptes en stroomsnelheden voorkomen in het gemodelleerde gebied. Met de uitkomsten hiervan wordt het sedimenttransport berekend. Dit sedimenttransport is nodig voor het berekenen van de verandering van de bodemhoogten. Tenslotte worden de bodemhoogten in de volgende tijdstap weer gebruikt als invoer voor de berekening van waterdieptes en stroomsnelheden [SOBEK-RE User Manual, 2004]. Figuur 5-1 bevat een schematische weergave van deze stappencyclus. In Bijlage 8 worden de wiskundige vergelijkingen beschreven waarmee deze stappen worden uitgevoerd.



Figuur 5-1: Schematische weergave van de morfologische berekening in SOBEK-RE

Het projectgebied kan gedetailleerd in het model ingevoerd worden. Hierbij kan gedacht worden aan variaties in geometrie, stroomvoerende en bergende oppervlakten, frictiebepalende parameters zoals korrelgrootten en begroeiing van de bodem, aanwezigheid van zomerdijken of bebouwing en verdelingen van afvoer en sedimenttransport op bifurcaties. De doorsneden in het model worden verdeeld in een aantal secties: zomerbed, kribvak, stroomvoerende uiterwaard en niet-stroomvoerende uiterwaard.

Een belangrijke simplificatie van het model ten opzichte van de werkelijkheid is dat morfologische processen alleen in het zomerbed worden gemodelleerd. Er vindt dan ook geen uitwisseling van sediment plaats tussen de uiterwaarden en het zomerbed. Tijdens normale afvoercondities levert dit geen noemenswaardige onnauwkeurigheden op. Bij hoge (sediment-) afvoeren kunnen er echter rare situaties ontstaan bij overgangen van relatief kleine naar grote doorstroomprofielen. De afvoer van water zal hier wel deels door de uiterwaarden gaan, terwijl al het sediment in het zomerbed blijft. Doordat de stroomsnelheid op deze overgang daalt, ontstaat nu een sedimentberg in het model. Bij de gekozen modelinstellingen verdwijnen deze sedimentbergen na het hoogwater weer. In het projectgebied komt dit probleem niet voor.

Omdat het model een ééndimensionaal model betreft, worden hydraulische en morfologische veranderingen in het model gemiddeld over de doorsnede [Van Vuren et al., 2005]. In Hoofdstuk 3 is reeds beschreven hoe spiraalstroming een invloedrijke factor kan zijn op de morfologie. Het is moeilijk te zeggen hoe een ingreep in de waterbodem zich voortplant in de driedimensionale ruimte. Deze complicatie wordt verder behandeld in Hoofdstuk 5.4.3.

De grote mate van onzekerheid in dit project staat niet op zichzelf in de morfologische modellering. Het is een terugkerend fenomeen dat er te weinig bekend is over morfologische processen en dat modellen nog niet uitontwikkeld zijn [Mosselman et al., 2001]. Belangrijk is dat bij het ontwerp van maatregelen voldoende rekening wordt gehouden met dit punt. Het wordt aangeraden om bij ingrepen veiligheidsmarges in te bouwen, waardoor het niet snel zal gebeuren dat er zich alsnog situaties voor zullen doen waarop maatregelen niet gedimensioneerd zijn. Bovendien zal monitoring noodzakelijk blijven om tijdig in te grijpen als er toch ongewenste situaties ontstaan.

Overigens heeft het gebruik van een ééndimensionaal model in dit opzicht ook een voordeel: het beperken van de complexiteit in een deels onbekende wereld.

5.3 Schematisatie Noordelijk Deltabekken

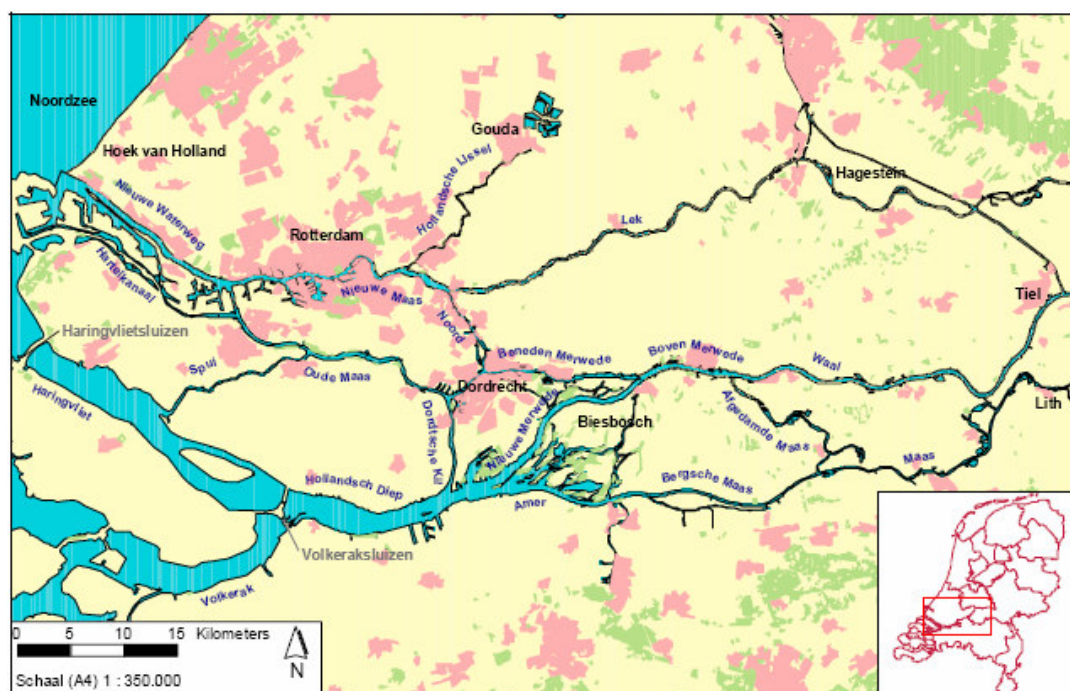
5.3.1 Totstandkoming

Mol [2003] heeft een schematisatie van het Noordelijk DeltaBekken (NDB) door Wang [2001] verbeterd en morfologisch gekalibreerd met behulp van meetgegevens van Boven-, Beneden- en Nieuwe Merwede. Doel was om te komen tot een betrouwbaar model voor dit gebied, waarmee de grootschalige morfologische effecten van een tweetal rivierverruimende maatregelen onderzocht konden worden. Vervolgens heeft Mol [2004] de morfologische schematisatie verder uitgebreid met een calibratie van de riviertakken Lek en Maas. Bij dit onderzoek werd tevens een verbetering van het model beoogd door middel van een rekentijdverkorting. De resultaten hiervan waren echter onbevredigend. Wel is een stabiel model verkregen van het gehele NDB, waarmee morfologische effecten van ingrepen in het systeem onderzocht kunnen worden.

Aangezien het doel van het model van Mol [2004] en het gemodelleerde gebied overeenkomen met de doelen en projectgebied van deze studie, is er voor gekozen om deze schematisatie te gebruiken. In deze paragraaf wordt beschreven wat de bepalende eigenschappen van deze schematisatie zijn en op welke punten deze aangepast is. Verder wordt beschreven welke tekortkomingen het model heeft en hoe daarmee wordt omgegaan.

5.3.2 Eigenschappen schematisatie NDB Mol [2004]

De schematisatie van het NDB is gemaakt met SOBEK-River, omdat SOBEK-Estuary vooral is geschreven voor zoutindringing in plaats van morfologie. SOBEK-River daarentegen heeft een morfologische module. Het Noordelijk Deltabekken is geografisch en schematisch (in SOBEK) weergegeven in Figuur 5-2, respectievelijk Figuur 5-3.

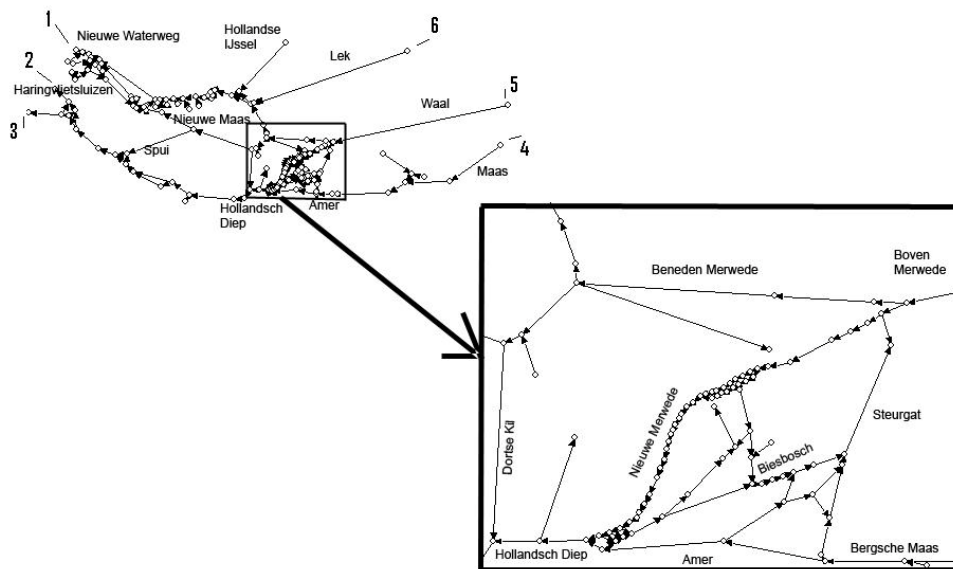


Figuur 5-2: Weergave van het projectgebied van de NDB-schematisatie [Mol, 2003]

Randvoorwaarden

Voor het functioneren van het model (zie ook Bijlage 8) is er op elke bovenstroomse grens een hydraulische en een morfologische randvoorwaarde nodig. Benedenstrooms is op elke grens een hydraulische randvoorwaarde nodig.

De bovenstroomse grenzen van de schematisatie zijn de plaatsen vanaf waar de getijdeninvloed op de grote rivieren niet meer merkbaar is. Op twee locaties zijn dit stuwen (Lith op de Maas en Hagestein op de Lek). Op de Waal ligt deze grens bij Tiel. Op deze plekken geldt de dagelijkse gemiddelde afvoer tussen 1990 en 2000 als opgelegde randvoorwaarde. Voor langere berekeningen wordt deze reeks herhaald. Verder wordt een vaste bodemhoogte verondersteld als morfologische randvoorwaarde. Dit wordt gerechtvaardigd met de stelling dat de locatie van de bovenstroomse grenzen ongeveer overeenkomt met het punt in het Nederlandse rivierengebied waar een gemiddelde erosie overgaat in een gemiddelde sedimentatie [Ter Hoeven, 2002]. Het sedimenttransport over deze grens is afhankelijk van het opgegeven debiet en korrelgrootte.



Figuur 5-3: SOBEK-RE schematisatie van het projectgebied (nummering in Tabel 5-1)

Benedenstrooms is de begrenzing de Noordzee, bij de riviermonding in de Nieuwe Waterweg en de spuisluizen in het Haringvliet. Hier is de waterhoogte van de zeespiegel de opgelegde randvoorwaarde (getijcyclus van +/- 25 uur met een tijdstap van 10 minuten). In de getijcyclus wordt geen rekening gehouden met het meteorologisch getij of andere periodieke verschijnselen zoals de springtij-doodtij cyclus. Bij de Haringvlietsluizen is het huidige beheersprogramma gekozen (LPH84). Op de benedenstroomse grenzen is als morfologische randvoorwaarde een vaste bodem opgegeven. In Tabel 5-1 zijn de randvoorwaarden kwantitatief gegeven.

**Tabel 5-1: Hydraulische en morfologische randvoorwaarden in model NDB [Mol, 2003]
(locaties aangegeven in Figuur 5-3)**

	Grens	Hydraulische randvoorwaarde	Morfologische randvoorwaarde
1	Maasmond	Getij, periode 24u 50m	bodemhoogte: -25,5
2	Haringvliet	Getij, periode 24u 50m	bodemhoogte: -4,73
3	Haringvliet-20	Getij, periode 24u 50m	bodemhoogte: -4,45
4	Maas (Lith)	daggemiddelde afvoer	bodemhoogte: -5,12
5	Waal (Tiel)	daggemiddelde afvoer	bodemhoogte: -1,66
6	Lek (Hagestein)	daggemiddelde afvoer	bodemhoogte: -4,93

Riviergeometrie

Over het algemeen hebben de riviertakken een weinig variërende, regelmatige en min of meer rechthoekige dwarsdoorsnede met een eveneens regelmatige bodemgeometrie zonder plaat/geulconfiguraties. Vooral in de bovengelige riviertakken komen uiterwaarden voor. Voor de bovenstroomse delen van het projectgebied van deze studie en voor het projectgebied zelf is met het programma Baseline om de 500m een doorsnede van de rivier ingevoerd. Deze doorsneden zijn gebaseerd op gegevens uit 1999 voor de Merwedede en uit 1990 voor de Waal en Lek. Benedenstrooms zijn de doorsneden om de 2 km opgegeven, op basis van gegevens uit 1990. Een hoog detailniveau hier is minder belangrijk in het onderzoek, omdat morfologische processen zich hier in benedenstroomse richting verplaatsen. Omdat de bodemprofielen niet met elkaar overeenkomen op de overgangen van oude en nieuwe gegevens, zijn initiële laterale onttrekkingen van sediment ingevoerd. De "drempels" in de schematisatie die ontstonden door 2 datasets te combineren, worden weggenomen door in de eerste tijdstap sediment te onttrekken of toe te voegen op de overgangen van oude en nieuwe gegevens. Zo wordt een glad rivierprofiel verkregen en wordt het model toch bruikbaar.

Korrel diameters

De korrel diameters zijn ingevoerd op basis van 5km-gemiddelde waarden, om uitschieters en rare schommelingen te voorkomen. Om de meetresultaten van bodemhoogtes beter aan te laten sluiten aan de resultaten van het model is op een aantal locaties een wijziging van de korrel diameters doorgevoerd. Deze betreffen schattingen van gradiënten in korrel diameters, waardoor deze op probleemtrajecten beter aansluiten op de werkelijkheid.

Baggerhoeveelheden

In het model zijn baggerhoeveelheden tussen 1990 en 2000 opgenomen op basis van gegevens van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland. Hierbij gaat het met name om de riviertakken Waal, Merwedede, Maas en Lek. In het model worden deze hoeveelheden gelijk gehouden om verwachte ontwikkelingen in de toekomst zo veel mogelijk te benaderen.

Tijdstap

De rekenstap in het model is 1 uur.

Formule sedimenttransport en kalibratiefactor

De gebruikte formule voor sedimenttransport is op alle takken Engelund & Hansen. Per tak heeft Mol [2003] bepaald bij welke kalibratiefactor de modelresultaten het beste op meetresultaten aansluit. De riviertakken benedenstrooms van de Merwedede zijn morfologisch niet afgeregeld. Hier staat de kalibratiefactor standaard op 1. In Bijlage 8 is het gebruik van de formule en de kalibratiefactor beschreven.

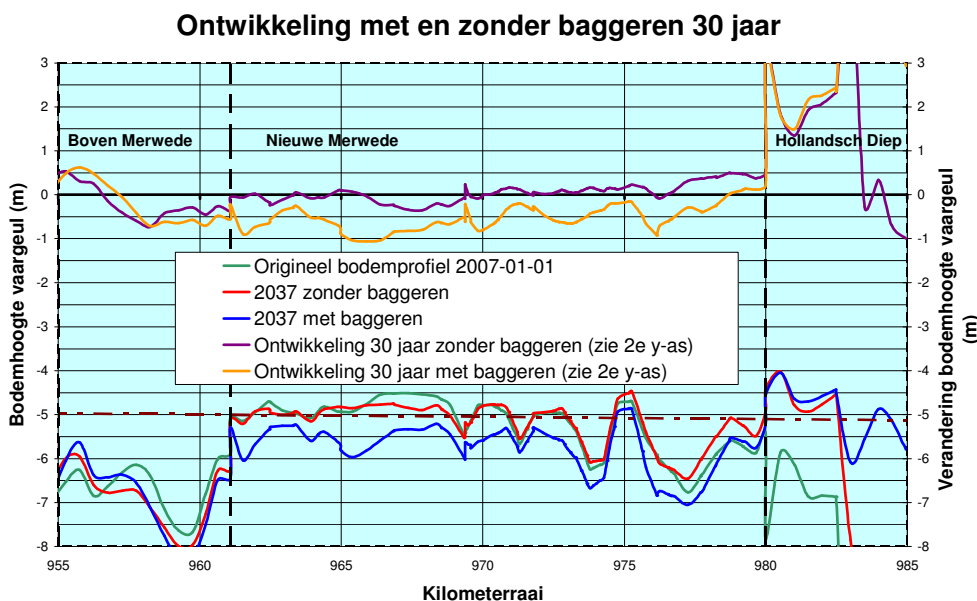
5.3.3 Aanpassing baggerhoeveelheden

In de Nieuwe Merwede vinden jaarlijks ingrepen plaats in de bodem ten behoeve van nautisch onderhoud en zandwinning (zie Bijlage 2). Om zijn model zo goed mogelijk overeen te laten komen met de werkelijkheid, heeft Mol [2003] per rivierdeel opgegeven hoeveel er gebaggerd wordt. Deze data zijn voor de periode 1990 – 2000 globaal bekend. De gebaggerde volumes zijn bekend voor drie delen van de Nieuwe Merwede en voor elk deel wordt het totale volume gedeeld door het totale oppervlak. Het volume dat op een locatie gebaggerd wordt, wordt verdeeld over het gehele rivierdeel waarin de locatie ligt. Hij kiest ervoor om deze hoeveelheden gelijk te laten in simulaties van de toekomst.

In dit onderzoek wordt voor een andere aanpak gekozen. Omdat het doel van dit onderzoek is om te komen tot beheersmaatregelen voor de waterbodem, moet er in de autonome ontwikkeling van worden uitgegaan dat er geen ingrepen in de bodem plaatsvinden in het projectgebied. Zodoende kan de afzonderlijke invloed van een baggeringreep op een bepaalde locatie worden geanalyseerd. De baggeringrepen in de rest van het Noordelijk Deltabekken worden gelijk gelaten, omdat er vanuit kan worden gegaan dat hier gebaggerd zal blijven worden.

Deze keuze leidt logischerwijze tot een verschil in resultaat ten opzichte van het oorspronkelijke model. In Figuur 5-4 wordt weergegeven hoe de bodem van de Nieuwe Merwede er na 30 jaar uitziet zónder baggeringrepen (rode lijn) en mét baggeringrepen (blauwe lijn). De ontwikkeling ten opzichte van het originele bodemprofiel wordt weergegeven door de oranje en paarse lijnen. Hieruit blijkt dat een modellering mét baggeren een structurele verdieping van de Nieuwe Merwede veroorzaakt. De paarse lijn lijkt een realistischer weergave van de autonome ontwikkeling te tonen: een dynamisch evenwicht in het bovenstroomse deel van de Nieuwe Merwede en duidelijke sedimentatie in het benedenstroomse deel.

Met betrekking tot de morfologie valt verder een fenomeen buiten het projectgebied op. Dit is de exorbitante sedimentatie in het Hollandsch Diep. In enkele tientallen jaren blijkt hier tot 3 meter sedimentatie voor te komen. Omdat deze echter geen invloed heeft op de morfologie in het projectgebied wordt het verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5-4: Invloed baggeren op autonome ontwikkeling 30 jaar

5.3.4 Onzekerheid NDB-model Mol [2004]

In modellen speelt onzekerheid een belangrijke rol. Omdat het in een model per definitie gaat om een beperkte voorstelling van de werkelijkheid, is het onvermijdelijk dat bepaalde invloeden niet kunnen worden meegenomen en dat anderen beperkt worden weergegeven. Voor het kalibreren van het morfologische model van het NDB heeft Mol [2003] morfologische veranderingen op grote schaal berekend. Met grootschalige morfologische veranderingen wordt bedoeld: de totale volumeverandering van de rivierbodem voor één totale onderzoekstak (b.v. Boven Merwede of Nieuwe Merwede), ofwel de sedimentbalans per tak. Voor de Nieuwe Merwede wordt een onnauwkeurigheid van de grootschalige morfologie van onder de 10% gevonden.

Hoewel in Mol [2003] expliciet vermeld wordt dat het model niet gekalibreerd is op kleinschalige morfologie, lijkt deze toepassing voor de Nieuwe Merwede toch verdedigbaar. De gemiddelde afwijking van de gesimuleerde bodemhoogte ten opzichte van gemeten waarden is zo'n 15 cm. Dit is in het kader van dit onderzoek zeer acceptabel.

In Hoofdstuk 3 is beschreven dat extreme afvoeren relatief een zeer grote invloed hebben op de morfologie. Dit is in het gebruikte model getest in de Nieuwe Merwede door de ontwikkeling op een willekeurige locatie in de rivier te volgen tijdens het hoogwater van januari 1995. In Bijlage 9 zijn het debiet, de stroomsnelheid, het sedimenttransport en de ontwikkeling van de bodem weergegeven voor km raai 978. Hier blijkt duidelijk uit dat de invloed van een grote afvoer veel groter is dan van alle andere afvoeren. Toch is de absolute verandering (15 cm erosie) niet groot, zoals in het onderste plaatje te zien is. Bovendien herstelt het bodemprofiel zich op de langere termijn van enkele maanden.

5.4 **Validatie model**

Voor het bepalen van de waarde van de modelresultaten, moet worden getoetst in hoeverre het model de werkelijkheid weergeeft. Hoewel Mol [2003] hier uitspraken over heeft gedaan, is het belangrijk dat ook in dit onderzoek een toetsing wordt uitgevoerd door het model te vergelijken met de meest recente meetgegevens. Dit kan worden gedaan door middel van een validatie, waarin recente meetgegevens worden vergeleken met de resultaten uit het model [Kolkman, 2001]. Hiervoor moeten twee stappen worden doorlopen:

- Een vergelijking van de bodemhoogte in het begin van de modelberekening met de meest recente meetgegevens. Hiermee kan worden beoordeeld of de uitgangssituatie van een modelsimulatie overeenkomt met de huidige bodemligging van de Nieuwe Merwede.
- Een vergelijking van de resultaten van het model na een simulatie van 5 jaar, met de meeste recente 5 jaar aan metingen. Hiervoor worden de verschillende instellingen met betrekking tot baggerwerkzaamheden, zoals beschreven in paragraaf 5.3.3, getoetst.

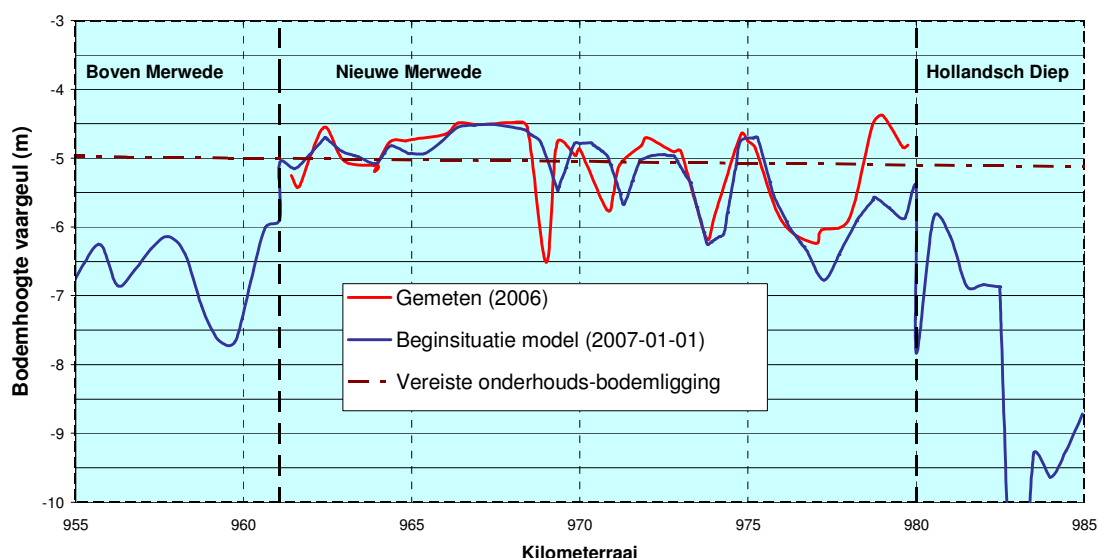
5.4.1 Vergelijking beginsituatie model met werkelijkheid

De bodemhoogte op de startdatum vormt het vertrekpunt voor de berekening van de verandering van de bodemhoogte. Omdat gebruik wordt gemaakt van oudere data in het model, moet worden gecontroleerd of deze voldoende voldoet om de huidige situatie te representeren. De gegevens in het model zijn afkomstig uit de Baseline schematisatie

van het NDB, die gebruik maakt van lodingen uit 1999 [Mol, 2003]. Deze worden vergeleken met de meest recente lodingen in het projectgebied uit 2006 [Data ontvangen van RWS-Bouwdienst, maart 2007].

Uit Figuur 5-5 blijkt dat de data redelijk met elkaar overeenkomen. Enkele verdiepingen in het middendeel van de rivier zijn enigszins verschoven. Het is opmerkelijk dat deze in de recente data (uit 2006) meer stroomopwaarts liggen dan in de modelinvoer (uit 1999). Aangezien morfologische ontwikkelingen zich in laaglandrivieren stroomafwaarts verplaatsen [Ribberink & Buijsrogge, 2003], is de enige verklaring hiervoor (naast meeton nauwkeurigheden) de uitvoering van baggerwerkzaamheden. Dit kan niet worden gecontroleerd, omdat er geen data beschikbaar is van de exacte locaties van baggerwerkzaamheden in het gebied. Uit Figuur 5-5 zou tevens kunnen worden geconcludeerd dat er in het benedenstroomse deel van de rivier aanzienlijke sedimentatie heeft plaatsgevonden. Dit komt overeen met de werkelijkheid (zie Kaart 2).

Vergelijking SOBEK-schematisatie met werkelijke diepten



Figuur 5-5: Gemeten bodemhoogte Nieuwe Merwede uitgezet tegen beginsituatie in NDB-schematisatie [meetgegevens ontvangen van RWS, 2006]

In paragraaf 5.3.2 is beschreven dat op een aantal locaties bodemhoogten zijn gewijzigd om bodemdata uit 1990 aan te laten sluiten op bodemdata uit 1999. Dit is bereikt door laterale onttrekkingen van sediment. Deze onttrekkingen zijn in de Nieuwe Merwede zo klein dat ze geen invloed hebben op de validatie van het model.

De genoemde verschillen geven geen aanleiding het model niet te kunnen gebruiken. Bij het onderzoeken van maatregelen moet echter wel rekening worden gehouden met deze onnauwkeurigheden.

5.4.2 Vergelijking resultaten over 5 jaar

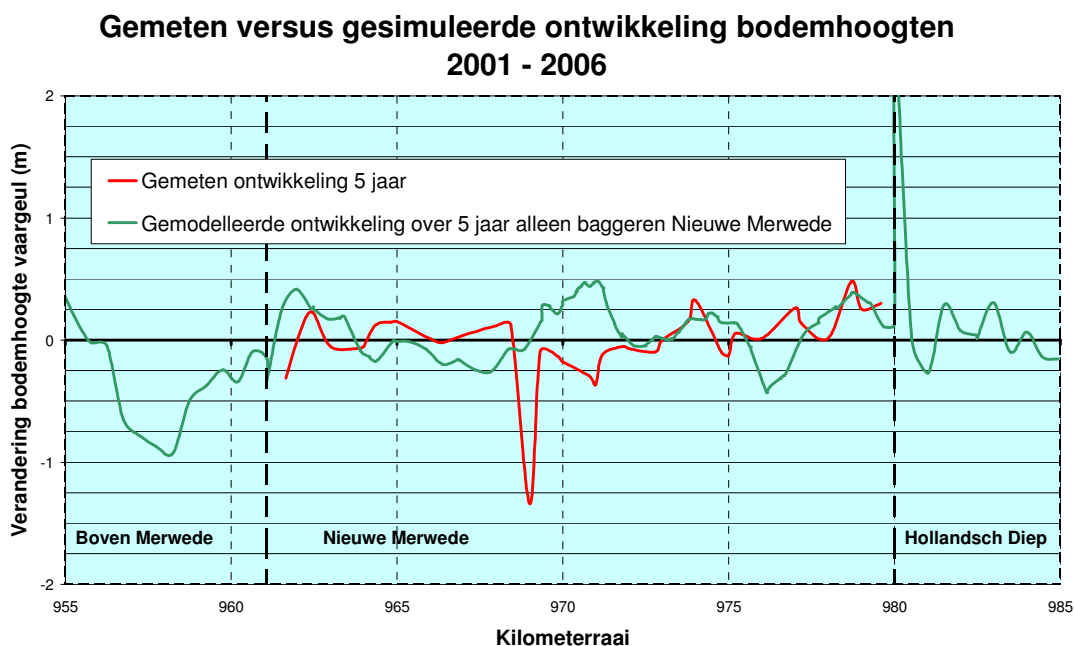
Kleine schaal

Om het functioneren van het model te kunnen testen op het gebied van de morfologische ontwikkeling van de Nieuwe Merwede, zou in de ideale situatie een gemodelleerde reeks worden vergeleken met lodingen over dezelfde periode. Zo zou bijvoorbeeld de ontwikkeling van de bodemhoogte tussen 1999 en 2004 volgens het NDB-model

(afhankelijk van de in het model ingevoerde afvoeren tussen 1999 en 2004) moeten worden vergeleken met meetgegevens en gedetailleerde baggerdata over deze zelfde periode.

Dit is echter niet mogelijk, omdat het model werkt met lodingen uit 1999 en afvoeren tussen 1990 en 2000. Gedetailleerde meetgegevens zijn alleen beschikbaar voor de periode 2001 tot 2006. Gedetailleerde baggergegevens zijn helemaal niet beschikbaar. Bovendien worden niet dezelfde waarden met elkaar vergeleken, omdat de SOBEK-RE waarden gemiddelden zijn over 500 m op basis van Baseline-data, terwijl de lodingen gemeten data per locatie betreffen. Voor het kwalitatief toetsen van de werking van het model moet toch gebruik worden gemaakt van deze reeksen. Zo kan een indicatie worden verkregen van de werking van het model.

In Figuur 5-6 zijn de resultaten te zien van de validatie van de ontwikkeling over 5 jaar. De rode lijn geeft aan wat er in werkelijkheid is gebeurd. Het betreft hier data waarin alle morfologische veranderingen zijn weergegeven, zonder onderscheid tussen natuurlijke en menselijke oorzaken. Het is waarschijnlijk dat de relatief grote verdieping op km raai 969 veroorzaakt wordt door zandwinning. Ook kan worden aangenomen dat baggerwerkzaamheden op andere locaties invloed hebben op de ontwikkeling van de bodemhoogte. De groene lijn geeft de resultaten van de modelsimulatie weer. Hierin zijn geen baggerwerkzaamheden meegenomen.



Figuur 5-6: Gemeten verandering van de bodem van de Nieuwe Merwede uitgezet tegen resultaten modelsimulatie [meetgegevens ontvangen van RWS, 2006]

De gepresenteerde resultatenrun vertoont onvoldoende gelijkenis met de gemeten ontwikkeling. Er zijn opvallend veel gevallen waar de metingen juist erosie aangeven terwijl de modelresultaten op sedimentatie wijzen, of andersom. Anderzijds wijken de modelresultaten ook niet structureel af van de metingen. Beide geven een wisselend beeld van erosie en sedimentatie weer. Het vermoeden bestaat dat het ontbreken van informatie over locaties en volumes van baggerwerkzaamheden de belangrijkste oorzaak van de afwijkingen is (bevestigd expert opinion Aad Fioole & Arie van Spijk, beiden RWS-ZH).

Grote schaal

Op een hoger schaalniveau (de sedimentatie of erosie van de Nieuwe Merwede als eenheid) is het wel mogelijk om een ruwe validatie uit te voeren waarin uitgevoerde baggerwerkzaamheden worden meegenomen. In Bijlage 2 wordt beschreven welk volume de baggerwerkzaamheden elk jaar in de gehele Nieuwe Merwede hebben. Het model voorspelt een sedimentatie van ongeveer 300 000 m³ in 5 jaar. De metingen geven erosie aan van 20 000 m³, maar na eliminatie van de invloed van baggerwerkzaamheden, wordt een sedimentatie van ruim 1 050 000 m³ in vijf jaar berekend. Het verschil tussen de modelresultaten en de metingen is ongeveer een factor 3,5.

Een oorzaak van de afwijking zou kunnen zijn dat een onbekend deel van de baggerwerkzaamheden plaatsvindt in de vorm van zandwinning buiten de vaargeul. Hierdoor zullen metingen en modelresultaten beter op elkaar aansluiten (de modelresultaten geven alleen de ontwikkeling in de vaargeul weer). Een andere oorzaak van de afwijking kan gezocht worden in de neiging van de bodem om na baggerwerkzaamheden binnen enkele jaren terug te keren naar het oorspronkelijke profiel. Hierdoor verandert er weinig in de bodemligging, terwijl er wel grote volumes gebaggerd en gesedimenteerd zijn.

5.4.3 Discussie tekortkomingen SOBEK-RE

Zoals bij andere modellen ook het geval is, geeft SOBEK-RE een aantal processen wel weer en een aantal andere processen niet. In deze paragraaf worden de gevolgen besproken van de tekortkomingen van SOBEK-RE voor dit onderzoek. De volgende processen, die in de gebruikte versie van SOBEK-RE niet worden weergegeven, worden hier besproken: zand-slib segregatie, onderscheid bodemtransport en transport van gesuspendeerd materiaal en driedimensionale stromingsbewegingen. Een aantal van deze processen wordt in een nieuw morfologisch model van de Nieuwe Merwede, dat momenteel wordt ontworpen bij WL|Delft Hydraulics, wel meegenomen [Mosseman *et al*, 2005].

Zand-slib segregatie

Slib wordt gedefinieerd als materiaal waarvan de korrels < 0,063 mm zijn. Morfologische processen op zandbodems werken anders dan op slibbodems. Een belangrijke reden hiervoor is dat slib cohesief materiaal is, omdat slibdeeltjes verbindingen met elkaar aangaan (flocculatie) en in de bodem consolideren. Bij zand gebeurt dit niet. Bij zandbodems spelen bodemvormen als duinen een belangrijke rol in de bodemruwheid, een proces dat bij slibbodems nauwelijks voorkomt. De meeste modellen, waaronder SOBEK-RE, gaan uit van zandbodems óf van slibbodems. Gemengde zand-slibbodems blijken afwijkend gedrag te vertonen van zuivere bodems [Van Ledden, 1999]. Een zandige bodem vertoont afwijkend gedrag vanaf een slibpercentage van ongeveer 5 – 15 %. Uit figuur 2-9 blijkt dat dit in de Nieuwe Merwede vooral voorkomt benedenstrooms van km raai 975 en op een aantal zandbanken eerder. Mol [2003] heeft al aangegeven dat de resultaten van het gebruikte SOBEK-RE model tussen km raai 975 en 980 om deze reden aan meer onzekerheid onderhevig is.

Bij gemengde bodems speelt zand-slib segregatie een belangrijke rol, waarbij een ruimtelijke afwisseling bestaat tussen slib en zand. De erodeerbaarheid van de bodem neemt hierdoor af, terwijl ook de ruwheid afneemt. De bodemhoogten zullen minder snel variëren in de praktijk, dan in een model waarin dit niet is meegenomen. Zowel sedimenttransport als morfologie zou in dit deel van de Nieuwe Merwede minder kunnen variëren dan door SOBEK-RE berekend wordt. Dit is echter zeer afhankelijk van

extremen in de afvoer. Gezien de goede resultaten van de validatie in de laatste kilometers van de Nieuwe Merwede (Figuur 5-6), waar nauwelijks gebaggerd is in die tijd, lijkt zand-slib segregatie in een lange termijn berekening zoals in dit onderzoek geen grote structurele invloed te hebben.

Onderscheid bodemtransport en transport van gesuspendeerd materiaal

In het gebruikte model wordt de transportformule van Engelund & Hansen (E&H) toegepast. Dit is een totaaltransport formule, die bodemtransport en gesuspendeerd transport bij elkaar voegt en samen verwerkt in morfologische veranderingen. De transporten die worden berekend met E&H zijn hierdoor relatief groot ten opzichte van bijvoorbeeld een berekening met Meyer-Peter-Müller, waardoor tevens de gradiënt in transport ook veel groter is en dus ook de bodemveranderingen.

Een voorbeeld hiervan is dat bij lage afvoeren misschien bodemtransport wordt berekend dat eigenlijk niet plaatsvindt, waardoor sedimenttransporten te hoog uit kunnen vallen. IN een andere situatie kan de berekende sedimentatie te hoog uitvallen, doordat zwevend transport niet apart wordt berekend. Materiaal dat misschien niet in de waterkolom aanwezig is als het in het gebied binnenkomt, wordt afhankelijk van de stroomsnelheid wel in de waterkolom gesimuleerd en kan nu binnen het systeem sedimenteren.

Volgens Mol [2003] is het berekende transport benedenstrooms op de Nieuwe Merwede kleiner dan volgens metingen. Dit wordt echter gewijkt aan het voorkomen van grotere concentraties slib in de bodem van dit deel van de rivier.

Driedimensionale stromingsbewegingen

Spiraalstroming als gevolg van bochten is in Paragraaf 3.5 uitvoerig besproken. De invloed van dit proces stijgt bij bovengemiddelde afvoeren. Spiraalstroming zorgt bij uitstek voor een variatie van bodemhoogten in dwarsrichting en in mindere mate ook in langsricting (zie Kaart 3). Deze verschillen worden in SOBEK niet goed weergegeven. Weliswaar kan met de invoer van dwarsdoorsneden worden aangegeven hoe diep de rivier over elke breedte is; dit resulteert op zijn best in een symmetrische beschouwing. Morfologische ontwikkelingen die hierdoor worden beïnvloed, kunnen niet worden weergegeven.

In dit onderzoek wordt dit probleem ondervangen door met veiligheidsmarges te werken. Het fenomeen is bekend, evenals de vormen van de bodem. Uit de eerste simulaties blijkt dat de algehele bodemopbouw in langsricting niet veel meer verandert. De bodemopbouw heeft een vaste vorm gekregen (bochten verplaatsen zich niet). Dit komt overeen met de resultaten uit Fioule & Steenkamp [2000], waarin wordt aangegeven dat de bodemopbouw in grote lijnen gelijk is gebleven sinds 1990. Wel blijken baggerwerkzaamheden regelmatig veranderingen te veroorzaken, die de rivier in de jaren na de ingreep weer afvlakt.

Spiraalstroming zou een grote rol kunnen gaan spelen als beheersmaatregelen in de Nieuwe Merwede worden uitgevoerd. Dit geldt vooral voor het geval waarin de maatregelen alleen in een deel van het dwarsprofiel worden uitgevoerd, zoals bij een verdieping van de vaargeul of bij het volledig verwijderen van verontreinigde sedimenten uit een zandbank in de vaarweg. Na uitvoering van dergelijke werkzaamheden zal de bodem zich gaan herstellen in de richting van de oude vorm, zowel in dwars- als in langsricting. De snelheid in langsricting is groter, maar de te herstellen lengte over het algemeen ook. Hierdoor is het mogelijk dat spiraalstroming ongewenste effecten veroorzaakt. Voorbeelden zijn hernieuwde verondieping van de vaargeul en erosie van

verontreinigd materiaal uit de vaarweg, beide na een verdieping van alleen de vaargeul. Hier wordt in paragraaf 6.3 op teruggekomen.

5.4.4 Conclusie validatie

Op basis van de validatie kan niet worden geconcludeerd dat het model op lokaal niveau overeenkomt met meetresultaten. Voor een belangrijk deel is dit te wijten aan het ontbreken van kennis over volumes en locaties van baggerwerkzaamheden. Op een hoger schaalniveau bedraagt het verschil tussen de modelresultaten en metingen ongeveer een factor 3,5. Voor beide schaalniveau's geldt dat er nog te veel onbekenden zijn om een validatie volledig uit te kunnen voeren. De modelresultaten van de kleinschalige morfologie wijken niet heel sterk af van de gemeten waarden. De ontwikkeling over 30 jaar weergegeven in Figuur 5-4, geeft aan dat de langjarige trend overeenkomt met de huidige trend, beschreven in Hoofdstuk 2. Hierin is het bovenstroomse deel ongeveer in balans, terwijl in het benedenstroomse deel een trend van sedimentatie waar is te nemen.

De door Mol [2003] genoemde gemiddelde afwijking tussen metingen en modelresultaten van 15 cm wordt in deze validatie niet bevestigd. De lokale toepasbaarheid van de beheersmaatregelen is met het model (nog) niet te onderzoeken, omdat het model erg afhankelijk blijkt van instellingen van parameters, die geen van allen leiden tot met de werkelijkheid overeenkomstige resultaten. Beheersmaatregelen kunnen om deze reden in het model slechts onderzocht worden op relatieve effecten ten opzichte van een nulalternatief. De aard van het gebruikte model zorgt voor een extra onzekerheid, vooral door het ontbreken van driedimensionale stromingen. Dit kan met name bij de uitvoering van maatregelen verschillen veroorzaken tussen de SOBEK-RE resultaten en de werkelijkheid.

Momenteel wordt bij WL|Delft Hydraulics een nieuw morfologisch SOBEK-model van het Nederlandse deltagebied ontwikkeld, waarin onder andere onderscheid wordt gemaakt tussen zand en slib [Mosselman *et al*, 2005]. Het is niet onwaarschijnlijk dat dit model bij voltooiing beter toegerust is om de morfologische veranderingen in het gebied te berekenen. Afhankelijk van de resultaten is het aan te raden verder onderzoek met het nieuwe model uit te voeren.

5.5 **Gevoeligheidsanalyse klimaatverandering**

Een van de doelstellingen van dit onderzoek is het bepalen van de gevoeligheid van de bodem van de Nieuwe Merwede voor de invloed van klimaatveranderingen. In paragraaf 4.3 is beschreven dat de belangrijkste invloeden van klimaatverandering bestaan uit een verhoging van de zeespiegel en het extremer worden van rivierafvoeren. Deze ontwikkelingen worden gesimuleerd in een verder onveranderd model. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de ontwikkelingen in het model geïmplementeerd worden.

De aanpassing van randvoorwaarden zoals de zeespiegel(stijging) en (extremere) afvoeren kan niet worden gevalideerd, omdat er geen meetgegevens bestaan voor de toekomst. Er moet worden aangenomen dat de voorspellingen uit studies van Van Deursen [2002], De Wit *et al.* [2007] en het KNMI [2006] voldoende geverifieerd zijn. Het onderzoeken van deze gegevens valt niet binnen de scope van dit onderzoek.

5.5.1 Modellering zeespiegelstijging

In paragraaf 4.3.3 is beschreven welke uitersten er door het KNMI worden geschat voor de zeespiegelstijging in de komende tientallen jaren. In

Tabel 5-2 is weergegeven met welke zeespiegelstijging in het model rekening is gehouden. Door de beperkte invoermogelijkheden van het programma SOBEK-RE is het noodzakelijk de stijging per tien jaar op te geven. Elke tien jaar worden de benedenstroomse randvoorwaarden in het model bloksgewijs verhoogd. Er wordt vanuit gegaan dat de getijgolf op de Noordzee niet verandert onder invloed van de zeespiegelstijging.

Tabel 5-2: Gemodelleerde zeespiegelstijging in scenario met klimaatverandering

Jaar	Gemodelleerde stijging (cm)
2007	3
2017	10
2027	22
Totaal 30 jaar	35 cm

5.5.2 Modellering extremere afvoeren

Monte Carlo simulatie

In paragraaf 4.3.4 is beschreven welke invloed veranderende neerslagpatronen onder invloed van klimaatverandering kunnen hebben op de afvoer van Rijn en Maas. Het analyseren van de marges waarbinnen de toekomstige afvoeren liggen, geeft echter nog geen bruikbare input voor het NDB-model, dat simuleert op basis van dagelijkse gemiddelde afvoeren. Een voorspelling van een dagelijkse gemiddelde afvoer in de toekomst is net zo goed onzeker als de voorspelling van de neerslag op die dag.

Het opgeven van betrouwbare toekomstige afvoeren is een bekend probleem in de hydraulische modellering. Een methode om de onzekerheid die hieruit ontstaat te beperken, is het uitvoeren van Monte Carlo simulaties [Van Vuren et al., 2005]. In een Monte Carlo simulatie wordt een simulatie herhaaldelijk uitgevoerd, waarbij een bepaalde randvoorwaarde telkens gewijzigd wordt. Zo wordt het Rijntakkenmodel in de studie van Van Vuren et al. 300 maal doorgerekend, elke keer met een andere afvoer-tijdserie. De afvoer-tijdseries zijn gegenereerd aan de hand van een verdelingsfunctie die is opgesteld op basis van een statistische analyse van de gemeten afvoeren tussen 1900 en 2000.

Afhankelijk van de gevoeligheid van de bodemhoogte voor variabele afvoer-tijdseries, zou het uitvoeren van Monte Carlo simulaties voor enige verkleining van de onzekerheid van deze studie kunnen zorgen. Deze methode vereist echter een zeer lange rekentijd, waardoor het niet mogelijk is om de methode toe te passen. Het uitvoeren van één enkele simulatie duurt 3 dagen, waardoor aanpak volgens deze methode vele jaren zou duren.

Toegepaste methode

Omdat tijd ook zonder het uitvoeren van Monte Carlo simulaties een beperkende factor voor deze studie is, moet worden volstaan met één afvoer-tijdserie voor een onveranderde situatie, en één afvoer-tijdserie voor een situatie waarin neerslagpatronen extreem veranderd zijn. Hiervoor is de oorspronkelijke daggemiddelde afvoer tussen 1990 en 2000 vermenigvuldigd met een klimaatfactor. Deze factor komt overeen met de percentages beschreven in Tabel 4-1. De afvoer van de Maas bij Lith verandert op een andere manier dan de afvoeren bij Hagestein en Tiel. De afvoer van de Maas is 's winters veel hoger (maximaal 25%) en blijft 's zomers nagenoeg gelijk. De afvoer van de

Rijn is 's winters veel hoger (maximaal 18%) en 's zomers veel lager (maximaal 37%). Aangenomen is dat de afvoerverdeling bij de splitsingspunten in de Rijn niet wordt gewijzigd. Door de onzekerheid die inherent is aan klimaatstudies, is de klimaatfactor per maand gegeven.

De doorrekening van het model is 30 jaar. Omdat de beschikbare afvoer-tijdserie slechts 10 jaar lang is, wordt deze serie 3 maal herhaald. Door de grote onzekerheid van de afvoeren is het niet zinvol om de afvoeren per tijdserie extremer te laten worden, zoals bij de modellering van de zeespiegelstijging is gebeurd. Tenslotte moet worden genoemd dat de gebruikte afvoer-tijdserie ook zonder Monte Carlo simulaties een goede aangever is van (extreme) klimaatveranderingen. In de oorspronkelijke afvoeren zijn de hoge afvoeren van december 1993 en januari 1995 meegenomen. Dit waren vrij uitzonderlijke hoogwaters, waardoor aangenomen mag worden dat de ontstane afvoer-tijdserie (die deze hoogwaters in totaal beide 3 keer meeneemt), representatief is voor een zeer extreem geval.

5.6 Conclusie en aanbevelingen

Conclusie

Hoewel computers steeds sneller worden en modellen almaar beter in staat zijn complexe processen weer te geven, is de keuze van het –relatief simpele- SOBEK-RE model in deze studie niet ongegrond. Zelfs voor dit ééndimensionale model, blijkt er essentiële data te ontbreken voor het in detail ontwerpen van een beheerplan van de waterbodem. Mol [2003] heeft recente en gedetailleerde data van het projectgebied in het model geïmplementeerd. Het ontbreken van gedetailleerde data over baggervolumes per locatie maakt het echter lastig om de werking van het model op kleine schaal te valideren. De validatie geeft echter evenmin aanleiding te concluderen dat het model sterk afwijkende resultaten produceert.

Het model zal in deze studie gebruikt worden voor de volgende doelen:

- Het toetsen van de gevoeligheid van de waterbodem op (door klimaatverandering veroorzaakte)
 - stijging van de zeespiegel
 - voorkomen van een extremer afvoerregime
- Het onderzoeken van de invloed van beheersalternatieven ten opzichte van een nulalternatief

De beheersalternatieven worden ontworpen op basis van de beschikbare informatie. De onzekerheden in het model en in de werking van morfologische processen geven aanleiding veiligheidsmarges in te calculeren bij het ontwerpen van beheersmaatregelen. Vooral het ontbreken van weergave van driedimensionale stromingen zorgt voor een onzekerheid bij het onderzoeken van de effecten van maatregelen.

Aanbevelingen

Indien een soortgelijk onderzoek in de toekomst uitgevoerd wordt in de benedenrivieren, wordt aanbevolen met de volgende punten rekening te houden:

- Tussen 1999 en 2006 zijn de bodemhoogten in de Nieuwe Merwede al aanzienlijk veranderd. Bij latere studies zullen de doorsneden in het gehele NDB opnieuw ingevoerd moeten worden
- Baggerwerkzaamheden blijken een grote invloed te hebben op de langjarige morfologische ontwikkeling. Er moeten gefundeerde aannames gemaakt worden

voor de dimensionering van deze werkzaamheden bij morfologische berekeningen van meerdere decennia

- Voor het valideren van de kleinschalige morfologische ontwikkeling moeten gedetailleerde locaties en volumes van baggerwerkzaamheden bekend zijn
- Voor een betrouwbaar onderzoek van de invloed van klimaatverandering en/of beheersmaatregelen op de waterbodem, dient een Monte Carlo simulatie te worden toegepast

6 ALTERNATIEVEN

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden zes afgemeten beheersalternatieven beschreven waarmee de problematiek in de Nieuwe Merwede kan worden aangepakt. Hiermee wordt de vijfde onderzoeksvraag beantwoord: "Welke alternatieven dragen bij aan de doelstelling?". In theorie zou er eindeloos gevarieerd kunnen worden om nieuwe alternatieven te onderzoeken of bestaande alternatieven te optimaliseren. In dit onderzoek is een van de beperkende factoren echter de simulatietijd, die benodigd is om de resultaten van elk alternatief te berekenen. Dit zorgt ervoor dat een keuze gemaakt moet worden voor een aantal kansrijke alternatieven. Deze alternatieven worden onderzocht, maar niet eindeloos geoptimaliseerd.

Om beheersalternatieven zo goed mogelijk af te stemmen op de praktijk, is het belangrijk te weten wat de autonome ontwikkeling van het gebied zal zijn. De resultaten hiervan worden gepresenteerd in paragraaf 6.2, samen met het antwoord op de vraag hoe gevoelig deze ontwikkeling is voor klimaatverandering. In paragraaf 6.3 volgt een beschouwing van mogelijke maatregelen en de belangrijkste morfologische gevolgen. De zes beheersalternatieven, die bestaan uit combinaties van deze maatregelen, worden gedetailleerd beschreven in paragraaf 6.4. Bij elk alternatief wordt eerst de achterliggende strategie beschreven, gevolgd door een uiteenzetting van de implementatie van de strategie in de vorm van maatregelen. Ook wordt toegelicht hoe de maatregelen in SOBEK-RE worden ingevoerd. Tenslotte worden de belangrijkste conclusies opgesomd in paragraaf 6.5.

6.2 Referentiescenario

Bij het ontwerpen van beheersalternatieven is het niet voldoende om alleen kennis te hebben over de huidige situatie en de functie-eisen die naar aanleiding van doelstellingen zijn geformuleerd. Ook de ontwikkeling van het systeem zonder dat er in wordt ingegrepen moet, voor zover mogelijk, bekend zijn. Deze ontwikkeling is van groot belang voor het ontwerp van de alternatieven. Om deze reden zijn de resultaten hier weergegeven in plaats van in Hoofdstuk 7: Resultaten.

In dit onderzoek is eerst geanalyseerd hoe de bodem van de Nieuwe Merwede verandert, als alle externe invloeden gelijk blijven (het nulalternatief). Vervolgens is onderzocht hoe gevoelig de autonome ontwikkeling van het systeem is voor de invloed van klimaatverandering. De resultaten hiervan geven aan of in het ontwerp van beheersalternatieven rekening gehouden dient te worden met een veranderend klimaat. Deze resultaten zijn ook bepalend voor de instelling van de randvoorwaarden van het model waarmee de bodemontwikkeling na ingrepen wordt onderzocht, het referentiescenario.

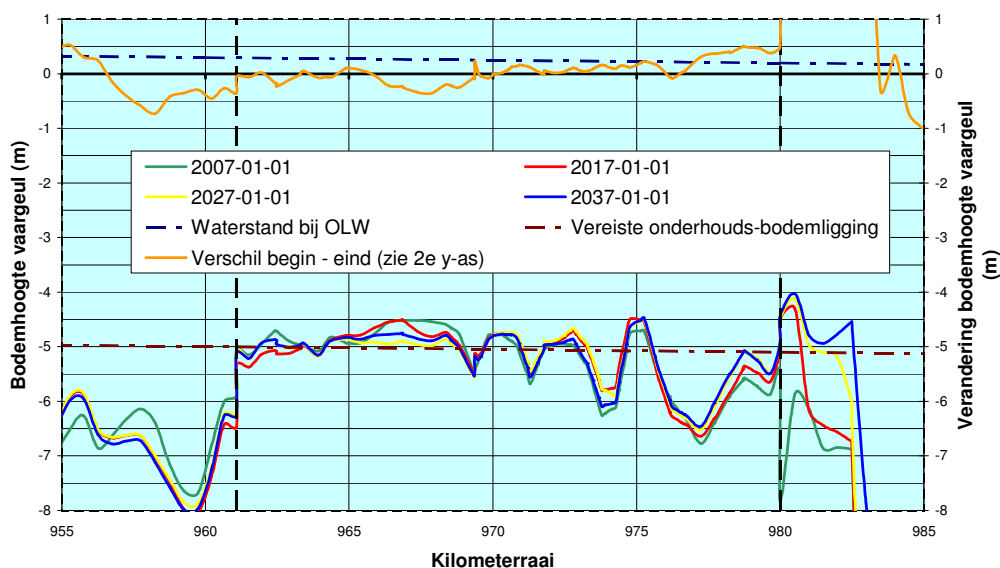
6.2.1 Resultaten nulalternatief

Met het nulalternatief kan beschouwd worden welke positieve en negatieve ontwikkelingen te verwachten zijn voor de toekomst, op basis van de huidige situatie. Met de kennis van de locatie en aard van ongewenste ontwikkelingen kunnen beheersalternatieven worden opgesteld. De resultaten van deze alternatieven worden vergeleken met de uitkomst van het nulalternatief, waarmee kan worden besloten hoe goed de alternatieven voldoen en of ze geoptimaliseerd dienen te worden. De autonome ontwikkeling is weergegeven in Figuur 6-1.

Resultaten autonome ontwikkeling

Naar aanleiding van de in Figuur 6-1 weergegeven bodemhoogteveranderingen kunnen drie conclusies worden getrokken. Ten eerste zijn de verwachte bodemveranderingen in het projectgebied zeer beperkt. De maximale erosie of sedimentatie gedurende 30 jaar (weergegeven door de oranje lijn) bedraagt ongeveer 50 cm. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het gebied morfologisch redelijk in evenwicht is. Ten tweede wordt er een tweedeling in het projectgebied waargenomen. In het bovenstroomse deel (km raai 961 – 970.5) is te zien dat de gemiddelde ontwikkeling een zeer lichte erosie is. In het benedenstroomse deel is juist een lichte sedimentatie waar te nemen. Vanaf km raai 977 gaat de sedimentatie in de richting van 50 cm. De derde conclusie is dat het gebied gedurende de gehele periode niet voldoet aan de minimale onderhoudsdiepte voor de scheepvaart, weergegeven met de bruine stippellijn.

Autonome ontwikkeling 30 jaar



Figuur 6-1: Autonome ontwikkeling Nieuwe Merwede bij nulalternatief

6.2.2 Resultaten gevoeligheid voor klimaatverandering

De gevoeligheid voor klimaatverandering wordt in dit onderzoek in drie delen gesplitst: gevoeligheid voor zeespiegelstijging, extremere afvoeren en de gecombineerde invloed van beide fenomenen. De figuren met de resultaten van deze afzonderlijke invloeden worden weergegeven in Bijlage 10.

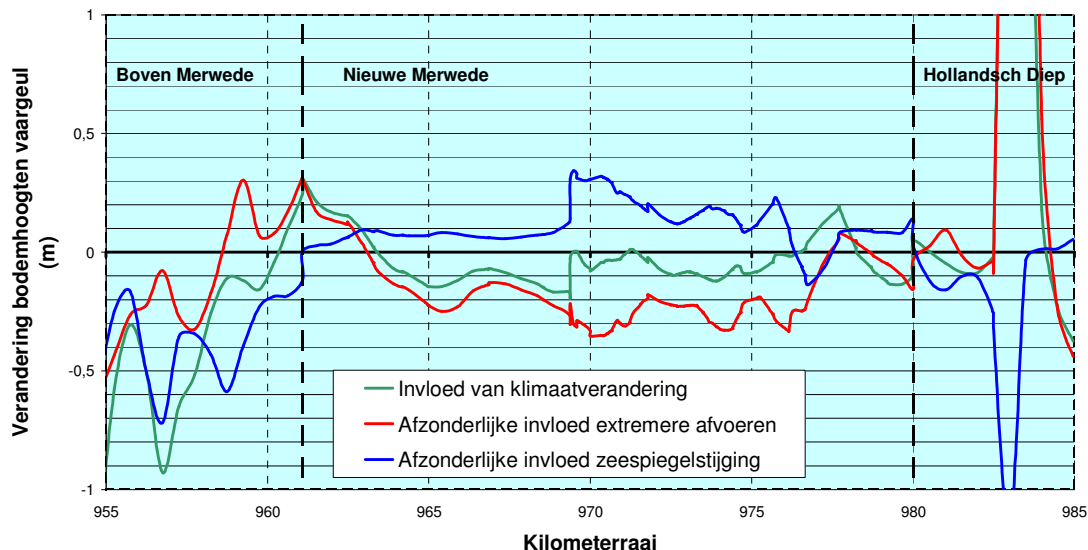
Resultaten

In Figuur 6-2 is de invloed van zeespiegelstijging en extremere afvoeren zowel afzonderlijk als gecombineerd weergegeven. Hoewel er buiten de Nieuwe Merwede grote verschillen worden waargenomen, valt op dat de invloed van klimaatverandering in de Nieuwe Merwede (groene lijn) erg klein is. Het gemiddelde absolute verschil met de autonome ontwikkeling in 2037 (erosie én sedimentatie) bedraagt ongeveer 10 cm. Gezien de grote onzekerheden die er met deze uitkomsten gemoeid zijn, is dit geen significant verschil. Er is geen duidelijke trend te ontdekken of er juist meer erosie of meer sedimentatie te verwachten is.

De blauwe en de rode lijnen geven respectievelijk de afzonderlijke invloed van zeespiegelstijging en van extremere afvoeren weer. Hieruit blijkt dat deze beide fenomenen wél een trend teweeg brengen in de Nieuwe Merwede, maar dat de werking

ven beide elkaar teniet doet, met de groene lijn tot gevolg. Een zeespiegelstijging van 35 cm tot 2037 heeft ceteris paribus een bodemhoogtestijging van 10 tot 20 cm tot gevolg. Extremere afvoeren hebben ceteris paribus juist een bodemhoogtedaling tot gevolg van 10 – 30 cm. Bij de bifurcatie Merwedekop en bij de samenvloeiing met de Amer is het beeld bij extremere afvoeren wisselend.

Invloed van klimaatverandering op bodemhoogten Nieuwe Merwede



Figuur 6-2: Gevoeligheid bodemhoogten Nieuwe Merwede voor klimaatverandering na 30 jaar

6.2.3 Conclusie referentiescenario

De bodem van de Nieuwe Merwede blijkt niet erg gevoelig voor de invloeden van klimaatverandering. Alleen als er veel zeespiegelstijging op zou treden en de afvoeren in de komende 30 jaar niet veel extremer zouden worden of omgekeerd, zal klimaatverandering een significante invloed hebben. Om deze reden wordt er bij het ontwerp van de beheersalternatieven verder geen rekening gehouden met de invloed van klimaatverandering, buiten de reeds aangenomen onzekerheidsmarges. Het nulalternatief wordt gebruikt als referentiescenario.

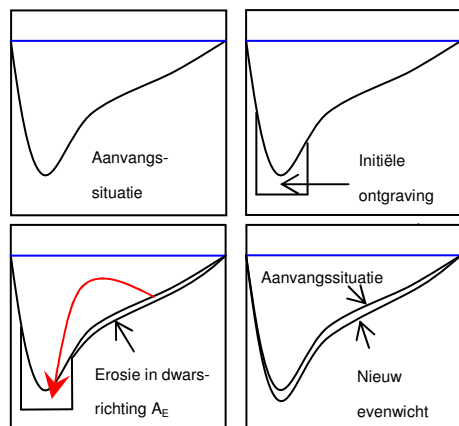
6.3 Mogelijke beheersingrepen

In deze paragraaf worden een aantal beheersmaatregelen toegelicht die in dit onderzoek worden toegepast. Er worden alleen maatregelen in het zomerbed onderzocht. Hier hebben maatregelen de grootste invloed op de functies veiligheid en scheepvaart. Bovendien wordt er vanuit gegaan dat de begroeiing van de uiterwaarden waardevol is voor de ecologie, waardoor maatregelen in dit deelgebied aanvankelijk vooral voor schade zouden zorgen.

Nautisch baggeren

De beheersmaatregel nautisch baggeren is alleen van toepassing op de vaargeul. Nautische knelpunten worden gebaggerd tot aan het onderhoudsprofiel voor de scheepvaart. Het onderhoudsprofiel is de gegarandeerde vaardiepte bij OLW plus 35 cm marge voor tijdelijke sedimentatiegolven. Ook als de sedimentatie niet tijdelijk van aard is, heeft deze marge het voordeel dat de waterbeheerder tijd heeft om orde op zaken te stellen, zonder dat het scheepvaartverkeer hier in de tussentijd hinder van ondervindt.

Ook in de breedte wordt een marge aangehouden: bij het modelleren van deze maatregel wordt over 250 m gebaggerd, terwijl de vereiste breedte van de vaargeul 207 m bedraagt. Op locaties waar uit de autonome ontwikkeling blijkt dat veel sedimentatie voorkomt, kan (preventief) dieper worden gebaggerd dan de onderhoudsdiepte. Deze aanpak wordt bijvoorbeeld rond km raai 975 getoetst, omdat het bodemprofiel in de eerste simulaties voortdurend blijkt terug te keren naar een (té) ondiep evenwicht.



Figuur 6-3: Mogelijke ontwikkeling dwarsprofiel in bocht bij nautisch baggeren

Nautisch baggeren in een gebied met grote volumes verontreinigde sedimenten, zoals in de Nieuwe Merwede, brengt risico's met zich mee. Als het evenwichtsprofiel door een ingreep wordt gewijzigd, zal de bodem haar oude profiel willen herstellen. Dit gevaar bestaat vooral in rivierbochten, waar door de spiraalstroming veel dwarstransport voorkomt. Het proces is weergegeven in Figuur 6-3. Dit zorgt niet alleen voor een reductie van de effectiviteit van de maatregel, het kan ook potentieel verontreinigde sedimenten uit het gebied A_E laten eroderen. Dit effect kan mogelijk voorkomen worden door ook in de vaarweg te baggeren, zoals bij het afgraven van de verontreinigde toplaag.

Afgraven verontreinigde toplaag

Het afgraven van de verontreinigde toplaag kan in het gehele zomerbed worden uitgevoerd. Het grootste deel van de verontreinigingen bevindt zich echter buiten de vaargeul. Met deze maatregel kan een schone toplaag worden bereikt zonder de noodzaak al het verontreinigde sediment te verwijderen. Deze maatregel wordt aangevuld met natuurlijke of kunstmatige afdekking. Mogelijk wordt hiermee even goed aan de functie natuur/ecologie voldaan als bij volledige sanering, terwijl er aanzienlijk minder sediment verplaatst wordt. Hierdoor liggen de kosten aanmerkelijk lager.

Natuurlijke afdekking

In de eerste jaren na het afgraven, zal de nieuwe toplaag van de bodem nog uit verontreinigd sediment bestaan. Omdat het doorstroomprofiel van de rivier vergroot is, zal een laag schoon sediment neerslaan, waarmee de verontreiniging wordt afgedekt. In Hoofdstuk 3 is vastgesteld dat de vereiste dikte van de schone toplaag gelijk is aan de dikte van de morfologisch actieve laag. Aangenomen wordt dat een zelfde laag gebaggerd moet worden om natuurlijke afdekking te stimuleren.

Kunstmatige afdekking

Belangrijke nadelen van natuurlijke afdekking worden met kunstmatige afdekking voorkomen. De toplaag van de bodem is direct na de ingreep schoon. Bovendien kan voor afdekking een grotere korrelgrootte worden gekozen dan de originele korrelgrootte. Dit verzekert dat de toplaag zelfs bij extreme omstandigheden minder gevoelig is voor resuspensie. Tot slot kunnen elders gebaggerde sedimenten worden ingezet voor afdekking, waardoor hier geen (dure) bestemming meer gezocht hoeft te worden. De keerzijde is dat als er bij een tekort aan elders gebaggerde sedimenten afdek materiaal aangevoerd moet worden uit andere gebieden. In dat geval zijn er extra kosten gemoeid met deze maatregel.

Zandvang

Een zandvang wordt aangelegd met het doel om een lokale vergroting van het doorstroomprofiel te creëren. Deze vergroting is van dusdanig grote dimensies, dat het overgrote deel van het bodemtransport en eventueel een deel van het gesuspendeerde transport in de gecreëerde put achterblijft. Door deze maatregel kunnen lokale en benedenstroomse nautische knelpunten worden opgelost en in de toekomst worden voorkomen. In een morfologisch dynamisch gebied bestaat het gevaar dat een zandvang binnen enkele jaren vol is en daardoor is uitgewerkt. Dit kan worden voorkomen door de zandvang om de zoveel jaar opnieuw uit te baggeren [Smienk, 2003].

Aanleg van een zandvang bovenstrooms van verontreinigde lagen slib kan ongewenste situaties opleveren. Doordat een zandvang in benedenstroomse richting zal migreren, kunnen grote hoeveelheden verontreinigd slib eroderen en wordt nalevering van verontreinigingen uit de bodem gestimuleerd.

6.4 Zes beheersalternatieven

6.4.1 Inleiding

In Hoofdstuk 4 is beschreven hoe is bepaald welke functies de Nieuwe Merwede in 2037 moet kunnen vervullen. Dit leidde tot de volgende functie-eisen:

- gegarandeerde vaarwegbreedte bij OLW is 207 meter, voldoende voor 4-strooks verkeer
- gegarandeerde vaarwegdiepte bij OLW is tenminste 4,95 meter
- In het morfologisch actieve deel van de waterbodem (50 cm) wordt maximaal tot klasse 2 verontreinigd sediment aangetroffen
- Er mag geen verontreinigd sediment (klasse 3+) blijven liggen onder zones waarbij de grootschalige ontwikkeling erosie is
- Bij MHW wordt geen waterstandsverhoging veroorzaakt door getroffen beheersmaatregelen

Maatregelen die geïmplementeerd worden voor de aanpak van de ene doelstelling kunnen het behalen van een andere doelstelling juist bemoeilijken. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als bij het verdiepen van de vaargeul ten behoeve van de scheepvaart een dieperliggende verontreinigde laag aan het oppervlak komt te liggen. Deze complicatie leidt tot meerdere strategieën waarmee de genoemde doelen nagestreefd worden. Bij elke strategie ligt de focus op een andere (combinatie van) doelstelling(en). Zo zal de ene strategie meer ingaan op bodemsanering, terwijl de andere meer ingaat op de eisen van de scheepvaart. Op basis van elke strategie is een concreet beheersalternatief ontworpen. De zes beheersalternatieven zijn:

- Nulalternatief (beschreven in Paragraaf 6.2.1)
- Alternatief A: Vrije Doorvaart
- Alternatief B: Volledige sanering
- Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang
- Alternatief D: Integraal Beheer
- Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking

In deze paragraaf volgt een beschrijving van de strategieën en beheersalternatieven. Per alternatief wordt beschreven hoe het in SOBEK-RE is ingevoerd. In Bijlage 11 worden de beheersalternatieven grafisch weergegeven en in Bijlage 12 zijn de gebaggerde oppervlaktes en hoogten op kaarten weergegeven.

6.4.2 Alternatief A: Vrije Doorvaart

Strategie

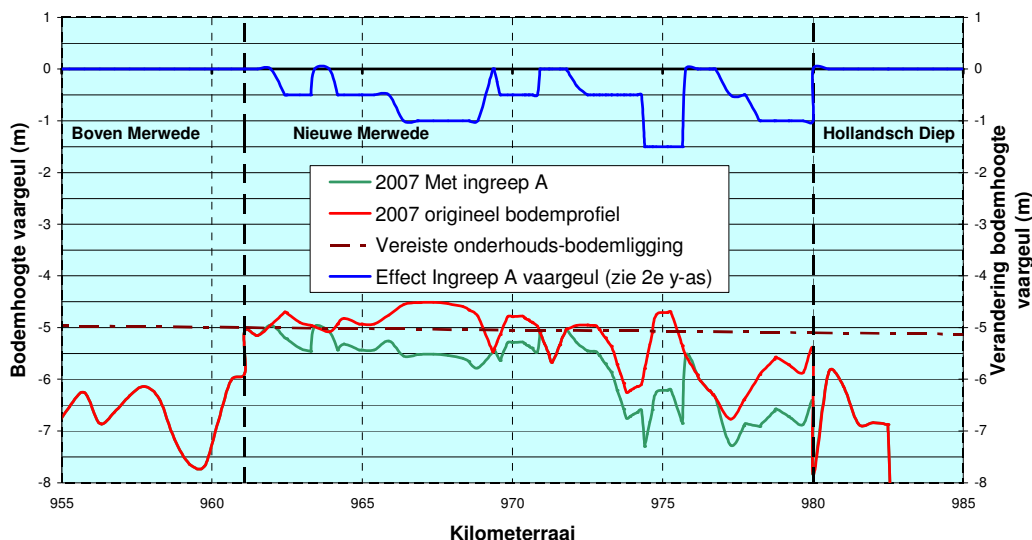
“Alternatief A: Vrije Doorvaart” is gebaseerd op een nautische hoofddoelstelling en een ecologische subdoelstelling. Met een éénmalige ingreep wordt getracht om de nautische doelen voor de vaargeul tot een voldoende niveau te bewerkstelligen. Waar een overlap is tussen een nautische maatregel en een ecologische doelstelling, wordt de ecologische doelstelling ook geoptimaliseerd. De doelstellingen worden beschreven als volgt:

- gedurende de gehele periode tussen 2007 en 2037 heeft de vaargeul een minimale diepte van 5,30 m (onderhoudsdiepte) ten opzichte van de OLW-waterstand
- uit de bovenste 50 cm van de toplaag in de vaargeul kan er geen verontreinigd sediment eroderen

Implementatie & argumentatie keuze maatregelen

De bovenstaande doelen worden nagestreefd door middel van een aantal (intensieve) baggeringrepen, weergegeven in Figuur 6-4. Alle locaties waarop in de huidige situatie niet wordt voldaan aan de gestelde normen voor de scheepvaart, worden over een breedte van 250 m afgegraven tot onder het vereiste onderhoudsprofiel. Hiervoor wordt uitgegaan van de werkelijke bodemhoogten in 2006, weergegeven met de rode lijn in Figuur 5-5. Dit verklaart waarom er tussen km raai 977,2 en 980 wordt verdiept, terwijl dit op basis van Figuur 6-4 niet nodig lijkt.

Grafische weergave ingreep A



Figuur 6-4: Ingreep voor Beheersalternatief A

De vaargeul wordt tussen km raai 974.3 en 975.5 preventief één meter extra verdiept, om terugkomende sedimentatie op deze locatie tegen te gaan. In het benedenstroomse deel van de vaargeul zijn er locaties waar de toplaag na deze ingreep (nog) uit verontreinigd sediment bestaat. Om te garanderen dat deze sedimenten niet gaan bewegen door de gewijzigde situatie, wordt 0,5 m extra gebaggerd op de verontreinigde locaties. Voor een deel van de verontreinigde gebieden betekent dit een volledige sanering. Voor het overige deel wordt er vanuit gegaan dat natuurlijke afdekking zal zorgen voor een toplaag met maximale verontreinigingsklasse 2: het herverontreinigingsniveau.

Invoer in SOBEK-RE

Voor de modellering van beheersalternatief A worden doorsnedeprofielen in de Nieuwe Merwede handmatig gewijzigd. Er vinden alleen wijzigingen van doorsneden plaats op die locaties waar de vaargeul wordt verdiept. Op deze locaties worden over een breedte van 250 m, de grootste diepten verdiept met 50 cm, 1 m of 1,5 m, afhankelijk van de benodigde verdieping voor het onderhoudsprofiel en eventuele sanering.

6.4.3 Alternatief B: Volledige Sanering

Strategie

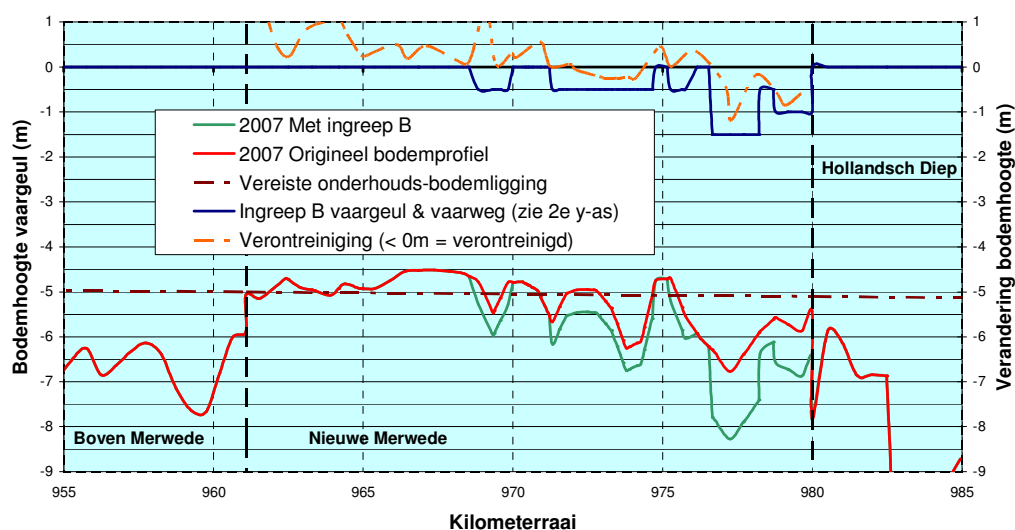
Met "Alternatief B: Volledige Sanering" wordt beoogd om het gehele zomerbed van de Nieuwe Merwede te saneren van verontreinigingsklasse 3 tot 4+ sediment. Er wordt geen nautische doelstelling beoogd. Dit betekent dat een eenmalige ingreep zeer intensief zal zijn, maar dat gezien het huidige herverontreinigingsniveau toekomstige werkzaamheden uit saneringsoverwegingen niet meer nodig zullen zijn. De verwachting is dat de kwaliteit van het Rijnwater in de toekomst verder zal verbeteren. Deze doelstelling wordt beschreven als volgt:

- Het volledig verwijderen van alle klasse 3 tot 4+ verontreinigde sedimenten uit het zomerbed van de Nieuwe Merwede

Implementatie & argumentatie keuze maatregelen

"Alternatief B: Volledige Sanering" beoogt een complete verwijdering van alle sinds 1970 gesedimenteerd materiaal. Dit is de conclusie na vergelijking van de locaties van sedimentatie sinds 1970, met de locaties van verontreinigingsklasse 3 tot 4+ in de huidige toplaag. In Paragraaf 2.4.3 is beschreven dat deze locaties vrijwel volledig met elkaar overeenkomen en dat deze overeenkomst wordt ondersteund door andere onderzoeken. Voor een schatting van de dikte en locaties van de te verwijderen volumes is gebruik gemaakt van Kaarten 3 en 5. Er worden lagen sediment gebaggerd van 0,5 m tot 3,5 m dik en tussen 50 m en 500 m breed. Er wordt alleen materiaal verwijderd benedenstrooms van km raai 968.8. Het grootste deel van het verwijderde materiaal komt uit de vaarweg: ongeveer 87%.

Grafische weergave ingreep B



Figuur 6-5: Benadering in SOBEK-RE van ingreep voor Beheersalternatief B

Invoer in SOBEK-RE

Het is niet mogelijk om Alternatief B goed in SOBEK-RE in te voeren. De in SOBEK-RE gebruikte doorsnedeprofielen zijn symmetrisch en alleen al om deze reden is het onmogelijk om voor elke locatie aan te geven welke dikte op welke hoogte wordt verwijderd. Om het verloop van de bodemhoogten bij implementatie van Alternatief B toch te kunnen onderzoeken, wordt gebruik gemaakt van een benadering van de eigenlijke ingreep, op basis van Figuur 2-8. Op alle locaties waar het profiel van 2006 in de vaargeul boven het profiel van 1970 ligt, wordt het gesedimenteerde materiaal over de gehele breedte van het zomerbed verwijderd. Het effect in de vaargeul is weergegeven in Figuur 6-5. De resultaten voor de bodemhoogten in 2037 dienen met grote voorzichtigheid te worden aangewend.

6.4.4 Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang

Strategie

“Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang” is gebaseerd op dezelfde doelstellingen als Alternatief A. Dit alternatief verschilt echter in aanpak van de blijvende sedimentatie in het benedenstroomse deel van de vaargeul, met name tussen km raai 974.3 en 975.5. Dit wordt in Alternatief C bereikt door aanleg van een zandvang. Het extra vermarktbaar zand dat hierbij vrijkomt, kan verkocht worden om de financiering van de beheersingrepen te ondersteunen. De doelstellingen worden als volgt geformuleerd:

- gedurende de gehele periode tussen 2007 en 2037 heeft de vaargeul een minimale diepte van 5,30 m (onderhoudsdiepte) ten opzichte van de OLW-waterstand
- toekomstige sedimentatie wordt tegengegaan door aanleg van een zandvang bovenstrooms
- uit de bovenste 50 cm van de toplaag in de vaargeul kan er geen verontreinigd sediment eroderen

Implementatie & argumentatie keuze maatregelen

Voor een groot deel bestaat Alternatief C uit dezelfde ingrepen als Alternatief A. Ook hier worden alle locaties waarop in de huidige gemeten situatie niet wordt voldaan aan de gestelde normen voor de scheepvaart, over een breedte van 250 m afgegraven tot onder het vereiste onderhoudsprofiel. Hiervoor wordt uitgegaan van de werkelijke bodemhoogten in 2006, weergegeven met de rode lijn in Figuur 5-5. De uit te voeren ingrepen worden weergegeven in Figuur 6-6.

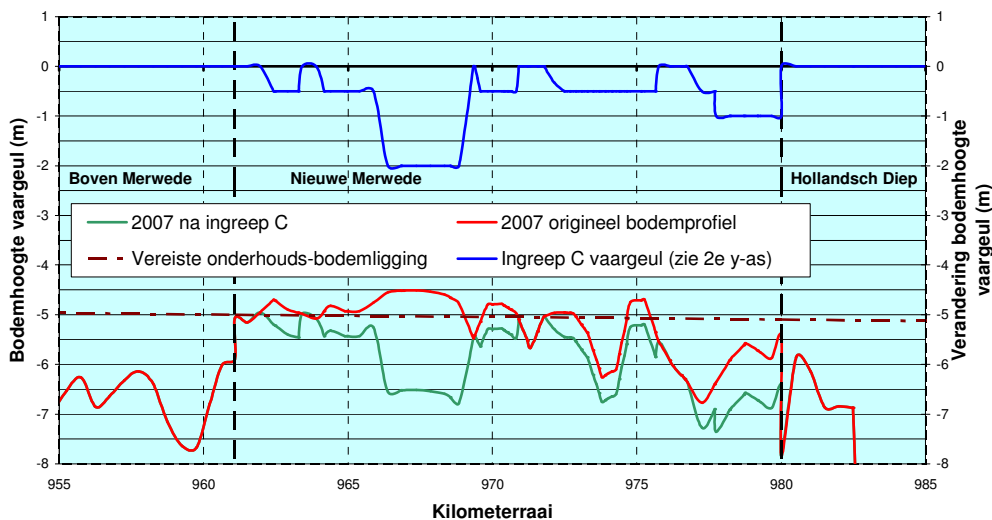
In tegenstelling tot de ingrepen bij Alternatief A, wordt er geen extra verdieping uitgevoerd tussen km raai 974.3 en km raai 975.5. In plaats hiervan wordt de vaargeul tussen km raai 966 en 969 met een diepte van 2 m gebaggerd. Er ontstaat zo een zandvang met een capaciteit van meer dan 1 miljoen m³, waarmee toekomstige onderhoudswerkzaamheden worden beperkt. De locatie is gekozen op basis van de resultaten bij Alternatief A. In Hoofdstuk 7.3.2 wordt weergegeven dat de vereiste onderhoudsdiepte bij dat alternatief vanaf km raai 966 periodiek op enkele locaties benedenstrooms niet gehaald wordt.

Net als bij Alternatief A zijn er in het benedenstroomse deel van de vaargeul locaties waar de toplaag na deze ingreep (nog) uit verontreinigd sediment bestaat. Hier wordt 0,5 m extra gebaggerd. Voor een deel van de verontreinigde gebieden betekent dit een volledige sanering. Voor het overige deel wordt er vanuit gegaan dat natuurlijke afdekking zal zorgen voor een toplaag met maximale verontreinigingsklasse 2: het herverontreinigingsniveau.

Invoer in SOBEK-RE

De modellering van beheersalternatief C wordt op dezelfde manier ingevoerd als alternatief A. De grootte van de verdieping verschilt ter plaatse van de zandvang en tussen km raai 974.3 en 975.5.

Grafische weergave ingreep C



Figuur 6-6: Ingreep voor Beheersalternatief C

6.4.5 Alternatief D: Integraal Beheer

Strategie

Met “Alternatief D: Integraal Beheer” worden zowel milieu- als nautische doelstellingen nagestreefd. Omdat dit een dure oplossingsrichting is, vindt er geen volledige verwijdering van het verontreinigde sediment plaats.

Met een éénmalige ingreep wordt beoogd de vaargeul op diepte te brengen én alle locaties waar de toplaag verontreinigd is met 0,5 m te verdiepen. Natuurlijke afdekking moet er vervolgens voor zorgen dat de blootliggende verontreinigde sliblagen niet kunnen eroderen. De doelstellingen worden geformuleerd als volgt:

- gedurende de gehele periode tussen 2007 en 2037 heeft de vaargeul een minimale diepte van 5,30 m (onderhoudsdiepte) ten opzichte van de OLW-waterstand
- er kan geen verontreinigd sediment eroderen uit de vaargeul of de vaarweg
- natuurlijke afdekking zorgt binnen enkele jaren voor een toplaag met maximaal klasse 2 verontreiniging in het gehele projectgebied

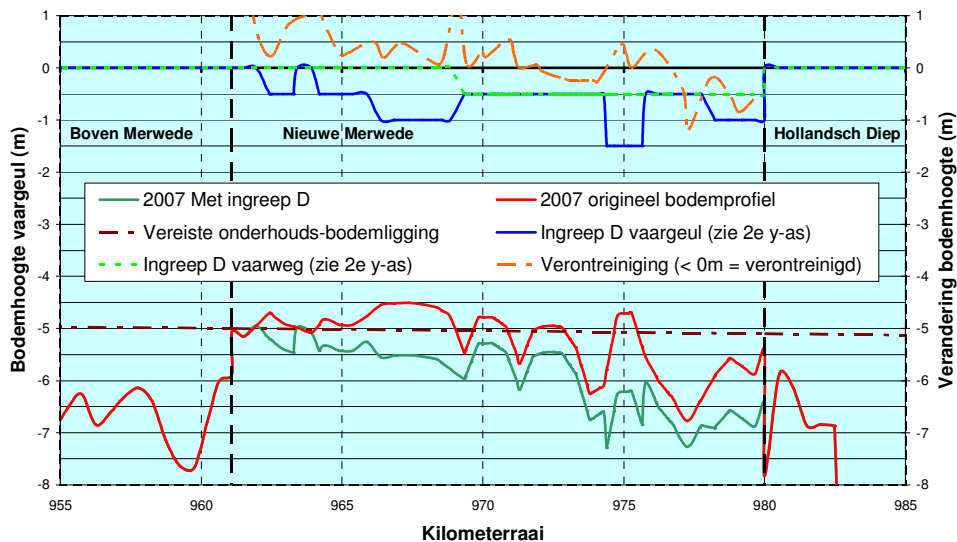
Implementatie & argumentatie keuze maatregelen

De nautische doelstellingen worden op dezelfde wijze aangepakt als bij Alternatief A. Dit betekent een verdieping van de vaargeul in een groot deel van het projectgebied. Deze ingreep wordt op dezelfde manier beargumenteerd. De aanpak van blootliggende verontreinigde lagen verschilt echter van de aanpak in Alternatief A. De uit te voeren ingrepen worden weergegeven in Figuur 6-7. De bodemhoogten in de vaarweg worden niet weergegeven.

Op basis van Kaart 5 kan worden geconcludeerd dat structurele sedimentatie in de Nieuwe Merwede tussen 1970 en 2005 voornamelijk heeft plaatsgevonden benedenstrooms van km raai 969. Voor de vaargeul ligt deze grens enkele kilometers verder benedenstrooms, maar omwille van de eenvoud wordt de grens voor zowel

vaargeul als vaarweg bij km raai 969 gelegd. Tussen deze grens en km raai 980 wordt de toplaag van het zomerbed over de gehele breedte met 0,5 m afgegraven. Er wordt aangenomen dat deze grote verdieping van het doorstroomprofiel natuurlijke sedimentatie zal stimuleren, zodat een vergelijkbare evenwichtsdiepte in de vaarweg wordt behaald als voor de ingreep. In de vaargeul wordt dit alleen uitgevoerd op locaties waar de toplaag van de vaargeul na uitvoering van de nautische baggerwerkzaamheden nog altijd uit verontreinigd sediment bestaat.

Grafische weergave ingreep D



Figuur 6-7: Ingrepen voor Beheersalternatief D

Bij deze aanpak moet worden geaccepteerd dat de toplaag van de bodem de eerste jaren uit verontreinigd materiaal zal bestaan. Er wordt echter aangenomen dat natuurlijke afdekking van de blootliggende verontreinigde lagen in de eerstvolgende jaren op grote schaal zal plaatsvinden. Grootschalige erosie wordt niet verwacht in het benedenstroomse deel van het projectgebied. Hierdoor wordt het risico op erosie van dieperliggende verontreinigde lagen voor verwaarloosbaar gehouden.

Invoer in SOBEK-RE

Tot aan km raai 969 verschilt de invoer van Alternatief D in SOBEK-RE niet van de invoer van Alternatief A (alleen verdieping van laagstliggende 250 m). Tussen km raai 969 en 980 wordt de bodemhoogte over de gehele breedte van het zomerbed met 0,5 m verlaagd. Vanwege nautische doelstellingen wordt de vaargeul tussen km raai 974.3 en 980 op twee locaties verder verdiept, zoals beschreven bij Alternatief A.

6.4.6 Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking

Strategie

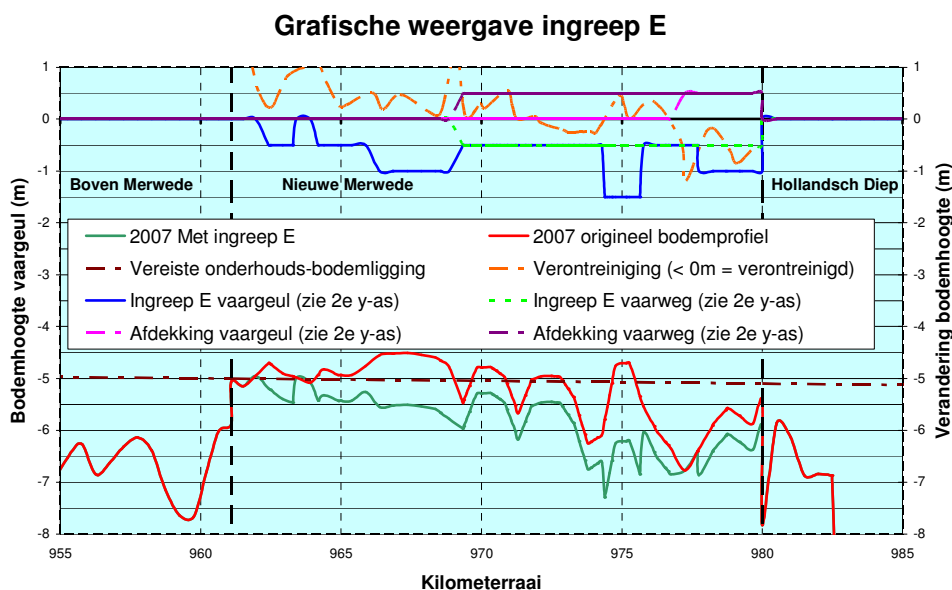
“Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking” is een variant op Alternatief D. De doelstellingen van de twee beheersalternatieven zijn gelijk, afgezien van de uitgangspunten omtrent de wijze van afdekking. Bij Alternatief E wordt het risico dat er verontreinigd sediment uit de toplaag van de bodem kan eroderen tot een minimum beperkt, door afdekking van blootliggende lagen verontreinigd sediment. De doelstellingen worden beschreven als volgt:

- gedurende de gehele periode tussen 2007 en 2037 heeft de vaargeul een minimale diepte van 5,30 m (onderhoudsdiepte) ten opzichte van de OLW-waterstand
- er kan geen verontreinigd sediment eroderen uit de vaargeul of de vaarweg
- door kunstmatige afdekking is de toplaag van het gehele zomerbed vanaf 2007 met maximaal klasse 2 sediment verontreinigd

Implementatie & argumentatie keuze maatregelen

Qua baggeringrepen verandert er niets ten opzichte van Alternatief D. Alle ingrepen van Alternatief D worden uitgevoerd, waarna delen van het projectgebied worden afgedekt door relatief schone sedimenten te storten. Alleen locaties waar de toplaag deels uit verontreinigde sedimenten bestaat worden afgedekt. Dit geldt voor de gehele vaarweg en voor een klein deel van de vaargeul. Er wordt 0,5 m schoon materiaal gestort in de gehele vaarweg van km raai 969 tot 980. In de vaargeul wordt eveneens 0,5 m schoon materiaal gestort tussen km raai 977 en 980. De uit te voeren ingrepen worden weergegeven in figuur 6-8.

Gebaggerd materiaal uit de vaargeul bovenstrooms kan als afdek materiaal worden gebruikt, omdat de korrelgrootte hiervan geschikt is en het materiaal maximaal met klasse 2 verontreinigd is. Dit materiaal kan voorzien in ruim 50% van de benodigde hoeveelheid. Het overige volume te storten materiaal wordt van buiten het projectgebied aangevoerd.



Figuur 6-8: Ingrepen voor Beheersalternatief E

Invoer in SOBEK-RE

De invoer van Alternatief E in SOBEK-RE is relatief eenvoudig. In de vaarweg hoeft niets gewijzigd te worden in rivierdoorsneden, omdat al het gebaggerde materiaal wordt vervangen door afdekkingsmateriaal. Voor de invoer van de vaargeul worden de diepstliggende 250 m in elke doorsnede op dezelfde manier verdiept als bij Alternatief D. Omdat de vaargeul in Alternatief E echter tussen km raai 977 en 980 met 0,5 m wordt afgedekt, bedraagt de verdieping in SOBEK-RE ook 0,5 m minder.

Bij Alternatief E moeten afgezien van de doorsnedeprofielen ook korrelgroottes worden gewijzigd. Er is voor gekozen dat de d_{50} van het afdekkingsmateriaal wordt gerepresenteerd door de gemiddelde d_{50} van het bovenstrooms verwijderde materiaal. Tussen km raai 969 en 980 wordt de korrelgrootte uniform 0.382 mm.

6.4.7 Samenvatting alternatieven

Afgezien van de hier beschreven beheersalternatieven zijn er andere alternatieven denkbaar. Er zou bijvoorbeeld beschouwd moeten worden welke uitwerking uitvoering van periodiek onderhoud na elke hoge afvoer zou hebben op het totaal te baggeren volume. In dit onderzoek wordt echter gekozen voor een focus op de hier beschreven alternatieven.

In Tabel 6-1 is voor elk alternatief weergegeven welk volume wordt gebaggerd en gestort (ter afdekking van blootliggende verontreinigde lagen sediment). Tevens is weergegeven wat de kwaliteit van het gebaggerde materiaal is. Tenslotte wordt onderscheiden uit welk deel van de Nieuwe Merwede het materiaal afkomstig is. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen bovenstrooms (km raai 961 – 970.5) en benedenstrooms (km raai 970.5 – 980) en of het materiaal afkomstig is uit de vaargeul of uit de vaarweg.

Tabel 6-1: Kwantitatieve weergave ingrepen ten behoeve van alle Beheersalternatieven

Alter- natief	Bovenstrooms		Benedenstrooms				Totaal netto verwijderd volume (miljoen m ³)
	Baggeren vaargeul (miljoen m ³)	Baggeren vaarweg (miljoen m ³)	Baggeren vaargeul schoon (miljoen m ³)	Baggeren vaargeul verontreinigd (miljoen m ³)	Baggeren vaarweg (miljoen m ³)	Storten grover materiaal (miljoen m ³)	
nul	0	0	0	0	0	0	0
A	1.3	0	0.3	1.1	0	0	2.7
B	0	0	0	0.5	3.6	0	4.1
C	2.1	0	0	1.1	0	0	3.1
D	1.3	0.3	0.3	1.4	2.4	0	5.7
E	1.3	0.3	0.3	1.4	2.4	3.1	2.7
Klasse	0 - 2	3 – 4+	0 - 2	3 – 4+	3 – 4+	0 - 2	-

6.5 Conclusie alternatieven

De met het SOBEK-RE voorspelde autonome ontwikkeling van de Nieuwe Merwede geeft aan dat een morfologisch evenwicht in het projectgebied anno 2007 bijna bereikt is. Alleen in het benedenstroomse deel van de vaargeul wordt een bescheiden sedimentatie verwacht in de komende 30 jaar. Klimaatverandering blijkt een zeer kleine invloed te hebben op deze ontwikkeling. De invloed van klimaatverandering kan worden onderverdeeld in twee factoren: zeespiegelstijging en een stijgende frequentie en intensiteit van extreme afvoeren. Beide factoren blijken de gemiddelde bodemligging maximaal met enkele decimeters te beïnvloeden. Doordat de factoren een tegengestelde invloed hebben, is het geaccumuleerde effect echter verwaarloosbaar.

De autonome ontwikkeling zonder klimaatverandering wordt gekozen als referentiealternatief. Op basis van dit scenario worden vijf beheersalternatieven ontworpen. Deze alternatieven verschillen in strategie welke problematiek de meeste prioriteit verdient en op welke manier de aanpak dient te geschieden. De vijf alternatieven zijn:

- Alternatief A: Vrije Doorvaart
- Alternatief B: Volledige sanering
- Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang
- Alternatief D: Integraal Beheer
- Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking

In Tabel 6-1 zijn de volumes en locaties van geplande baggermaatregelen samengevat.

7 RESULTATEN BEHEERSALTERNATIEVEN

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt getracht een antwoord te geven op de zesde onderzoeksvraag: "Welke effecten hebben de ontworpen beheersalternatieven op de functies van de Nieuwe Merwede?". Om de zeer verschillende alternatieven op een objectieve manier met elkaar te kunnen vergelijken, wordt in paragraaf 7.2 eerst de gehanteerde beoordelingsmethodiek beschreven. Deze methodiek geeft inzicht in hoe de (model-) resultaten van de zes alternatieven zich ten opzichte van elkaar én ten opzichte van de doelstellingen verhouden. In paragraaf 7.3 worden de resultaten van elk alternatief op deze beoordelingscriteria apart besproken.

Een analyse van deze resultaten levert conclusies op over de effectiviteit van losstaande beheersmaatregelen. Zo kan bijvoorbeeld de effectiviteit van de aanleg van een zandvang voor de scheepvaart worden beoordeeld, los van de andere maatregelen in het beheersalternatief. Deze analyse wordt in paragraaf 7.4 gegeven. Omdat niet alle gegenereerde resultaten even betrouwbaar blijken, wordt in de discussie in paragraaf 7.5 een uiteenzetting gegeven over de waarde van de resultaten. Hiermee wordt het nog ontbrekende deel van de beantwoording van de laatste onderzoeksvraag geleverd: "Wat is de onzekerheid van de resultaten?". Verder wordt een inkijk gegeven in wat volgens de auteur de meest geschikte beheersalternatieven zijn. In de concluderende paragraaf 7.6 worden de belangrijkste bevindingen van dit hoofdstuk samengevat.

7.2 Beoordelingscriteria alternatieven

De beheersalternatieven zijn opgesteld op basis van verschillende strategieën, die voor realisatie van verschillende doeleinden zijn opgesteld. Dit maakt een onderlinge vergelijking van de alternatieven geen sinecure. Om de beheersalternatieven op gelijke voet te kunnen beoordelen, zijn er vier beoordelingscriteria opgesteld waarin alle functies zijn vertegenwoordigd.

De meeste aandacht gaat hierbij uit naar de functies die relatief ingrijpend beïnvloed worden door de ingrepen. Dit zijn de functies scheepvaart, milieu/ecologie en veiligheid, waarvoor aparte criteria zijn opgesteld. Hoewel andere functies misschien enige hinder zullen ondervinden tijdens de werkzaamheden, zal dit niet doorslaggevend zijn voor de keuze van een alternatief. Tenslotte is een indicatieve kostenschatting gemaakt voor de uitvoering van elk beheersalternatief, waarvan het criterium kosten is afgeleid.

Aan elk beheersalternatief wordt een score toegekend per beoordelingscriterium. Er worden geen wegingsfactoren toegekend aan de verschillende criteria, omdat de kennis voor een gefundeerde weging in dit onderzoek niet aanwezig is. Hier zou een aparte studie naar verricht kunnen worden, bijvoorbeeld op basis van interviews met betrokken actoren. De beheersalternatieven kunnen wel per criterium met elkaar worden vergeleken. Het wordt aan de lezer overgelaten een oordeel te vellen over welk(e) criteri(um/a) het meeste gewicht zou(den) moeten krijgen.

7.2.1 Scheepvaart

Het beoordelingscriterium scheepvaart is gekozen als maat om weer te geven hoe goed de Nieuwe Merwede voldoet aan de functie-eisen voor de scheepvaart. De score wordt bepaald door de met SOBEK-RE gemodelleerde bodemhoogten van de vaargeul te vergelijken met de onderhoudsdiepte en de minimale vaardiepte voor de scheepvaart. Dit

wordt gedaan op basis van vier meetmomenten: 2007, 2017, 2027 en 2037. Het meetmoment in 2007 is het moment net na het uitvoeren van de ingreep horende bij een beheersalternatief.

De extremen in de scores tussen ++ en -- hebben de volgende betekenissen:

- ++ De waterdiepte in de vaargeul is overal toereikend, inclusief een overdiepte van 35 cm voor onvoorziene sedimentatie(golven). Onderhoudsbaggerwerkzaamheden kunnen, ook voor de komende jaren, vrijwel worden uitgesloten
- -- De minimaal vereiste diepte voor de scheepvaart wordt op enkele locaties (< 1 km totale lengte) met minimaal 15 cm onderschreden, óf op grote lengtes (> 3 km) met 1 tot 15 cm onderschreden. De functie scheepvaart kan niet volledig worden gegarandeerd. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden zijn (op het meetmoment) nodig om de vaargeul op diepte te brengen. In de komende periode zijn grootschalige tussentijdse onderhoudsbaggerwerkzaamheden onafwendbaar

De definities van de scores zijn in eerste instantie bepaald naar aanleiding van functionele verschillen en vervolgens zodat de alternatieven onderscheidend ingedeeld kunnen worden. In Bijlage 14 wordt de definitie van iedere score beschreven met een toelichting.

N.B. Als de vereiste diepte op een deel van de rivier niet gehaald wordt door een combinatie van lage afvoeren en een te hoge bodemligging, ontstaat een nautisch knelpunt. De scheepvaart ondervindt hier hinder van doordat schepen minder beladen kunnen worden (om zo hun diepgang te verminderen). Een schatting van de potentiële economische schade zou een goede maat zijn om te vergelijken met de kosten voor het uitvoeren van een beheersmaatregel. Dit is echter een complex vraagstuk en valt niet binnen de scope van dit onderzoek.

7.2.2 Milieu/ecologie

Het beoordelingscriterium milieu/ecologie is gekozen om weer te geven in hoeverre de Nieuwe Merwede voldoet aan de milieu-eisen en een natuurlijke ecologische balans zal laten herstellen. Hiervoor wordt beoordeeld of grootschalige erosie van verontreinigd sediment voorkomt en in hoeverre de morfologisch actieve toplaag van de Nieuwe Merwede verontreinigde sedimenten bevat. Dit wordt gedaan op basis van vier meetmomenten: 2007, 2017, 2027 en 2037. Bij sommige alternatieven wordt de milieuwinst pas op termijn behaald. Het meetmoment in 2007 is het moment net na het uitvoeren van de ingreep horende bij een beheersalternatief.

Het criterium milieu/ecologie is een belangrijk criterium, maar laat zich lastig meten. De modelresultaten van SOBEK-RE geven tenslotte alleen de bodemhoogten in de vaargeul weer, terwijl de meeste verontreinigde sedimenten zich juist in de vaarweg bevinden. Er moet een kwalitatieve schatting worden gemaakt. Hiervoor worden er een aantal aannames gemaakt omtrent de beoordeling van de modelresultaten:

- Logische redenering is dominant boven de interpretatie van SOBEK-RE resultaten. Zo wordt bij Alternatief B alle verontreinigd materiaal verwijderd, waardoor de SOBEK-RE resultaten irrelevant worden
- Verontreinigde sedimenten komen alleen voor benedenstrooms van km raai 969, afhankelijk van de uitgevoerde baggerwerkzaamheden. Vanaf hier wordt de kwaliteit beoordeeld

- Bij grootschalige erosie van de vaargeul komt erosie ook voor in de vaarweg
- Als alleen de vaargeul is gebaggerd en de vaarweg niet, wordt gesteld dat:
 - De vaarweg niet sedimenteert/licht erodeert bij minder dan 0,5 m sedimentatie in de vaargeul, om het bodemprofiel te herstellen
 - De vaarweg gelijk met de vaargeul sedimenteert bij meer dan 0,5 m sedimentatie in de vaargeul
- Als de vaargeul en vaarweg gelijk zijn gebaggerd/niet zijn gebaggerd, wordt gesteld dat de sedimentatie van de vaargeul gelijk is aan de sedimentatie van de vaarweg
- Alle sedimentatie (boven het laagst ontstane bodemprofiel) wordt aangenomen schoon te zijn
- De kwaliteit van de toplaag van de vaarweg is dominant boven de kwaliteit van de toplaag van de vaargeul, omdat hier meer verontreinigingen liggen en omdat de relatief ondiepe vaarweg een belangrijker ecologische functie heeft

Met behulp van deze aannames kunnen de verschillende alternatieven beoordeeld worden. De extremen in de scores tussen ++ en -- hebben de volgende betekenissen:

- ++ Er komt geen grootschalige erosie voor én de toplaag van de bodem bestaat uit schoon sediment waarvan > 90 % van de lengte een dikte heeft van > 0,5 m
- -- Tot dit meetmoment is grootschalige erosie voorgekomen en/of de toplaag van de bodem bestaat voor < 25 % van de lengte uit schoon sediment met een dikte van > 0 m

De definities van de scores zijn in eerste instantie bepaald naar aanleiding van functionele verschillen en vervolgens zodat de alternatieven onderscheidend ingedeeld kunnen worden. In Bijlage 15 wordt de definitie van iedere score beschreven met een toelichting.

7.2.3 Veiligheid

Veiligheid is niet de belangrijkste functie waar de beheersalternatieven op ontworpen zijn. Het projectgebied voldoet in de huidige situatie aan de gestelde normen. Er hoeft uit veiligheidsperspectief dan ook niet te worden ingegrepen. Toch kunnen beheersmaatregelen met andere doelen wel invloed hebben op de functie veiligheid.

Het risico (kans & gevolg) bij een verslechterde veiligheid, wordt zelfs bij een kleine vergroting van de kans onacceptabel, omdat de gevolgen van een eventuele dijkdoorbraak desastreus zouden zijn. Veiligheid wordt gedefinieerd in waterhoogten tijdens een maatgevende afvoer (MHW). In dit rapport worden hiermee bedoeld: de waterhoogten in het gehele projectgebied bij een afvoer van 18 000 m³/s bij Lobith.

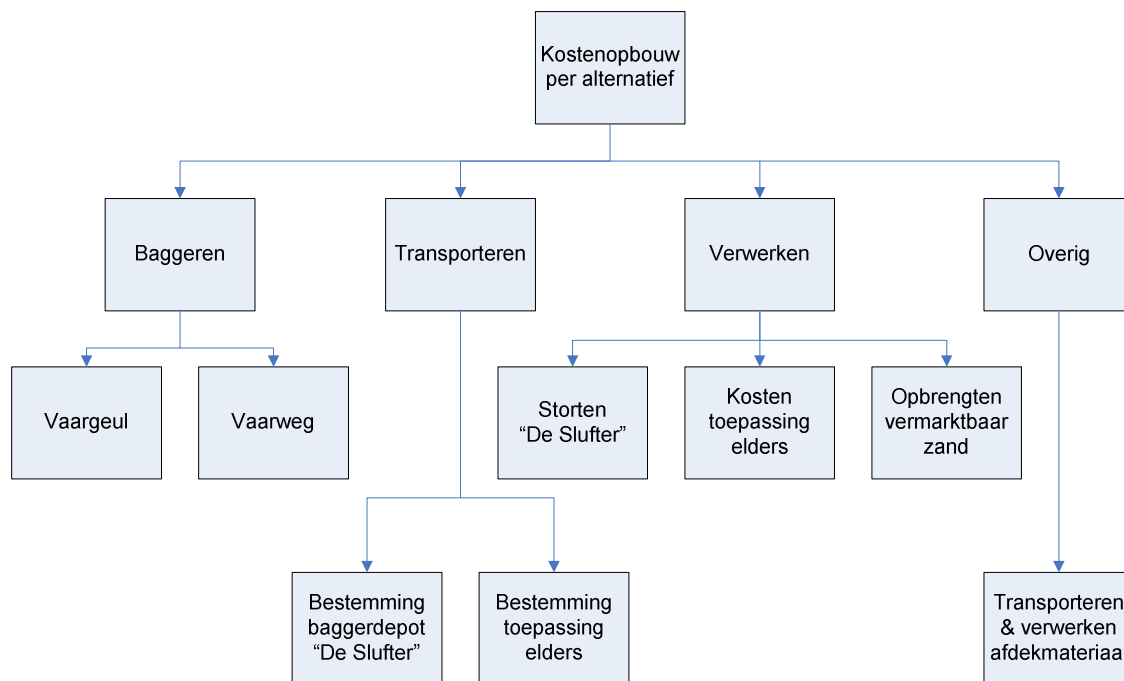
Voor elk alternatief wordt onderzocht hoeveel invloed de uitvoering van de beheersmaatregel heeft op de MHW-waterstanden in het projectgebied. De waterstanden bij het nulalternatief gelden als referentiewaarde. Door de dataopslagmethode van SOBEK-RE is het niet mogelijk de MHW-waterstanden op latere tijdstippen te onderzoeken. In Bijlage 16 wordt beschreven hoe de MHW-waterstanden bepaald worden.

Alle maatregelen blijken waterstandsverlagingen tot gevolg te hebben. Dit resultaat leidt tot de constatering dat dit criterium in het gestelde probleemkader niet bepalend zal zijn voor de keuze van een beheersalternatief. De resultaten blijven echter wel relevant, omdat waterstandsverlaging in dit project kan zorgen voor een kostendaling in andere projecten, die gericht zijn op het verbeteren van de veiligheid.

7.2.4 Kosten

De kosten voor de uitvoering van elk alternatief zijn uitgerekend op basis van eenheidstarieven die zijn gehanteerd voor soortgelijke projecten in het verleden* [Royal Haskoning, 2005]. Het betreft éénmalige kosten die worden gemaakt voor de uitvoering van het beheersalternatief in 2007. Alle eventuele meerkosten worden niet berekend, maar kwalitatief weergegeven door middel van scores op de andere criteria. Dit geldt bijvoorbeeld voor extra ingrepen, periodiek baggerwerk of compensatie voor het eroderen van verontreinigde lagen. Dit geldt ook voor gedorven inkomsten, bijvoorbeeld doordat schepen minder diep beladen kunnen worden.

De kosten worden berekend op basis van een drietal activiteiten, die bij ieder alternatief worden ondernomen. Dit zijn de activiteiten baggeren, transporteren en afzetten van sediment. Er wordt onderscheid gemaakt in gebruikte methodes voor het uitvoeren van deze activiteiten, op basis van locatie en kwaliteit van het sediment. Bij enkele ingrepen kan “schoon” zand worden gewonnen, dat vermarktbaar is en zo de kosten zal verlagen. Bij alternatief E wordt schoon materiaal van buiten het projectgebied aangevoerd om als afdek materiaal gestort te worden. In Figuur 7-1 wordt de kostenopbouw weergegeven.



Figuur 7-1: Kostenopbouw voor de uitvoering voor elk beheersalternatief

In Bijlage 17 wordt in detail beschreven welke aannames voor deze berekening gemaakt worden en met welke eenheidsprijzen per activiteit gerekend wordt. Elk kostentotaal wordt volledigheidshalve vermenigvuldigd met 25% meerkosten voor voorbereiding, monitoring, vergunningen, onvoorzien e.d. Omdat de kosten met een ruwe methode en verouderde eenheidsprijzen zijn bepaald, worden de resultaten gepresenteerd als indexcijfer. De gemiddelde kostprijs van alle beheersalternatieven (exclusief het nulalternatief) wordt het indexcijfer 100 toegekend.

* Vermeerderd rekening houdend met een jaarlijkse inflatie van 3%

7.3 Beoordeling beheersalternatieven

7.3.1 Samenvatting resultaten

In Tabel 7-1 worden de resultaten van alle beheersalternatieven op de vier beoordelingscriteria samengevat. De berekening van de scores per beoordelingscriterium is beschreven in Bijlagen 14 tot en met 17. Voor de scores op de beoordelingscriteria scheepvaart en milieu/ecologie zijn de resultaten bepaald met behulp van de figuren in Bijlage 13. Op basis van de hier gepresenteerde scores, worden de relevante conclusies per beheersalternatief besproken.

Tabel 7-1: Resultaten beheersalternatieven op alle beoordelingscriteria

Alternatief	Scheepvaart ++ = best -- = slechtst (getal tussen haakjes opgeteld resultaat)	Milieu/ecologie ++ = best -- = slechtst (getal tussen haakjes opgeteld resultaat)	Veiligheid ++ = best -- = slechtst	Kosten Index = 100 (Gemiddelde kosten)
nul	-- (-8)	0 (0)	--	0
A	0 (+2)	-- (-8)	0	41
B	-- (-8)	++ (+8)	++	132
C	+ (+4)	-- (-7)	+	34
D	+ (+3)	0 (-1)	++	137
E	-- (-6)	+ (+4)	+	156

7.3.2 Resultaten afzonderlijke beheersalternatieven

Nulalternatief

Over het nulalternatief hoeft niet lang uitgeweid te worden. Het nulalternatief geeft een indicatie hoe het gebied zich ontwikkelt zonder ingrepen. Dit is juist de aanleiding geweest om een onderzoek te starten naar de gevolgen van beheersmaatregelen. Het nulalternatief scoort het slechtst op de criteria scheepvaart en veiligheid en het best op het criterium kosten, vanwege het ontbreken van beheersmaatregelen. Opvallend is wel dat het nulalternatief op het criterium milieu met een gemiddelde score op de derde plaats komt, net iets beter dan Alternatief D. De ontwikkeling van de bodem tussen 2007 en 2037 wordt weergegeven in Figuur 6-1.

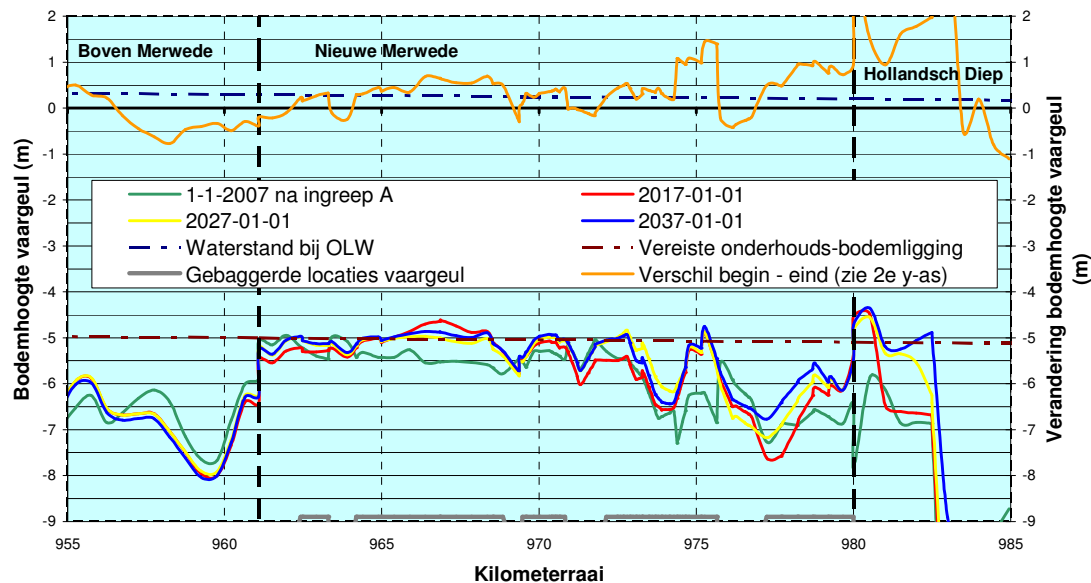
Alternatief A: Vrije Doorvaart

Uit Figuur 7-2 valt onmiddellijk op dat de hoofddoelstelling waarvoor dit alternatief is opgesteld, slechts matig wordt behaald. Alternatief A bezet de derde plaats op het criterium scheepvaart, net achter Alternatief D. Hier moet bij vermeld worden dat er op dit criterium helemaal geen hoge scores behaald worden. Na uitvoering van de beheersmaatregelen voldoet het gebied uitstekend aan de gestelde scheepvaartseisen. Het projectgebied blijkt echter morfologisch te dynamisch om met één beheersingreep voor tientallen jaren aan deze eisen te voldoen.

In de eerste tien jaren na uitvoering van de beheersmaatregelen, komt meteen een grote sedimentatie op gang, vooral daar waar de meest ingrijpende maatregelen zijn uitgevoerd. De bodem lijkt haar oorspronkelijke profiel te willen herstellen. Tevens is duidelijk te zien dat grote verdiepingen zich stroomafwaarts verplaatsen (zie rode lijn (2017) rond km raai 972 en vooral 977 in Figuur 7-2). In de laatste tien jaren (2027 – 2037) verandert er nauwelijks meer iets aan het bodemprofiel, dat gemiddeld genomen

wel degelijk structureel beter voldoet aan de onderhoudsdiepte dan bij het nulalternatief in deze periode.

Ontwikkeling bodem bij Alternatief A



Figuur 7-2: Ontwikkeling bodemhoogten na uitvoering Beheersalternatief A

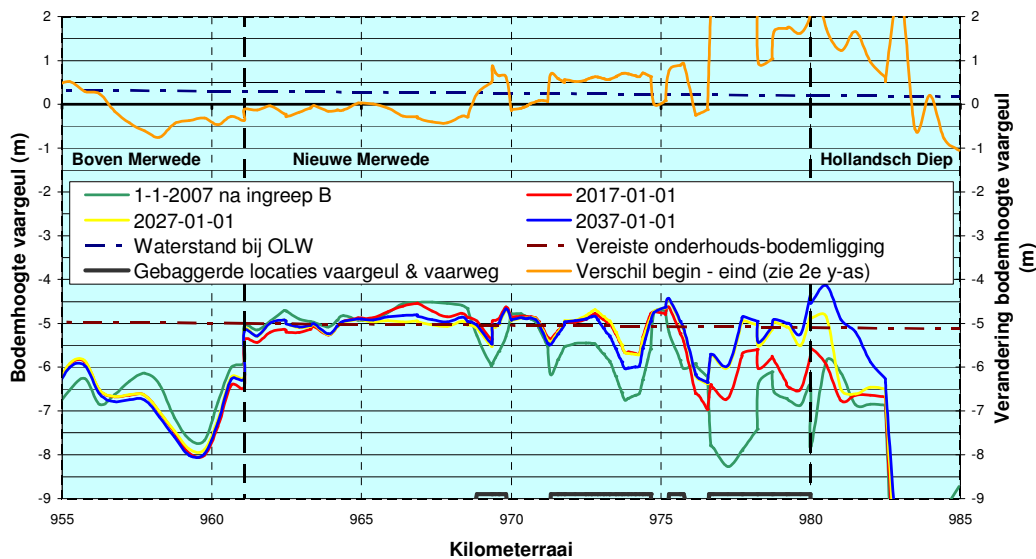
Qua milieudoelstellingen scoort Alternatief A uitgesproken slecht, wat geen verrassing mag zijn aangezien dit alternatief hier niet op ontworpen is. De aanname dat er minimaal 50 cm sedimentatie in de vaargeul moet voorkomen voordat er sprake is van sedimentatie in de vaarweg speelt hier een belangrijke rol in, maar deze aanname is niet ongefundeerd. Een bodem waarin is ingegrepen probeert haar oorspronkelijke profiel te herstellen. Dit kan betekenen dat de vaarweg erodeert terwijl de vaargeul sedimenteert, opdat het oorspronkelijke profiel sneller wordt bereikt. Vanwege de beperkte (verontreinigde) volumes die met deze ingreep gemoed zijn, liggen de kosten relatief laag, maar wordt er ook relatief weinig verbeterd aan de veiligheid.

Alternatief B: Volledige Sanering

De hoofddoelstelling van Alternatief B wordt ruim behaald, omdat al het verontreinigd sediment uit de bodem wordt verwijderd. Op het criterium milieu/ecologie scoort Alternatief B dan ook veruit het beste. Alternatief B is in feite een vreemde eend in de bijt, omdat dit alternatief zich niet goed in SOBEK-RE laat modelleren. Het gevolg is dat de resultaten op de beoordelingscriteria scheepvaart en veiligheid kritisch beschouwd dienen te worden. Deze resultaten voldoen echter aan de verwachtingen, waardoor besloten is ze hier wel op te nemen. De ontwikkeling bij Alternatief B is weergegeven in Figuur 7-3.

Alternatief B scoort het slechtst op het criterium scheepvaart. Dit is weinig verrassend, omdat dit alternatief het enige alternatief is waarbij scheepvaart niet in de doelstellingen voorkomt. Op elk meetmoment is er ergens in de vaargeul een ernstig nautisch knelpunt aanwezig, doordat de complete balans in doorstroomprofielen is gewijzigd. Door de gigantische verwijderde volumes sediment tussen km raai 975 en 980, komt hier sedimentatie van 1 tot 3 meter voor in de jaren 2007 – 2027 (verschil groene en gele lijnen in derde figuur van Bijlage 13). In de laatste tien jaren is de bodem redelijk tot rust gekomen.

Ontwikkeling bodem bij Alternatief B



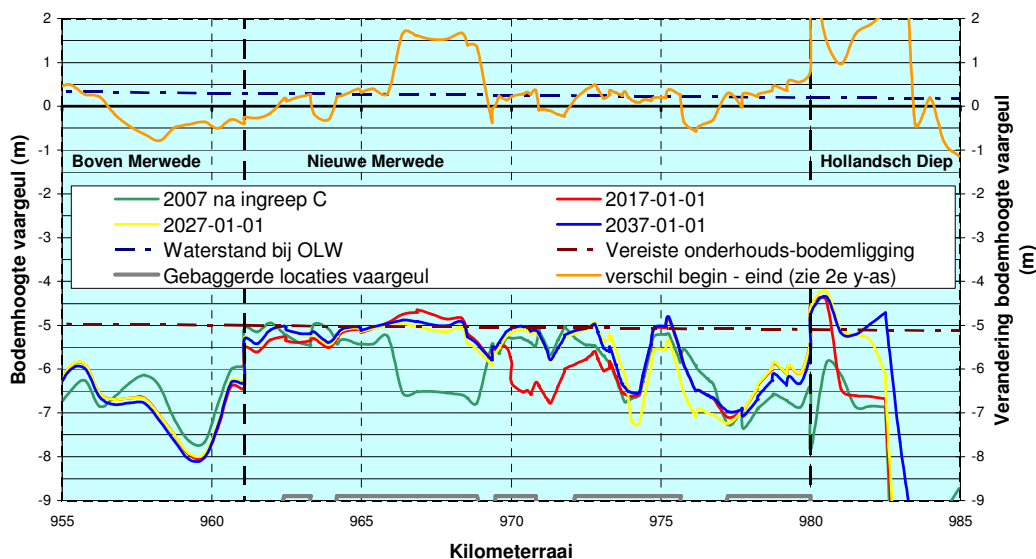
Figuur 7-3: Ontwikkeling bodemhoogten na uitvoering Beheersalternatief B

Alternatief B is relatief duur, omdat er grote hoeveelheden verontreinigd sediment verwijderd, getransporteerd en gestort dienen te worden. Qua veiligheid wordt er relatief veel waterstandsverbetering behaald bij MHW in het benedenstroomse deel en weinig in het bovenstroomse deel. Dit is logisch, omdat de beheersmaatregelen van Alternatief B alleen in het benedenstroomse deel voor een vergroting van het doorstroombroefiel zorgen.

Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang

Alternatief C voldoet in zoverre aan haar hoofddoelstelling, dat dit alternatief de beste resultaten oplevert op het criterium scheepvaart. Alternatief C scoort hier marginaal beter dan Alternatief D, dat het weer iets beter doet dan Alternatief A. Er worden op geen enkel meetmoment slechte resultaten behaald, en op twee meetmomenten (2007 & 2027) zelfs ronduit goede resultaten. De ontwikkeling van de bodem is weergegeven in Figuur 7-4.

Ontwikkeling bodem bij Alternatief C



Figuur 7-4: Ontwikkeling bodemhoogten na uitvoering Beheersalternatief C

Het grote verschil met Alternatief A is de bovenstroomse zandvang. Deze draagt weliswaar bij aan een goede score op het criterium scheepvaart, maar bereikt niet de doelstelling waarvoor hij is aangelegd, doordat de zandvang binnen tien jaar gevuld is. Wel migreert het effect van de verdieping in de jaren 2017 – 2027 duidelijk in benedenstroomse richting. Deze (korte) werking van de zandvang wordt in detail besproken in Bijlage 18. Afgezien van een hardnekkige ondiepte op km raai 975.5 worden de eisen van de scheepvaart alleen op meetmoment 2017 niet behaald (rode lijn in vierde figuur van Bijlage 13).

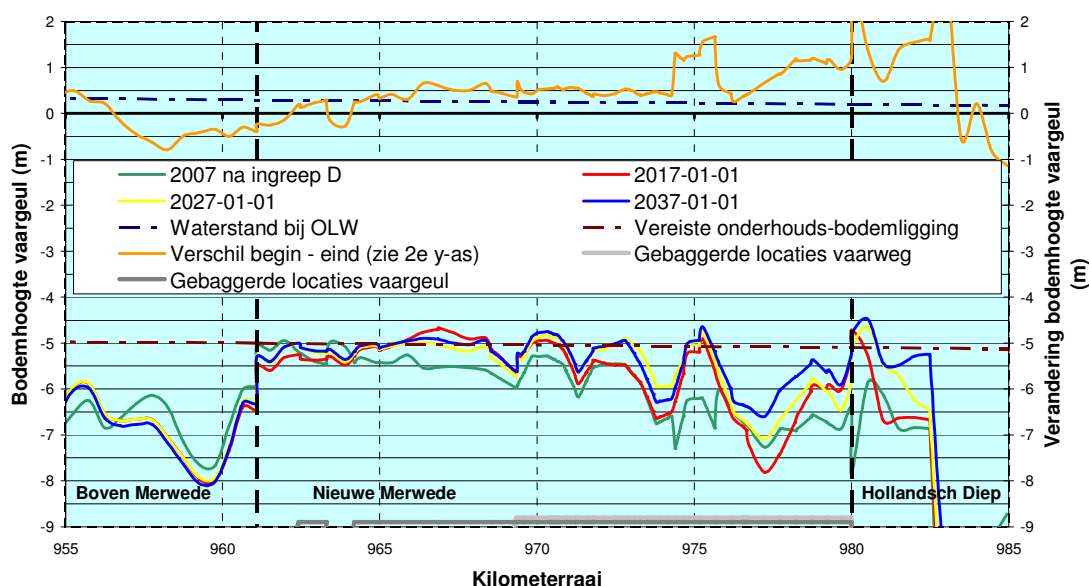
Op het criterium milieu/ecologie scoort Alternatief C bijna even slecht als Alternatief A (beide alternatieven hebben geen milieudoelstelling). De enige reden dat de score iets beter is, ligt in het feit dat er in 2037 een schonere toplaag wordt behaald dan bij Alternatief A. Overigens vindt er bij Alternatief C in totaal veel meer erosie van verontreinigd sediment plaats, wat zou kunnen pleiten voor een lagere score voor Alternatief C.

Vanwege de winning van een grote hoeveelheid vermarktbaar zand uit diepere (lees schone) lagen sediment, is Alternatief C goedkoper dan Alternatief A en daarmee het goedkoopste beheersalternatief (naast het nulalternatief). Er wordt weinig bereikt op het criterium veiligheid, hoewel Alternatief C het in de eerste kilometers van het projectgebied bijna net zo goed doet als Alternatief D.

Alternatief D: Integraal Beheer

Alternatief D en Alternatief E zijn de enige alternatieven die beogen zowel scheepvaart- als milieudoelstellingen te realiseren. Uit de resultaten blijkt dat dit geen gemakkelijke doelstelling is. Vooral de kosten zijn zeer hoog. Toch zijn de resultaten van Alternatief D acceptabel te noemen. Het scoort relatief goed op het criterium scheepvaart, niet slecht op het criterium milieu/ecologie en zelfs het hoogst op het criterium veiligheid. De ontwikkeling van de bodem is weergegeven in Figuur 7-5.

Ontwikkeling bodem bij Alternatief D



Figuur 7-5: Ontwikkeling bodemhoogten na uitvoering Beheersalternatief D

De relatief goede resultaten op het criterium scheepvaart zijn niet verassend. Alle maatregelen van Alternatief A worden tenslotte ook hier weer uitgevoerd en op enkele plaatsen in de vaargeul zelfs uitgebreid. Het grote verschil met Alternatief A is dat de

toplaag van de gehele vaarweg vanaf km raai 969 met 0,5 m is verlaagd. Hierdoor zijn de doorsnedeprofielen meer in balans dan bij Alternatief A. In SOBEK-RE worden morfologische veranderingen naar verhouding van diepte berekend: hoe dieper, hoe meer sedimenttransport en hoe groter het aandeel in de morfologie. De verschillen tussen vaarweg en vaargeul zijn bij Alternatief D kleiner dan bij A, waardoor er minder sedimentatie van de vaargeul optreedt.

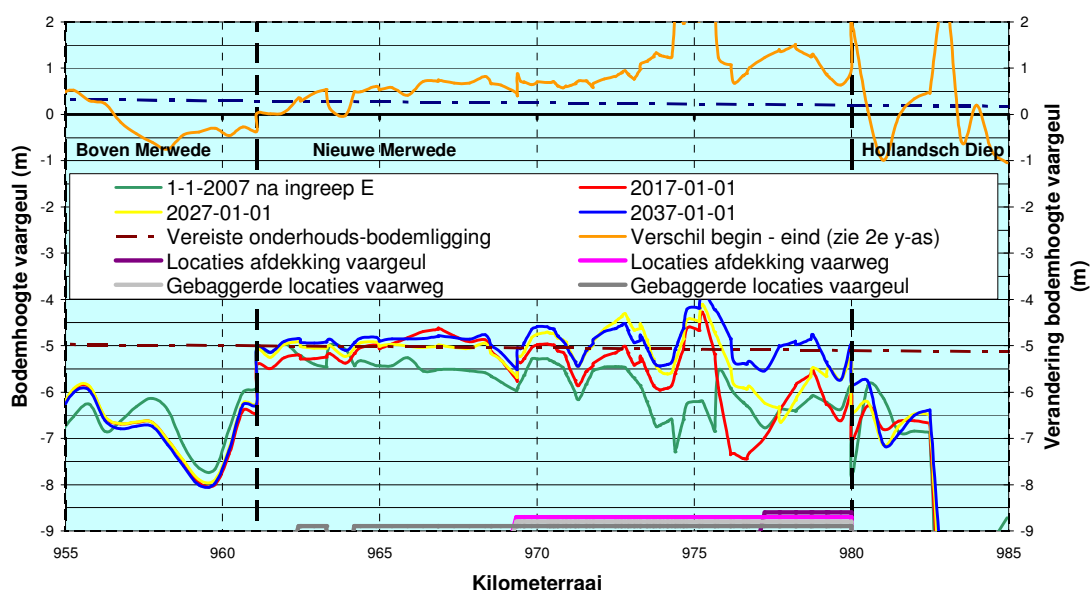
Op het criterium milieu/ecologie zijn de resultaten enigszins teleurstellend. Zelfs helemaal niet ingrijpen in het systeem blijkt betere resultaten op te leveren. Hier moet echter een belangrijke kanttekening bij worden gemaakt. Het (negatieve) verschil komt voornamelijk voor rekening van het meetmoment 2017, als er tussen km raai 977 en 978 grote erosie van verontreinigd sediment waargenomen wordt (rode lijn in vijfde figuur Bijlage 13). Deze wordt veroorzaakt door de grote verdieping van de vaargeul tussen km raai 974.3 en 975.5 ten behoeve van de scheepvaart. Omdat deze grote verdieping haar doel voorbij blijkt te schieten (zie paragraaf 7.4), zal Alternatief D aanzienlijk beter kunnen scoren op het criterium milieu/ecologie (schatting score 0).

Omdat er zeer grote volumes sediment worden verplaatst, is Alternatief D zeer kostenintensief (vergelijkbaar met Alternatief B). Opvallend is wel dat hoewel er netto meer sediment wordt verwijderd dan bij Alternatief E, de kosten toch aanzienlijk lager liggen. Dit ligt voornamelijk aan de opbrengsten van vermarktbaar zand, waar zeer moeilijk een betrouwbare schatting van de maken is. Concluderend kan gesteld worden dat integraal beheer enigszins bereikt wordt, maar dat men dit in de kostprijs zal merken.

Alternatief E: Integraal beheer met afdekking

De resultaten van Alternatief E op haar doelstellingen zijn teleurstellend. Weliswaar wordt door afdekking een veel beter resultaat behaald op het criterium milieu/ecologie dan bij Alternatief D, maar dit blijkt ten koste te gaan van alle andere criteria. Alternatief E is met afstand het duurste alternatief. Verder wordt vooral op het criterium scheepvaart een slecht resultaat behaald; alleen het nulalternatief en Alternatief B scoren nog slechter. Dit is echter misschien een vertekend beeld, veroorzaakt door de modelinvoer. De ontwikkeling van de bodem wordt weergegeven in Figuur 7-6.

Ontwikkeling bodem bij Alternatief E



Figuur 7-6: Ontwikkeling bodemhoogten na uitvoering Beheersalternatief E

Op de milieudoelstelling wordt een bevredigend en positief resultaat behaald. Het enige minpunt is de grote erosie van verontreinigd sediment tussen km raai 976 en 977.5 in 2017 (rode lijn in de zesde figuur van Bijlage 13). De oorzaak en interpretatie hiervan is bij Alternatief D besproken. Als deze erosie wordt voorkomen, is de verwachting dat Alternatief E even goed zal scoren op milieudoelstellingen als Alternatief B. Hieruit kan geconcludeerd worden dat afdekking hoogstwaarschijnlijk de voorkeur verdient boven volledige verwijdering, omdat er minder verontreinigd materiaal wordt verplaatst.

Op het criterium scheepvaart scoort Alternatief E ronduit slecht. Alleen in 2007 direct na uitvoering van de werkzaamheden worden de doelstellingen behaald. Vermoed wordt echter dat de exorbitante sedimentatie in het gehele projectgebied, maar vooral in het benedenstroomse deel van het projectgebied (oranje lijn), niet overeenkomt met de realiteit. De oorzaak hiervan wordt gezocht in de (gesimplificeerde) gemodelleerde korrelgrootte voor de weergave van het afdekmateriaal. Deze vertraagt stroomsnelheden aanzienlijk, waardoor de sedimentatie die bij alle andere alternatieven optreedt in de eerste kilometers van het Hollandsch Diep, nu in de Nieuwe Merwede plaatsvindt. Hier dient rekening mee gehouden te worden bij het ontwerpen van een dergelijke maatregel, door een fijnere korrelfractie te kiezen. Mogelijk zijn de scores op het criterium scheepvaart in dat geval minder slecht.

De kosten van Alternatief E blijken het hoogst van alle alternatieven. Dit is niet onwaarschijnlijk, omdat er grote volumes sediment afgevoerd en aangevoerd worden. Alternatief E scoort bovengemiddeld op het criterium veiligheid, maar het is de vraag of dat met zulke grote sedimentatiesnelheden op latere meetmomenten ook het geval zou zijn.

7.3.3 Analyse resultaten beheersalternatieven

Op basis van de (gemodelleerde) resultaten kunnen de volgende stelregels worden opgesteld voor beheersalternatieven:

- Maatregelen zuiver voor scheepvaart halen per definitie een slechte score op het criterium milieu/ecologie
- Maatregelen zuiver voor het milieu halen per definitie een slechte score op het criterium scheepvaart
- Maatregelen gericht op een geïntegreerde doelstelling zijn per definitie erg kostbaar
- Succesvol integraal beheer is technisch haalbaar. Succes in de praktijk zal afhangen van de vraag of de voordelen opwegen tegen de kosten: een politieke afweging
- Alle hier gepresenteerde beheersalternatieven kunnen verder geoptimaliseerd worden
- Het loslaten van de eis “30 jaar geen periodiek onderhoud” creëert uitstekende kansen voor het optimaliseren en goedkoper maken van alle alternatieven

7.4 **Conclusies beheersmaatregelen**

7.4.1 Effectiviteit afzonderlijke maatregelen

Op basis van de in Bijlagen 13 tot en met 18 gepresenteerde resultaten, kunnen conclusies worden getrokken over de geschiktheid van de beheersalternatieven. Een nadere kijk op de resultaten en de analyses levert echter meer kennis op. De afzonderlijke maatregelen die samen een beheersalternatief vormen, worden in deze paragraaf beoordeeld op hun effectiviteit.

Nautisch baggeren

Nautisch baggeren is het baggeren van de vaargeul en wordt alleen beoordeeld op de resultaten in de vaargeul. Allereerst dient gesteld te worden dat het beoordelingscriterium scheepvaart vrij streng is. Een kijk op de resultaten van beheersalternatieven A, C en D leert dat er bij deze alternatieven slechts enige momenten voorkomen, waarop de vereiste diepten over kleine afstanden niet worden behaald. Toch zijn de scores in Tabel 7-1 niet bijzonder indrukwekkend.

De belangrijkste conclusie met betrekking tot de maatregel nautisch baggeren is dat de gehanteerde aanpak voor realisatie van de doelstelling niet haalbaar is. Bij ieder alternatief blijken de nautische baggerwerkzaamheden na 10 jaar (voor het grootste deel) al teniet te zijn gedaan. Om met een éénmalige ingreep voor de eerstvolgende 30 jaar baggerwerkzaamheden te voorkomen is vrijwel onmogelijk. Het projectgebied is, zeker met de kans op een stijgende frequentie van hoge afvoeren, morfologisch te actief voor deze aanpak.

Veel goedkoper en efficiënter is het om de eerste ingreep te beperken en te laten volgen door periodieke onderhoudsbaggerwerkzaamheden op nautische knelpunten. In Figuur 5-4 is weergegeven dat de bodem van de vaargeul in 2037 vrijwel helemaal voldoet aan de eisen van de scheepvaart, als het gemiddelde onderhoud uit de jaren 1990 – 2000 dertig jaar wordt volgehouden. In dat geval wordt jaarlijks 83 000 m³ slib verwijderd, wat neerkomt op 2,5 miljoen m³ sediment in 30 jaar, ongeveer even veel als voor Alternatief A.

Een mogelijk succesvolle aanpak waarbij de onderhoudsvolumes beperkt kunnen worden, is om na de hogere winterafvoeren nautische knelpunten weg te baggeren. Deze aanpak dient zeker onderzocht te worden, maar past niet binnen de termijn van dit onderzoek. Er zal altijd een initiële ingreep plaats moeten vinden, omdat de situatie in 2007 absoluut niet voldoet aan de eisen van de scheepvaart.

In de beheersalternatieven A, D en E is rondom km raai 975 een nautisch knelpunt verwijderd door een grote verdieping van de vaargeul. Deze verdieping is zo gedimensioneerd met het doel om de telkens terugkerende ondiepte op deze locatie te voorkomen. De resultaten geven aan dat dit niet is gelukt, waardoor het onlogisch is om deze verdieping zo groot te dimensioneren. Deze verdieping ligt ten grondslag aan de milieuproblemen die bij de resultaten van Alternatief D & E genoemd worden. In feite is deze maatregel een zandvang, waarvan de effecten verder worden besproken onder het kopje “Zandvang”. Het wordt sterk aanbevolen om de drie genoemde alternatieven nogmaals te modelleren zonder deze zandvang. De resultaten van alle alternatieven, maar voornamelijk de resultaten van Alternatieven D & E op het criterium milieu/ecologie, zouden hiermee wel eens heel anders uit kunnen pakken.

Zandvang

In Bijlage 18 is de werking van een zandvang tussen km raai 966 en 969 grafisch weergegeven in de tijd. De zandvang blijkt redelijk goed te functioneren, totdat zich een hoge afvoer voordoet. Een hoge afvoer, in de orde grootte van de afvoeren van december 1993 of januari 1995, brengt zo veel sediment in transport, dat de zandvang grotendeels gevuld wordt. Hieruit blijken de conclusies voor nautisch baggeren ook voor de zandvang op te gaan. Het voorkomen van periodieke baggerwerkzaamheden voor een periode van 30 jaar met een zandvang is weinig realistisch. Indien dit wel bereikt wordt, door bijvoorbeeld een zandvang van enorme dimensies aan te leggen, is het sterk

de vraag of dit kostentechnisch voordeel oplevert. De rivierbodem streeft naar een natuurlijke balans, waarin een zandvang een intensieve, maar tijdelijke verstoring is.

Een zandvang bovenstrooms van grote volumes verontreinigd sediment is vanuit milieu/ecologisch oogpunt een slechte maatregel. De put blijkt, zoals de theorie voorspelt, met de jaren stroomafwaarts te migreren. Hoewel de diepte hierbij afneemt, zal deze verstoring van het evenwichtsprofiel bij het bereiken van de verontreinigde lagen voor een significante erosie van deze lagen zorgen. Zelfs als de zandvang wordt aangelegd in de vaargeul, is de kans groot dat bij het herstellen van de natuurlijke bodemprofielen sedimenten uit de vaarweg zullen eroderen. Hierbij kunnen theoretisch veel grotere volumes verontreinigd sediment eroderen dan als er niet in het systeem wordt ingegrepen. Dit is goed te zien aan de rode en gele lijnen in de vierde figuur van Bijlage 13. Zelfs als de erosie in de vaarweg een fractie bedraagt van de erosie in de vaargeul, zullen grote volumes verontreinigd materiaal gaan bewegen.

Volledig saneren

Het volledig saneren van al het verontreinigde sediment in het projectgebied is een effectieve maatregel op milieugebied, maar blijkt op andere criteria grote nadelen op te leveren. In dit onderzoek is een (voorzichtige) schatting gemaakt van ruim 4 miljoen m³ ernstig verontreinigd sediment. Dit is een zeer groot volume, dat de complete inhoud van enkele kleinere opslagdepots overtreft. Bij het verwijderen van deze hoeveelheid sediment, wordt het natuurlijke evenwicht dat in de huidige situatie benaderd is wreed verstoord. Het gevolg zal zijn dat het systeem opnieuw tientallen jaren nodig zal hebben om een natuurlijke balans te vinden.

Indien dit sediment geen grote risico's oplevert, is het beter het op de huidige locatie te laten liggen. Dit zou bijvoorbeeld mogelijk zijn met de eerder* beschreven aanpak van kleine nautische ingrepen, regelmatig gevolgd door onderhoud. Ook wat dit betreft wordt een aanbeveling gedaan deze aanpak in de toekomst te onderzoeken.

Sanering 0,5 m toplaag met natuurlijke afdekking

De maatregel "Sanering van de toplaag met natuurlijke afdekking" is gebaseerd op de aanname dat binnen enkele jaren een nieuwe, schone toplaag wordt gevormd. In het benedenstroomse deel is de dominante ontwikkeling zonder ingreep sedimentatie. De verwachting is dat deze sedimentatie versneld wordt door het vergroten van het doorstroomprofiel van de rivier.

De resultaten van Alternatief D duiden er op dat deze aanpak werkt. Afgezien van de locaties waar een verdieping van meer dan 0,5 m is uitgevoerd (bedoeld wordt: de interpolatie van deze locaties na migratie), blijkt de vaargeul binnen 10 jaar met ongeveer 0,5 m aangezand te zijn. Omdat de verdieping van het zomerbed hier over de gehele oppervlakte is uitgevoerd, mag aangenomen worden dat ook de vaarweg sedimenteert. Het kan zijn dat hier in de eerste 10 jaar nog geen 0,5 m wordt bereikt, maar na 20 jaar waarschijnlijk wel.

Sanering 0,5 m toplaag met kunstmatige afdekking

Zoals reeds bij de resultaten van Alternatief E besproken is, lijken de resultaten van de maatregel "Sanering met kunstmatige afdekking" weinig betrouwbaar te zijn. Er is een inschattingfout gemaakt bij het modelleren van de nieuwe korrelgrootte van de toplaag na afdekking. Deze is te groot en te uniform gemodelleerd, waardoor ongeloofwaardige resultaten zijn ontstaan. Mogelijkerwijze komen de resultaten wel overeen met de

* Onder het kopje nautisch baggeren

werkelijkheid, maar dan zou er in de werkelijkheid nooit voor afdekking met een dergelijke korrelfractie worden gekozen. Omdat de termijn van dit onderzoek een verdere verkenning van dit alternatief in de weg staat, wordt kunstmatige afdekking hier niet dieper geanalyseerd. De maatregel lijkt nog altijd veelbelovend te zijn, vooral vanwege de goede resultaten op het criterium milieu/ecologie. Er wordt sterk aanbevolen meer onderzoek te doen naar deze maatregel, waarbij kleinere korrelfracties worden gebruikt voor afdekking.

7.4.2 Optimaal beheersalternatief

De voorgaande paragrafen hebben uitgebreide inzichten opgeleverd in de werking van verschillende combinaties van maatregelen, in de vorm van beheersalternatieven. Het is interessant om een oordeel te vellen over welk beheersalternatief de beste score oplevert, zelfs al mag aan dit oordeel niet te veel waarde worden gehecht.

Voorkeursalternatief auteur

Het voorkeursalternatief kan zonder een uitgebreide weging van beoordelingscriteria met bijvoorbeeld een actorenanalyse, via twee methodes worden aangewezen. De eerste methode is door het geven van een gelijk gewicht aan alle beoordelingscriteria. Hiervoor moeten de criteria op dezelfde schaal gewaardeerd worden. Dit is mogelijk, bijvoorbeeld door de resultaten van het criterium kosten te waarderen op een schaal van ++ tot --. Zonder uit te weiden over de aannames die hiervoor gemaakt worden, levert dit de resultaten op weergegeven in Tabel 7-2. Alternatief D komt als beste beheersalternatief uit de bus.

Tabel 7-2: Vrijblijvend eindoordeel voorkeursalternatief bij gelijk wegen beoordelingscriteria (geen officieel onderzoeksresultaat)

Alternatief	Scheepvaart ++ = best -- = slechtst	Milieu/ecologie ++ = best -- = slechtst	Veiligheid ++ = best -- = slechtst	Kosten ++ = best -- = slechtst	Eindoordeel (optelling +en en -en op 4 criteria)
nul	--	0	--	++	--
A	0	--	0	+	-
B	--	++	++	-	+
C	+	--	+	+	+
D	+	0	++	-	++
E	--	+	+	--	--

De tweede methode is het geven van een persoonlijke mening op basis van de resultaten in Tabel 7-1. Als de in Hoofdstuk 1 gestelde doelen in acht worden genomen, blijkt dat het doel van het onderzoek is te komen tot een integraal beheerplan. Er is slechts één alternatief dat op alle functies een neutraal of positief resultaat behaalt: wederom Alternatief D. Dat de kosten voor dit alternatief zeer hoog liggen wordt in deze beschouwing terzijde geschoven.

Beide gesimplificeerde methodes leveren hetzelfde beheersalternatief als voorkeursalternatief. Hier kan echter niet uit worden opgemaakt dat dit alternatief ook daadwerkelijk het beste beheersalternatief is voor de Nieuwe Merwede op een termijn van 30 jaar. Er zijn andere variaties denkbaar, voor een deel met inbegrip van periodieke baggerwerkzaamheden, die hoogstwaarschijnlijk betere scores zouden behalen.

7.5 Discussie resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd en geanalyseerd op basis van simulaties van de zes beheersalternatieven. In deze paragraaf wordt stilgestaan bij de betrouwbaarheid van deze resultaten. Verder wordt in deze paragraaf weergegeven welke (nog) niet onderzochte combinaties van beheersmaatregelen kansrijke combinaties opleveren, die misschien beter zouden kunnen scoren dan de hier onderzochte beheersalternatieven.

Onzekerheid werking model

In Hoofdstuk 5 is al gesteld dat de uitkomsten van het model in een validatie-simulatie van 5 jaar weliswaar niet heel goed overeenkomen met de metingen, maar evenmin heel veel afwijken. Aangenomen is dat de weergegeven trends in de resultaten juist zijn en dat lokale afwijkingen voornamelijk te wijten zijn aan het manco in kennis over baggerlocaties en baggervolumes. De uitgevoerde simulatie van de autonome ontwikkeling over 30 jaar bevestigt dit beeld. De gemeten grootschalige morfologische trends beschreven in Hoofdstuk 2 worden voortgezet, met een dynamisch bodemevenwicht in de bovenstroomse helft van het projectgebied en een structurele voortzetting van sedimentatie in het benedenstroomse deel, waar het doorstroomprofiel nog altijd te ruim is.

Twee belangrijke tekortkomingen aan het ééndimensionale model blijken door de opzet van het onderzoek relatief weinig invloed te hebben. In Hoofdstuk 3 is geconcludeerd dat hoewel bochtstromingen een belangrijke rol spelen in de Nieuwe Merwede, de profielen al redelijk in evenwicht zijn. De invloed van een sterkere bochtstroming bij hoge afvoeren is hierdoor zo klein, dat ze wordt opgevangen met de stelling dat de vorm en kwaliteit van de toplaag over een dikte van 0,5 m onzeker is en daardoor schoon dient te zijn (grootste mogelijke afwijking in buitenbocht). Bij de uitvoering van maatregelen zou spiraalstroming wel een belangrijke rol kunnen hebben. De andere tekortkoming is dat een analyse van de bodemmorfologie zonder Monte Carlo simulaties een grotere onzekerheid veroorzaakt. De onzekerheid van de extremen die de bodem aan zou kunnen nemen wordt verkleind door een relatief extreme afvoerreeks te gebruiken, vanwege de dominante invloed op de morfologie. In de gemodelleerde afvoerreeks zijn 6 hoge afvoeren vertegenwoordigd: 3 maal dec. 1993 en 3 maal jan. 1995. Zelfs als de frequentie en intensiteit van hoge afvoeren toenemen, is de kans klein dat zo vaak zulke hoge afvoeren voor zullen komen in de eerstvolgende 30 jaar. Hierdoor blijft de bodem van de Nieuwe Merwede hoogstwaarschijnlijk minder dynamisch dan uit de extremen van dit onderzoek blijkt.

Onzekerheid analyse resultaten

In dit hoofdstuk wordt een aantal nieuwe onzekerheden geïntroduceerd, voornamelijk door conclusies te trekken over de ontwikkelingen in de vaarweg op basis van resultaten in de vaargeul. Voor het beoordelen van de resultaten op het criterium milieu/ecologie is dit onvermijdelijk. De aannames beschreven in paragraaf 7.2.2 zijn echter stuk voor stuk gemaakt op basis van een logische redenatie van hoe het model functioneert en wat dat betekent voor de gehele doorsnede op elke locatie. Hoewel geenszins kwantitatieve conclusies aan de resultaten verbonden mogen worden, blijkt uit de methodiek van beoordeling (schaal ++ tot --) dat dit ook niet wordt gepretendeerd. Hoewel de waarden 0,5 m sedimentatie en het percentage "schone toplaag" kwantitatief van aard zijn, blijkt duidelijk uit de omschrijving van de resultaten dat waardering gebeurt op basis van schattingen, waarbij deze grenzen niet rigide zijn. Er moet door de oogharen worden gekeken, zodat de resultaten geanalyseerd kunnen worden.

Tekortkomingen

Op enkele punten komen de gepresenteerde simulaties echter wel degelijk tekort. Een van de belangrijke tekortkomingen is de invoer van de korrelfractiegrootte die wordt gebruikt ter afdekking van de nieuwe toplaag in Alternatief E. Deze is gekozen op basis van de aanname dat de grotere korrelfractie van bovenstrooms op deze locatie niet zou eroderen. Deze aanname blijkt het gehele morfologische proces te domineren en is om deze reden niet geschikt: het nu gemodelleerde alternatief is niet een realistisch alternatief. Het wordt sterk aanbevolen deze simulatie nogmaals uit te voeren, met een geschiktere korrelfractie.

Hoewel de analyse van de ontwikkelingen in de vaarweg op basis van de ontwikkelingen in de vaargeul redelijk gefundeerd zijn, speelt hier een andere onzekerheid een belangrijke rol. Het SOBEK-RE model heeft een eigen methode voor het aanpassen van doorsnedeprofielen. Net zoals in de werkelijkheid vindt het meeste sedimenttransport plaats in de diepste delen van de rivier. In SOBEK-RE heeft dit echter ook grote gevolgen voor de aanpassing van de doorsneden. De diepste doorsneden eroderen het meest bij een algemene trend van erosie en sedimenteren het meest bij een trend van sedimentatie. Het is niet bekend in hoeverre deze verhouding overeenkomt met de werkelijkheid. Zoals in paragraaf 5.4.3 gesteld is, kan spiraalstroming ervoor zorgen dat modelresultaten af zullen wijken van de werkelijkheid, vooral bij het uitvoeren van maatregelen in een deel van de dwarsdoorsnede van de rivier. Voor deze onzekerheden is het model niet ontworpen. Aanbevolen wordt om dit type informatie te onderzoeken met behulp van een model zoals Delft3D, indien er grote verschillen bestaan tussen geplande baggerdieptes in de vaargeul en in de vaarweg.

Aanbevelingen voor kansrijke (nieuwe) beheersalternatieven

In de voorgaande paragrafen is veelvuldig gesproken over alternatieven waarbij periodiek onderhoud wordt gepleegd om de functie scheepvaart te waarborgen. Hoewel er daarvoor gedurende de hele periode monitoring en soms baggeronderhoud plaats zal moeten vinden, worden de gebaggerde volumes zo sterk verkleind dat een efficiënte oplossing wel periodiek baggeren moet bevatten. In Figuur 5-4 is al bewezen dat periodiek baggeren een zeer positief effect kan hebben op de gemiddelde bodemligging. In deze paragraaf worden drie "kansrijke" alternatieven (X, Y en Z) beschreven, waarvoor aanvullend onderzoek sterk wordt aangeraden.

Alternatief X omvat een vergaande sanering van het gehele projectgebied, vergelijkbaar met Alternatief D (0,5 m baggeren op alle verontreinigde locaties). Tevens wordt de vaargeul gebaggerd, tot aan het onderhoudsprofiel. Er wordt niet preventief dieper gebaggerd, om eventuele problemen met erosie benedenstrooms te voorkomen. Sedimentatie van de vaargeul wordt voorkomen door het monitoren en periodiek nautisch baggeren van de vaargeul, met name na hoge (winter-)afvoeren en altijd na extreme afvoeren. Uit de simulaties is gebleken dat natuurlijke afdekking plaats zal vinden, al is het mogelijk dat het langer dan 10 jaar duurt voordat deze afdekkingslaag de vereiste dikte van 0,5 m heeft bereikt.

Alternatief Y is vergelijkbaar met Alternatief X, maar gaat uit van kunstmatige afdekking om direct na uitvoering van de beheersingreep te voldoen aan alle eisen, inclusief die van milieu/ecologie. Dit alternatief lijkt sterk op Alternatief E, maar verschilt op drie punten: er wordt gebruik gemaakt van een fijnere korrelfractie voor afdekking, er wordt niet preventief nautisch gebaggerd tot dieper dan de onderhoudsdiepte en net als bij Alternatief X wordt voldoende diepte van de vaargeul voor 30 jaar gegarandeerd door middel van monitoring en periodiek onderhoud.

Tenslotte wordt een kostenintensief alternatief gepresenteerd waarbij de functie-eisen worden gehaald met een minimum aan periodiek onderhoud. Alternatief Z bestaat uit een volledige sanering van alle verontreinigde sedimenten, in combinatie met het nautisch baggeren van de vaargeul en de aanleg van een zandvang van grote dimensies. Alternatief Z lijkt hiermee sterk op een combinatie van Alternatieven B en C. De milieu/ecologie eisen worden automatisch gehaald door het verwijderen van de verontreinigingen. De combinatie van het op onderhoudsdiepte brengen van de vaargeul met een grote zandvang bovenstrooms zorgt voor het behalen van de eisen van de scheepvaart. Hoogstwaarschijnlijk zal de zandvang eens in de zoveel jaren opnieuw uitgebaggerd moeten worden, om zijn functie te kunnen blijven vervullen. Alternatief Z heeft echter grote nadelen, doordat de huidige morfologische balans compleet verstoord wordt en door de astronomische uitvoeringskosten die het met zich mee brengt. Om deze redenen wordt het alternatief als lastig haalbaar beschouwd.

7.6 Conclusie

Simulaties van de ontwikkeling van de waterbodem in de periode 2007 – 2037 hebben belangrijke inzichten opgeleverd over de gevolgen van de beheersalternatieven. Toch is het op basis van deze resultaten nog niet mogelijk om een keuze te maken welk beheersalternatief het beste is. Hiervoor is zowel aanvullend onderzoek nodig naar beheersmaatregelen, als naar de waardering van functies door actoren.

Om de zes beschreven beheersalternatieven op een objectieve manier met elkaar te kunnen vergelijken, zijn vier beoordelingscriteria opgesteld. Drie criteria representeren ieder de resultaten voor een van de belangrijke functies scheepvaart, milieu/ecologie en veiligheid. Het vierde criterium kosten geeft aan hoe de kosten van de alternatieven zich tot elkaar verhouden. De resultaten worden weergegeven in Tabel 7-1. Op basis van deze resultaten kan over de beheersalternatieven worden geconcludeerd:

- Maatregelen zuiver voor scheepvaart halen per definitie een slechte score op het criterium milieu/ecologie en vice versa
- Maatregelen gericht op een geïntegreerde doelstelling zijn per definitie erg kostbaar
- Succesvol integraal beheer is technisch haalbaar, maar hiervoor dienen de hier beschreven alternatieven geoptimaliseerd te worden
- Door enkele eisen te veranderen ontstaan uitstekende kansen voor het optimaliseren en goedkoper maken van alle alternatieven

Het laatste punt verdient een verdere toelichting. De resultaten hebben naast een oordeel over beheersalternatieven tevens zeer bruikbare conclusies opgeleverd over de toegepaste beheersmaatregelen. De belangrijkste conclusies zijn:

- De gehanteerde aanpak (éénmalig nautisch baggeren) voor realisatie van de doelstellingen van de scheepvaart, blijkt niet goed gekozen. Het gebied zal met een éénmalige nautische ingreep niet 30 jaar blijven voldoen aan de scheepvaarteisen. Vermoed wordt dat als periodiek baggeren als mogelijke maatregel wordt toegelaten, de resultaten verbeteren terwijl de kosten dalen
- De zandvang werkt wel, maar niet goed genoeg. De zandvang is te klein om zonder periodiek uitbaggeren 30 jaar lang zijn functie te vervullen. Verder ontstaan er veel milieuproblemen juist door de zandvang, doordat dieperliggende benedenstroomse sedimenten zullen eroderen
- Een sanering van alleen de toplaag geeft redelijk goede resultaten, mits de vaargeul periodiek op diepte wordt gehouden

- De resultaten van de simulatie van kunstmatige afdekking zijn voornamelijk onbruikbaar, doordat een te grote korrelfractie is gekozen ter afdekking van verontreinigde lagen. In de praktijk zou deze korrelgrootte niet worden gekozen, omdat het een groot aantal bezwaren oplevert. De inzetbaarheid van deze maatregel is om deze reden nog niet voldoende onderzocht, om er een bindende conclusie aan te kunnen geven. De maatregel blijft hierdoor ondanks slechte resultaten potentieel bruikbaar.

Ondanks enkele tekortkomingen zijn de resultaten in kwalitatieve zin betrouwbaar. Voor het kwantificeren van effecten zal een ander model moeten worden gebruikt, omdat SOBEK-RE hier niet voor is ontworpen. De doelstellingen van deze studie, beschreven in Hoofdstuk 1, worden gehaald. De resultaten kunnen worden meegenomen in het uiteindelijke ontwerp van een beheerplan voor het projectgebied.

Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden enkele aanzetten gegeven voor het ontwerp van geoptimaliseerde beheersalternatieven. Vanwege de gestelde termijn is het niet mogelijk om deze alternatieven verder in dit onderzoek te betrekken. Er wordt sterk aanbevolen om de in paragraaf 7.5 beschreven Alternatieven X, Y en Z nader te onderzoeken. Dit zal tevens het antwoord opleveren of monitoring in combinatie met periodiek baggeren zo'n goede oplossing blijkt te zijn als nu vermoed wordt.

Tevens dienen de volgende aanbevelingen genoemd te worden:

- Een weging van beoordelingscriteria levert zeer veel inzicht op over de waarde van de scores. Hiervoor wordt aangeraden een interview af te nemen met een aantal belangrijke actoren met verschillende belangen
- Kunstmatige afdekking dient verder onderzocht te worden
- Als gestreefd wordt naar kwantitatieve bevindingen over volumes en locaties van te baggeren sedimenten, moet een meer geavanceerd model worden gezocht

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Zelfs voor een gebied zonder inwoners blijkt het geen gemakkelijke klus om een integraal beheerplan te ontwerpen waarin voldaan wordt aan alle idealen die voor de verschillende functies worden nagestreefd. Desondanks is in dit onderzoek bewezen dat de problematiek in de Nieuwe Merwede technisch oplosbaar is op een integrale manier. In dit hoofdstuk worden eerst de relevante conclusies op de onderzoeksvragen beschreven in paragraaf 8.1. Vervolgens worden de aanbevelingen voor het bevestigen en verbeteren van deze resultaten in paragraaf 8.2 uiteengezet.

8.1 Conclusies

Huidige situatie

De huidige problemen zijn het gevolg van de sedimentatie-gedomineerde morfologische trend vanaf 1970. De Nieuwe Merwede is veranderd van een getij- én afvoergedomineerde rivier in een louter afvoergedomineerde rivier. Op weg naar het nieuwe natuurlijke evenwicht waar de rivier naar streeft, zijn de doorstroomprofielen aanmerkelijk kleiner geworden. De vaargeul voldoet over meer dan de helft van zijn lengte niet aan de vereiste diepte. Bovendien zijn de gesedimenteerde lagen in het zomerbed tussen Kop van 't Land en de monding in het Hollandsch Diep zwaar verontreinigd. Deze lagen zijn vanaf de rivierbedding tot een diepte van 0,5 tot 4,0 m verontreinigd met klasse 3 tot 4+ materiaal.

Doelstellingen

Concrete, meetbare doelstellingen voor het beheer van de Nieuwe Merwede in de eerstvolgende 30 jaar, kunnen voor een deel worden gekozen op basis van nationale- en Europese wetgeving. Op de punten waar deze documenten te abstract blijken of nog geen concrete doelstellingen verwoorden, wordt een pragmatische oplossing gezocht. Hiervoor worden doelen gekozen op basis van een analyse van de dominante morfologische processen (voornamelijk duinvorming). De belangrijkste doelstellingen voor de jaren 2007 - 2037 zijn:

- Gegarandeerde vaarwegdiepte bij OLW is tenminste 4,95 meter over een breedte van 207 m
- In het morfologisch actieve deel van de waterbodem (50 cm) wordt maximaal tot klasse 2 verontreinigd sediment aangetroffen
- Er mag geen verontreinigd sediment (klasse 3+) blijven liggen onder zones waarbij de grootschalige ontwikkeling erosie is
- Bij MHW wordt geen waterstandsverhoging veroorzaakt door getroffen beheersmaatregelen

Voorspellingen model tot 2037

Het ontbreken van essentiële informatie over in de laatste jaren gebaggerde volumes per locatie, maken het lastig om de resultaten van het gebruikte SOBEK-RE model te valideren. Als echter een marge voor deze onzekerheden wordt meegerekend, kan de werking van het model ook niet worden afgekeurd. Omdat de lange termijn voorspelling van het model (30 jaar) kwalitatief overeenkomt met de trend die in de laatste jaren is gemeten, wordt voor dit onderzoek aangenomen dat de resultaten een goede indicatie geven van de toekomstige trends.

De autonome ontwikkeling van het gebied tot 2037 laat zien dat een morfologisch evenwicht bijna bereikt is. Alleen in het benedenstroomse deel van het projectgebied wordt meer sedimentatie verwacht. Klimaatverandering zal hier –zelfs bij extreme ontwikkelingen- weinig aan veranderen. De invloed van klimaatverandering kan worden

onderverdeeld in twee factoren: zeespiegelstijging en een stijgende frequentie en intensiteit van extreme afvoeren. Beide factoren blijken de gemiddelde bodemligging maximaal met enkele decimeters te beïnvloeden. Het gaat hier echter om uitersten, waarbij een scenario met extreem ingrijpende klimaatverandering in de komende 30 jaar is aangenomen. Waarschijnlijker is dat de gemiddelde bodemligging enkele centimeters beïnvloed zal worden. Doordat de factoren een tegengestelde invloed hebben, is het geaccumuleerde effect vrijwel verwaarloosbaar.

Conclusies beheer Nieuwe Merwede

Tijdens het ontwerpproces zijn uiteindelijk zes beheersalternatieven ontstaan. Deze verschillen van elkaar op twee vlakken: de focus welke problematiek de meeste prioriteit verdient en de wijze van aanpak van deze problematiek. Alle alternatieven worden echter op basis van dezelfde vier criteria (scheepvaart, milieu/ecologie, veiligheid en kosten) beoordeeld. Dit levert een aantal interessante conclusies op:

- Maatregelen zuiver voor scheepvaart halen per definitie een slechte score op het criterium milieu/ecologie en vice versa
- Maatregelen gericht op een geïntegreerde doelstelling zijn per definitie kostbaar
- Succesvol integraal beheer is technisch haalbaar, maar hiervoor dienen de ontworpen alternatieven verder geoptimaliseerd te worden
- De gehanteerde aanpak (éénmalig nautisch baggeren) voor realisatie van de doelstellingen van de scheepvaart, blijkt niet goed gekozen. Vermoed wordt dat de resultaten verbeteren als periodiek baggeren als mogelijke maatregel wordt toegelaten. Tevens zullen de kosten hoogstwaarschijnlijk dalen
- Een zandvang kan voor de scheepvaart weliswaar functioneel zijn, maar dient dan groot te worden gedimensioneerd. Een dergelijke zandvang zal een slechte invloed hebben op de waterkwaliteit, omdat door migratie van de put dieperliggende benedenstroomse sedimenten zullen eroderen
- Een sanering van alleen de toplaag geeft redelijk goede resultaten, omdat in het gesaneerde deel van de rivier vooral sedimentatie plaatsvindt
- De geschiktheid van kunstmatige afdekking van de toplaag als Beheersmaatregel kon niet goed onderzocht worden door een slecht gekozen aanname. De maatregel blijft hierdoor ondanks slechte resultaten potentieel bruikbaar

Deze conclusies leiden tot de stelling dat het meest kansrijke beheerplan voor de Nieuwe Merwede zal bestaan uit een combinatie van de volgende maatregelen (indien deze combinatie kostendekkend kan worden uitgevoerd):

- Baggeren van de vaargeul tot aan het onderhoudsprofiel
- Monitoring van de vaargeul waarbij periodiek wordt gebaggerd indien nieuwe nautische knelpunten ontstaan. Het is te verwachten dat dit voornamelijk zal gebeuren na hoge afvoeren
- Afgraven toplaag met een dikte van 0,5 m over de verontreinigde oppervlakte
- (Eventueel kunstmatige afdekking indien deze aanpak in verder onderzoek een positieve invloed blijkt te hebben)

Onzekerheden

Voor het bereiken van de bovenstaande conclusies zijn veel aannames gemaakt. Voor een objectief oordeel over de kwaliteit van deze conclusies worden de belangrijkste aannames hier herhaald:

- Ondanks een twijfelachtige validatie worden de resultaten van het model gebruikt als basis voor het ontwerp en de beoordeling van de beheersalternatieven
- Op basis van het ééndimensionale SOBEK-RE model worden conclusies getrokken over de morfologische ontwikkeling buiten de vaargeul. Dit gebeurt

door een aanname te maken dat de ontwikkelingen in de vaargeul representatief zijn voor de ontwikkelingen in de vaarweg

- Alle nieuwe sedimentatie wordt aangenomen schoon te zijn (Klasse 0 – 2)

8.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Met aanvullend onderzoek zouden de bevindingen uit dit rapport beter op waarde geschat kunnen worden. Tevens zouden door verder onderzoek een aantal uitgesproken vermoedens uit dit onderzoek kunnen worden bevestigd of weerlegd. De belangrijkste aanbevelingen voor verder onderzoek worden hier opgesomd:

- Een gedetailleerde monitoring van duinhoogten en bodemhoogten in bochten tijdens een normale en een extreme afvoer, zou de onzekere aannames over de dikte van de morfologisch actieve laag kunnen vervangen door gemeten data
- Een meetcampagne van de kwaliteit van verontreinigde lagen, waarbij de bodem van de verontreinigingen gezocht wordt, zou een veel betere schatting geven van volumes en exacte locaties van verontreinigde lagen
- Door bij het onderhoud en de zandwinning een betrouwbare administratie bij te houden van locaties en volumes van gebaggerd materiaal, kunnen rekenmodellen beter gecalibreerd en gevalideerd worden
- Beschikking over een snelle rekencomputer zou het mogelijk maken om een Monte Carlo simulatie uit te voeren voor een toetsing van de gevoeligheid van de conclusies op andere afvoer-tijdseries
- Kunstmatige afdekking zou als potentieel nuttige maatregel verder onderzocht moeten worden
- De hier gepresenteerde alternatieven zouden geoptimaliseerd kunnen worden door periodieke baggerwerkzaamheden mee te nemen als onderdeel van het alternatief
- Een weging van beoordelingscriteria op basis van een uitgebreide actorenanalyse zou de uiteindelijke keuze van een beheersalternatief ondersteunen

Algemene toepasbaarheid conclusies

De conclusies van paragraaf 8.1 zijn bereikt door specifiek het projectgebied van de Nieuwe Merwede te beschouwen. Het onderzoek stijgt aanzienlijk in waarde als deze conclusies ook voor andere benedenrivieren gebruikt kunnen worden, waar vergelijkbare problemen een rol spelen. Elk ander gebied wordt gekenmerkt door een andere geografie en vooral water- en sedimenthuishouding. In gebieden waar het getij een belangrijker rol speelt, evenals in gebieden waar de stroomsnelheden aanzienlijk hoger liggen dan in de Nieuwe Merwede, is het onwaarschijnlijk dat de bovenstaande conclusies toepasbaar zijn. Hoogstwaarschijnlijk zijn deze gebieden morfologisch actiever dan de Nieuwe Merwede, waardoor functie-eisen anders gekozen moeten worden. In grote lijnen kan de methodiek uit dit onderzoek echter ook voor andere rivieren gebruikt worden.

Er zijn enkele gebieden waarvan de kenmerken wel grotendeels overeenkomen met de Nieuwe Merwede, met name het Hollandsch Diep en de Amer. In het Hollandsch Diep liggen de stroomsnelheden aanzienlijk lager, maar spelen golven een grotere rol in de mogelijke resuspensie van sediment dan in de Nieuwe Merwede. Dit aspect zou verder moeten worden onderzocht. Het water van de Amer is afkomstig uit de Maas, waar een ander herverontreinigingsniveau geldt. Omdat het water hier van mindere kwaliteit is dan in de Nieuwe Merwede, wordt aangeraden eerst in te zetten op een vermindering van de lozingen van schadelijke stoffen in dit stroomgebied. Na de verwachte verbeteringen van de waterkwaliteit kan dan in de waterbodem worden ingegrepen volgens een vergelijkbare aanpak als hier gepresenteerd.

REFERENTIES

Boeken, artikelen, e-papers, rapporten

- Anthony, D.J. & Harvey, M.D., 1991. *Stage-dependent cross section adjustments in a meandering reach of Fall River, Colorado*. *Geomorphology*, v. 4, p. 187-203
- Van de Berg, J.H., 2000. *Riviermorphologie: reader Fysische Geografie*, Utrecht: Univeriteit Utrecht, Fysische Geografie
- Den Besten, P.J., 1999. *Biologische en Chemische Monitoring Pilotsaneringen in Nieuwe Merwede en Spijkerboor. Onderzoek 1992-1998*. Dordrecht: RIZA-WSC. Werkdocument nr. 99.005X
- Bokhorst, J.S., 2003. *Afstudeerverslag: A New Wind-Formulation For Hydrodynamic Models*, Delft: TU Delft, Vakgroep Waterbouwkunde en Geotechniek
- Christiansen, M., 2004. *Hochwasser, Ursachen und Konsequenzen am Beispiel der Elbe*. Kiel: Universität Kiel, Geografisches Institut
- Cornelissen, G., 1999. *Academisch Proefschrift: Mechanism and consequences of slow desorption of organic compounds from sediments*, Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, Vakgroep Milieu en Toxicologische Chemie; Lelystad: RIZA. ISBN: 9036952158
- Van Deursen, W., 2002. *Klimaatveranderingen in de Stroomgebieden van Rijn en Maas, Modelstudies met Rhineflow-3 en Meuseflow-2*, Rotterdam: Carthago Consultancy
- Fioole, A., Steenkamp, B., 2000. *Effect hoge afvoeren op de bodemontwikkeling van de Nieuwe Merwede*. Dordrecht: Rijkswaterstaat RIZA. RIZA-werkdocument 2000.200X
- Frings, R.M., 2005. *Sedimenttransport op de Merwedekop tijdens de hoogwaterperiode van 2004*. Utrecht: Universiteit Utrecht, Fysische Geografie. ISBN: 09 77079 20 3
- Haring, J., 1951. *Nieuwe Merwede, Boven Merwede en Beneden Merwede, Inhoudsveranderingen en Gebaggerde Hoeveelheden over de Periode 1920 – 1950*, 's Gravenhage: Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren. Rapport nummer DDWT-BEN-1951-09
- Haring, J., 1977. *De Geschiedenis van de Ontwikkeling van de Waterbeweging en het Profiel van de Rivieren in het Noordelijk Deltabekken over de Perioden 1870 – 1970 – 1976. Deel I – De Periode 1870 – 1970*, 's Gravenhage: Rijkswaterstaat, Directie Zuidwest, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Nota nummer 44.011.02
- Haring, J., 1978. *De Geschiedenis van de Ontwikkeling van de Waterbeweging en het Profiel van de Rivieren in het Noordelijk Deltabekken over de Perioden 1870 – 1970 – 1976. Deel II – De Periode 1970 – 1976*, 's Gravenhage: Rijkswaterstaat, Directie Zuidwest, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Nota nummer 44.011.02
- Ter Hoeven, J.H., 2002. *Afstudeerverslag: Stochastische Voorspelling van Morfologische Ontwikkelingen in de Waal. Effecten van een Nevengeul bij Nijmegen*, Delft: TUDelft, Vakgroep Waterbouwkunde en Geotechniek, Lelystad: HKV
- ICBR, 2003. *Stroomopwaarts, Balans Rijnactieprogramma*, Koblenz: Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn. ISBN: 3-935324-47-2
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers*, Genève: Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I
- Jansen, P.Ph, Van Bendegom, L., Van den Berg, J., Breusers, H.N.C., Dekker, J., De Groot, A.J., Huisman, P., Janse, J.C., Klaassen, G.J., Van der Kolff, J., Prins, A., Slootweg, H., Van der Steld, A.J., Struijk, A.J., Vreugdenhil, C.B., De Vries, M., Zanen, A., Zeper, J., Struiksma, N., Davis, S.F., Cools, P.M.C.B.M., 1979. *Principles of River Engineering*, Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij b.v. ISBN: 9065621466

- Jesse, P., & Kroekenstoel, D.F., 2001. *1-D Morfologisch Rijntakken model*, Arnhem: RIZA. Rapportnummer 2001.040
- Karssemeijer, P.L., 1996. *Milieu-effecten Pilot-sanering Nieuwe Merwede*, Arnhem: CSO, Adviesbureau voor Milieuonderzoek. Projectnummer RWS: RI-1585, Rapportnummer 95.482
- KNMI, 2006. *Klimaat in de 21e eeuw, vier scenario's voor Nederland*, De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- Kolkman, M.J., 2001. *IMOD-A, Inleiding Modelleren, Syllabus + Bijlagen: diktaat Civiele Techniek*, Enschede: Universiteit Twente, Civiele Technologie en Management
- Koomans, R.L., Oosterhoff, E., De Meijer, B.A. & Nicolaas, J.F., 2003. *Amer, Merwede, Bergse Maas. Datarapport van de Medusa-survey*. Groningen: MEDUSA Explorations BV in opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA
- De Lange, H.J., De Wit, C.C.F., Harmsen, J., Koelmans, A.A., 2006. *Nalevering van verontreinigde stoffen uit waterbodems, deelrapport A. Een literatuurstudie naar processen*. Wageningen: Alterra. Alterra rapport 1404
- Van Ledden, M., 1999. *Zand-Slib segregatie. Modelling van zand-slib structuren in de Nieuwe Merwede*, Dordrecht: RIZA. Werkdocument 98.155X
- Li, Y., Wang, Z.B., De Vriend, H.J., 2004. *Bed Level Variation in a River Bend during Floods, Proceedings 9th International Symposium on River Sedimentation, Yichang, China (2004)*, Nanjing: Hohai University
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T. Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, Van Rooyen, S., H-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., Victor, N., Dadi, Z., 2000. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on Emission Scenarios (SRES)*, Cambridge: Cambridge University Press
- Nota mobiliteit, 2004. *Hoofdstuk 5: Scheepvaart en Havens*, Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
- Maas, G.J., 2000. *Historische Geomorfologie Maas en Benedenrivieren; Oude Maas, Merwede-Hollandse Biesbosch, Afgedamde Maas en Maaskant*, Wageningen: Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra rapport 075
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (MinV&W), 2000. *Besluit Beheer Haringvlietsluizen*, Den Haag: Rijkswaterstaat. Nota nummer HK/AW 2000 8178
- Mol, A.C.S., 2003. *Afstudeerverslag: Morfologische Gevolgen van Rivierverruimende Maatregelen langs de Merweden*, Dordrecht: RIZA, Enschede: Universiteit Twente, Vakgroep Waterbeheer
- Mol, A.C.S., 2004. *Morfologische Effecten Ruimte voor de Rivier in het Benedenrivierengebied*, Enschede: Universiteit Twente, Vakgroep Waterbeheer
- Mosselman, E., Barneveld, H., De Vriend H.J., 2001. *Morfologie en Herinrichting*. Arnhem: RIZA, Delft: WL|Delft Hydraulics
- Mosselman, E., Crebas, J., Icke, J., Sloff, K., Wang, Z.B., 2005. *Bouwstenen voor nieuw morfologisch SOBEK-model van de Rijn-Maasmonding*, Delft: WL|Delft Hydraulics, in opdracht van RWS-RIZA. Rapportnummer Q4083.00
- PKB RvR, 2006. *Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivieren. Deel 3: Kabinetsstandpunt, Nota van toelichting*, Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Projectbureau Ruimte voor de Rivier

- Regionaal Ambtelijk Overleg (RAO), 2004. *Karakterisering deelstroomgebied Rijn-West, Eindrapport*.
Locatie onbekend: in opdracht van Regionaal Bestuurlijk Overleg Rijn-West
- Ribberink, J.S., Buijsrogge, R.H., 2003. *Transportverschijnselen en Morfologie: diktaat Civiele Techniek*,
Enschede: Universiteit Twente, Civiele Technologie en Management
- Rijkswaterstaat, 1984. *Evaluatie bodemontwikkeling van de Nieuwe Merwede in de periode 1971 t/m
1982*, Locatie onbekend: Directie Benedenrivieren, Afdeling Rivierkunde, Sectie Rivierkundig
Advies. Nota LTL/84-04
- Rijkswaterstaat, 1992. *Geomorfologische kartering van Haringvliet, Hollandsch Diep, Nieuwe Merwede
en Amer*, Rotterdam/Delft: Directie Zuid-Holland, Meetkundige Dienst
- Rijkswaterstaat, 1993. *Nader onderzoek waterbodem Zuidrand. Evaluatierapport Nieuwe Merwede*,
Locatie onbekend: Directie Zuid-Holland, Hoofdgroep Planvorming Water/RIZA/Resource
Analysis B.V.
- Rijkswaterstaat, 2003. *Beheerplan Nat 2003-2008*, Dordrecht: Directie Zuid-Holland
- Rijkswaterstaat, 2004. *Haringvlietsluizen op een Kier, Effecten op Natuur en Gebruiksfuncties*, Locatie
onbekend: Directie Zuid-Holland, Stuurgroep Realisatie de Kier. Nota nummer AP/2004.07
- Rijkswaterstaat, 2005-I. *Sediment in (be)weging*, Dordrecht: Directie Zuid-Holland/ RIZA, Afdeling WRE
- Rijkswaterstaat, 2005-II. *Stroomwijzer Rijn-Maasmonding, Watersysteemdeel Nieuwe Merwede,
Concept*, Rotterdam: Directie Zuid-Holland. Rapportnummer 2005-1.0
- Rijkswaterstaat, 2006-I. *Vaarwegen in Nederland*, Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV)
- Rijkswaterstaat, 2006-II. *Nieuwe Klassenindeling Waterbodems. Normen voor verspreiden en
toepassen*, Lelystad: RIZA
- Rijkswaterstaat, 2006-III. *Handleiding Sanering Waterbodems*, Lelystad: Advies en Kenniscentrum
Waterbodems (AKWA). AKWA Rapport 05.006
- Rijkswaterstaat, 2007. *Ontwerpvisie Noordwaard, het regio alternatief*, Rotterdam: Projectbureau
Noordwaard
- Van Rijn, L.C., 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*.
Amsterdam: Aqua Publications. ISBN: 90 800356 2 9
- Royal Haskoning, 2005. *Vooronderzoek sanering waterbodem Vecht. Opmaat tot voorbereidingstraject
sanering*. Nijmegen: Divisie Milieu in opdracht van Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en
Vecht. Projectnummer 9P76698.01
- Royal Haskoning, 2007. *Sanering, onderhoud en herstel Nieuwe Merwede, conceptrapport 2*, Nijmegen:
Divisie Coastal & Rivers in opdracht van Rijkswaterstaat Bouwdienst. Projectnummer
9S4738.01
- Van der Schreer, A., Gerritsen, J.B.M., 1998. *Inventarisatie Bodemkwaliteit Oevergebieden Nieuwe
Merwede*, Lelystad: RIZA. Rapport nr. 98.036
- Smeenk, B., Kraan, M., 1996. *Benedenrivieren als Hoofdtransportassen*, Delft: TNO Infrastructuur,
Transport en Regionale Ontwikkeling, in opdracht van RWS DZH. Rapportnummer: 96/NL/047
- Smienk, H., 2003. *Afstudeerverslag: Verbeteren van de Beneden en Midden-IJssel als scheepvaartweg*,
Delft: TU Delft, Sectie Waterbouwkunde en Geotechniek
- SOBEK-RE User Manual, 2004. *Manual bij SOBEK-RE versie 2.52.004*, Arnhem: RIZA, Delft: WL|Delft
Hydraulics
- Talstra, H., 2003. *Afstudeerverslag: Numerieke Modelleren van het lange-termijn Morfologische Gedrag
van Estuaria*, Delft: TU Delft, Vakgroep Waterbouwkunde en Geotechniek

Van Vuren, S., De Vriend, H.J., Ouwerkerk, S. & Kok, M., 2005. *Stochastic Modelling of the Impact of Flood Protection Measures along the River Waal in the Netherlands*, Natural Hazards (2005) 36: 81-102

De Wit, M., Buiteveld, H., Van Deursen, W., 2007. *Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas*, Arnhem: RIZA WRR. RIZA memo: WRR/2007-006

Kaarten

Waterstaatskaarten, 1^e editie, 44 Geertruidenberg - 1

Internet

- biesbosch.org: Nationaal Park de Biesbosch\Geschiedenis\Ontstaan. Gezien: 04-06-2007. Auteur: onbekend. Laatst gewijzigd: 2002. URL: http://www.biesbosch.org/detail_page.phtml?&publish=&text02=ontstaan&categories=
- delftsoftware.wldelft.nl: WL|Delft Hydraulics, *Delftsoftware/Delft3D*, Gezien: 04-09-2007. Laatst gewijzigd: onbekend. URL: http://delftsoftware.wldelft.nl/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=13&Itemid=34
- ruimtevoorderivier.nl: Programmadirectie Ruimte voor de Rivier\ PKB deel 4. Gezien 11-07-2007. Auteur: onbekend. Laatst gewijzigd: 10-07-2007. URL: http://www.ruimtevoorderivier.nl/index.asp?m_id=301
- slufter.com: Slufter\Over Slufter. Gezien: 25-10-2007. Auteur: onbekend. Laatst gewijzigd: 2006. URL: http://www.slufter.com/nl/over_slufter/index.jsp
- waterbase.nl: Rijkswaterstaat\Waterbase. Gezien: 15-06-2007. Auteur: onbekend. Laatst gewijzigd: 21-07-2006. URL: www.waterbase.nl

GERAADPLEEGDE EXPERTS

Het voltooiën van dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder contact met een aantal experts. De volgende mensen hebben met nuttige tips, uitgebreide theoretisch uitleg of bevestiging van aannames bijgedragen aan één of meerdere onderdelen van het onderzoek. Het contact was van verschillende aard: persoonlijk, telefonisch of per e-mail.

Expert	Organisatie	Onderwerp
Akkerman, ir. Gert-Jan	Royal Haskoning	Morfologische processen benedenrivieren
Berg, dr. Jan-Rik van de	Universiteit Utrecht	Morfologische processen benedenrivieren
Buitenveld, ir. Hendrik	RWS-RIZA	Aannames omtrent klimaatverandering
Buijsrogge, ing. René	Universiteit Twente	Gebruik SOBEK-RE voor morfologische berekeningen
Fioole, Aad	RWS-ZH	Morfologie Nieuwe Merwede
Frings, ir. Roy	Universiteit Utrecht	Aannames omtrent duinvorming
Gerrits, ir. Geert	Royal Haskoning	Aannames omtrent schatting diepte verontreinigingen
Koedijk, drs. Otto	RWS-ZH	Aannames omtrent ontwikkeling scheepvaart
Sieben, dr.ir. Arjan	RWS-RIZA	Aannames omtrent klimaatverandering
Sloff, dr.ir. Kees	WL Delft Hydraulics	Gebruik SOBEK-RE voor morfologische berekeningen
Spijk, ing. Arie van	RWS-ZH	Morfologie Nieuwe Merwede
Wilkens, ir. Menno	Royal Haskoning	Aannames omtrent schatting diepte verontreinigingen

BIJLAGEN

Bijlage 1	Waterstaatkundige en geologische historie	93
Bijlage 2	Ingrepen in het watersysteem sinds 1970	95
Bijlage 3	Sedimentbalans Noordelijk Deltabekken	97
Bijlage 4	Rekenvoorbeeld duinhoogten Nieuwe Merwede	98
Bijlage 5	Classificatie scheepvaarttypen	100
Bijlage 6	Kwantificering zeespiegelstijging (in SOBEK-RE)	101
Bijlage 7	Modelkeuze	103
Bijlage 8	Vergelijkingen morfologische berekeningen SOBEK-RE	105
Bijlage 9	Hydraulische en morfologische ontwikkelingen op km raai 978 rondom een hoge afvoer	108
Bijlage 10	Resultaten autonome ontwikkeling onder invloed van klimaatverandering	109
Bijlage 11	Kwalitatieve en grafische weergave beheersalternatieven	111
Bijlage 12	Topografische weergave beheersalternatieven	114
Bijlage 13	Resultaten beheersalternatieven	115
Bijlage 14	Definitie & Resultaten criterium scheepvaart	118
Bijlage 15	Definitie & Resultaten criterium milieu/ecologie	120
Bijlage 16	Definitie & Resultaten criterium veiligheid	122
Bijlage 17	Definitie & Resultaten criterium kosten	123
Bijlage 18	Werking slibvang	126

BIJLAGE 1: WATERSTAATKUNDIGE EN GEOLOGISCHE HISTORIE

Het gebied rond de Nieuwe Merwede heeft in de laatste 600 jaar vele zeer ingrijpende veranderingen gekend, zowel door menselijke als natuurlijke oorzaken. In deze paragraaf worden de belangrijkste ontwikkelingen uiteengezet. De morfologische geschiedenis geeft veel inzicht in de natuurlijke balans van het systeem en de menselijke verstoringen die hier in zijn aangebracht. Deze bijlage is gebaseerd op [Maas, 2000], [Haring, 1951], [Haring, 1977], [Haring, 1978], [RWS,2005-II] en [www.biesbosch.org].

Ontstaan Nieuwe Merwede 1421 – 1886

De St. Elisabethsvloed van 1421 heeft een compleet nieuwe beginsituatie gecreëerd waaraan het ontstaan van de Nieuwe Merwede gekoppeld kan worden. Het florerende landbouwgebied “De Grootte Waard” ging door overstromingen vanuit de zee (1421) en vanuit de Merwede (1424) verloren. Er ontstond een binnensee op de plaats waar nu de Biesbosch ligt. Een groot deel van het water uit de Merwede en de Amer mondde uit in deze binnensee. Als gevolg van sedimentatieprocessen, met name bij de riviermonding van de Merwede, ontstond een ingewikkeld systeem van geulen, kreken, eilanden en zandplaten.

Geschat wordt dat in het begin van de 18e eeuw ongeveer 35% van de afvoer van de Boven-Merwede via de Beneden-Merwede afstroomde, de rest ging door de verscheidene killen en wielen naar het zuiden. Enerzijds wilde men de afvoer hoog genoeg houden om ondieptes weg te spoelen: hiervoor werden kreken en killen afgesloten. Anderzijds vormden ijsdammen een groot overstromingsgevaar in de Beneden-Merwede. Er moest een alternatief komen dat zorgde voor genoeg afstromingcapaciteit: de noodzaak tot aanleg van de Nieuwe Merwede was geboren. In 1818 werd het eerste ontwerp van J. Blanken Jz. voorgedragen [Waterstaatskaarten, 1e editie].

In 1851 werd begonnen met de aanleg van een aantal dammen om het stroomvoerend oppervlak drastisch te beperken tot één hoofdgeul, de Nieuwe Merwede. De in deze hoofdgeul aanwezige eilanden en ondieptes werden afgegraven. In 1886 werd de Nieuwe Merwede voltooid. Om het zomerbed op diepte te houden, werden langs een groot deel van de rivier kribben aangelegd. Uit historische gegevens blijkt dat enkele jaren na aanleg van de Nieuwe Merwede een afvoerverdeling was bereikt waarbij ongeveer 55% van het rivierwater van de Boven-Merwede door de Nieuwe Merwede afgevoerd werd. Omdat de meeste andere geulen en kreken nu aan één kant dicht waren, versnelde de aanslibbing. Het zo ontstane land werd veelal ingepolderd om nieuw landbouwgebied te creëren, b.v. De Noordwaard.

Ingrepen in het watersysteem 1886 – 1970

De periode voor 1953 werd gekenmerkt door een aantal ingrijpende veranderingen in het watersysteem van de benedenrivieren, zoals het graven van de Nieuwe Waterweg en het scheiden van Maas en Waal. Tevens vonden er ingrepen plaats in het bodemprofiel van de Nieuwe Merwede. Zo werd er gebaggerd om grotere schepen doorvaart te geven en er werd zand gewonnen. De meest ingrijpende verandering kwam na de watersnoodramp van 1953: het Deltaplan. Met het Deltaplan werden verscheidene zeegaten gedicht om het totale aantal kilometers primaire zeewering te verkleinen. Een aantal van deze afsluitingen had grote invloed op de getijdenstromen en zodoende de geomorfologie van de Nieuwe Merwede. Dit waren de Grevelingendam (1965), de Volkerakdam (1969) en met name de afsluiting van het Haringvliet tussen 1958 en 1970.

De gevolgen van de aanleg van de Haringvlietdam en in mindere mate ook andere dammen waren tijdens de bouw al te merken aan waterstanden en stroomsnelheden. Toch trad er nog stroomkentering op, alleen tijdens hoge afvoeren was de stroomrichting permanent zeewaarts. De stroomsnelheden worden weergegeven in Tabel B1-1

Tabel B1-1: Maximale stroomsnelheden (m/s)* in de Nieuwe Merwede voor afsluiting van het Haringvliet bij drie verschillende afvoeren van de Rijn bij Lobith (positief = richting zee)

Plaats	Afvoer Rijn in m ³ /s					
	980		2300		9400	
	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed
Werkendam	0,80	-0,45	0,85	0,10	1,70	1,25
Anna Jacomina	0,65	-0,55	0,70	-0,40	1,15	0,35

* De bron geeft geen uitsluitel over de meetmethode van de maximale stroomsnelheid

Richting een nieuw evenwicht 1970 – 2007

In de jaren direct na de afsluiting van het Haringvliet en het Volkerak ontstond er een groot overschot aan sedimentatie in de Nieuwe Merwede. Dit kwam doordat de stroomsnelheden in het gebied drastisch waren afgenomen als gevolg van het grotendeels verdwijnen van de getijdendynamiek. De getijslag in de Nieuwe Merwede nam af van ongeveer 1,90 m voor de afsluiting tot ongeveer 0,30 m na de afsluiting. Analoog aan de verminderde getijslag trad er ook geen stroomkentering meer op. Hierdoor namen de maximale stroomsnelheden af, wat een zeer groot effect heeft op het sedimenttransport. Alleen in het benedenstroomse deel van het gebied gaat dit beeld niet direct op bij hoge afvoeren. De reden hiervoor is onduidelijk. De nieuwe stroomsnelheden worden weergegeven in Tabel B1-2.

Door deze veranderde omstandigheden ontstond kort na de afsluiting een sedimentatiefront in de Nieuwe Merwede. De rivier wil een nieuw doorstroomprofiel aannemen omdat de evenwichtssituatie is gewijzigd. Dit sedimentatiefront begon ongeveer op km raai 969 in het middendeel van de Nieuwe Merwede. Het verplaatste zich langzaam stroomafwaarts en bevindt zich nu op het Hollandsch Diep ten westen van de Moerdijkbruggen. De verondieping blijft hier min of meer hangen, omdat veel sediment wordt afgevangen door de vaargeul van de Dordtse Kil naar de havens van Moerdijk. Deze vaargeul is (onbedoeld) een sedimentvang geworden. In de geulen in het Hollandsch Diep is de sedimentatie sinds 1970 opgelopen tot meters.

Tabel B1-2: Maximale stroomsnelheden (m/s)* in de Nieuwe Merwede na afsluiting van het Haringvliet bij drie verschillende afvoeren van de Rijn bij Lobith (positief = richting zee)

Plaats	Afvoer Rijn in m ³ /s					
	980		2300		9400	
	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed
Werkendam	0,49	0,10	0,63	0,39	1,40	1,32
Kop van 't Land	0,47	0,11	0,59	0,40	1,58	1,45
Anna Jacomina	0,26	0,05	0,33	0,18	1,30	0,94

* De bron geeft geen uitsluitel over de meetmethode van de maximale stroomsnelheid

BIJLAGE 2: INGREPEN IN HET WATERSYSTEEM SINDS 1970

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van alle bekende werkzaamheden tussen 1970 en 2007 die van invloed zijn geweest op de waterbodem.

Onderhoudswerkzaamheden

In de genoemde periode bestond er een overschot aan sedimentatie. Er waren ingrepen in de waterbodem nodig om te garanderen dat de scheepvaart niet gehinderd zou worden door een vaargeul van onvoldoende diepte of breedte.

Ingrijpende werkzaamheden waren hierbij [RWS, 2005-II]:

- Het baggeren van de gehele vaargeul in 1976-1977, uitgezonderd het gedeelte bovenstrooms van de haven van Werkendam
- De aanleg van een slibvangput tussen km raai 962 en 964 in dezelfde periode. Uit onderzoek naar het functioneren van deze put is gebleken dat er zich geen slib in heeft afgezet, maar wel zand
- Tot op heden vinden er regelmatig kleinschaliger onderhoudsbaggerwerkzaamheden plaats ten behoeve van de scheepvaart. Deze worden apart beschreven

Zandwinning

In een deel van het traject wordt regelmatig zand gewonnen [RWS, 1984; RWS, 2005-II]:

- Gedurende de gehele periode (vooral 1971-1974) is zand gewonnen in de zuidelijke mond van de Nieuwe Merwede onder de rechteroever ter hoogte van km 980
- Vooral in de eerste jaren na 1970 is nabij Kop van de Oude Wiel zand gewonnen door hijsbeugelaars
- De laatste jaren (sinds 1990) vindt er beperkte zandwinning plaats in de bovenstroomse helft van de Nieuwe Merwede

Hoeveelheden

In Tabel B2 zijn de onttrokken hoeveelheden zand en baggerspecie uit de Nieuwe Merwede over de periode 1971-2004 weergegeven. Deze hoeveelheden omvatten onderhoudsbaggerwerkzaamheden en zandwinning. Tevens wordt weergegeven hoeveel materiaal er in die periode gestort is. Er is een duidelijke afname in baggervolume te zien ten opzichte van 1970 – 1978. Het gebaggerde volume stijgt licht na het jaar 2000.

Tussen 1990 en 2000 is voornamelijk gebaggerd tussen km 961 en km 968. Er is geen verdeling bekend tussen de hoeveelheden zand en slib. Bij deze getallen is het niet bekend over welke oppervlakte gebaggerd is. Om toch een beeld te geven van de orde van grootte van de baggerwerkzaamheden, wordt de gebaggerde hoeveelheid gedeeld door het oppervlak van de Nieuwe Merwede. Hiermee wordt een gebaggerde hoogte per m² zomerbed verkregen.

Overige werkzaamheden

In de zomer van 1996 is een proefsanering uitgevoerd in vak 502, een kribvak aan de linkeroever tussen km 968 en km 969. Hierbij is de bovenste 1,5 m van een pakket slib verwijderd. In totaal is 51.625 m³ slib verwijderd, van een klasse IV verontreiniging op basis van het gehalte aan zware metalen. De overgebleven sliblaag is vervolgens afgedekt met zand. [Karssemeijer, 1996]. In 1986 is de Beatrixhaven bij Werkendam aangelegd. [Rijkswaterstaat, 2005-II]

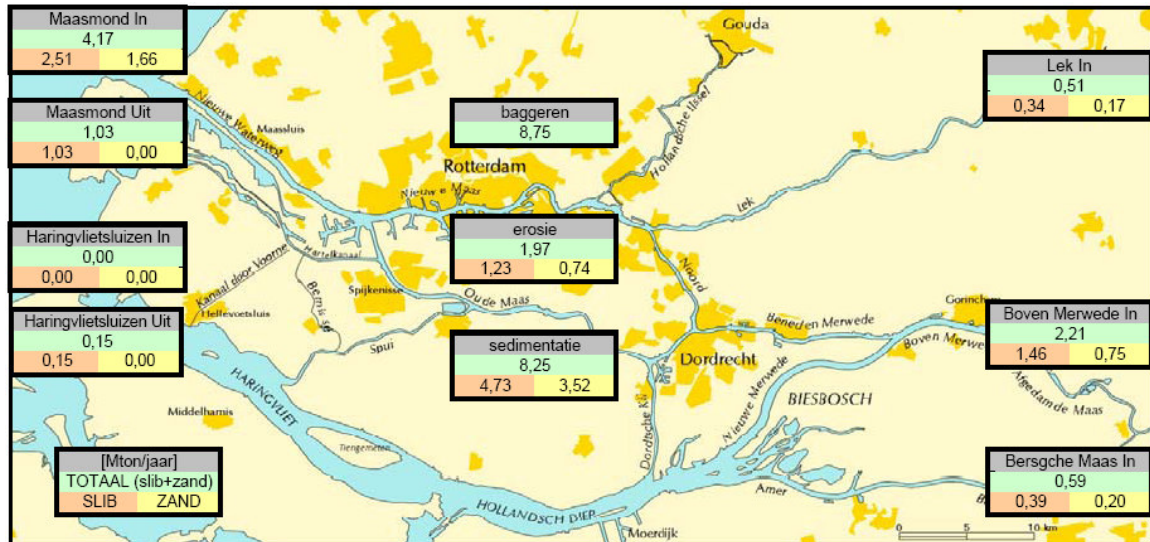
Tabel B2: Gebaggerd en gestort volume (zand + baggerspecie) Nieuwe Merwede uit bestand van RWS-ZH en Rijkswaterstaat, 2005-I en 2005-II (N.B.= Niet Bekend)

Jaar	Totaal gebaggerd (m ³)	Totaal gebaggerd per m ² zomerbed (cm)*	Totaal gestort (m ³)	Netto Gebaggerd (m ³)
1971	1.100.902	12.7	N.B.	N.B.
1972	2.153.245	24.7	N.B.	N.B.
1973	421.622	4.8	43.014	378.608
1974	1.269	0.0	25.693	-24.424
1975	104.048	1.2	26.764	77.284
1976	1.141.380	13.1	1.406	1.139.974
1977	757.212	8.7	4.578	752.634
1978	355.104	4.1	34.013	321.091
1979	113.012	1.3	29.956	83.056
1980	180.588	2.1	13.708	166.88
1981	184.278	2.1	12.626	171.652
1982	176.304	2.0	N.B.	N.B.
1983	159.456	1.8	N.B.	N.B.
1984	163.924	1.9	N.B.	N.B.
1985	180.757	2.1	N.B.	N.B.
1986	204.593	2.4	N.B.	N.B.
1987	197.803	2.3	N.B.	N.B.
1988	225.274	2.6	N.B.	N.B.
1989	177.202	2.0	N.B.	N.B.
1990	173.412	2.0	N.B.	N.B.
1991	68.849	0.8	N.B.	N.B.
1992	8.912	0.1	N.B.	N.B.
1993	0	0.0	0	0
1994	11.866	0.1	0	11.866
1995	91.415	1.1	16.17	75.245
1996	83.353	1.0	0	83.353
1997	59.547	0.7	0	59.547
1998	82.094	0.9	1.694	80.4
1999	129.745	1.5	0	129.745
2000	206.736	2.4	N.B.	N.B.
2001	184.467	2.1	N.B.	N.B.
2002	192.451	2.2	N.B.	N.B.
2003	219.076	2.5	N.B.	N.B.
2004	237.532	2.7	N.B.	N.B.

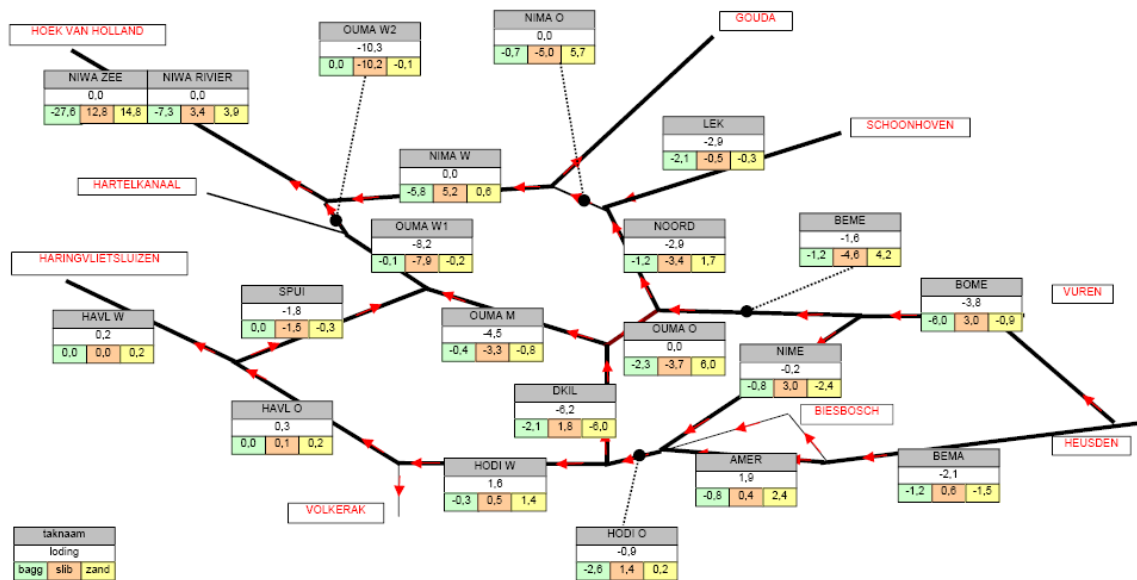
* Oppervlakte Nieuwe Merwede: 9.157.000 m²

BIJLAGE 3: SEDIMENTBALANS NOORDELIJK DELTABEKKEN

In Figuur B3-0-1 is de sedimentbalans van het gehele benedenrivierengebied gepresenteerd [RWS, 2005-1]. De gemiddelde verandering van de bodemhoogte per riviertak is weergegeven in Figuur B3-0-2. Deze bodemhoogteveranderingen zijn uitgesplitst in baggerwerkzaamheden, erosie/sedimentatie van zand en erosie/sedimentatie van slib.



Figuur B3-0-1: Sedimentbalans Noordelijk Deltabekken 1990-2000 (Mton/jaar) [RWS, 2005-II]



Figuur B3-0-2: Gemiddelde bodemverandering per riviertak in de periode 1990-2000 (cm/jaar) [RWS, 2005-II]

BIJLAGE 4: REKENVOORBEELD DUINHOOGTEN NIEUWE MERWEDE

In deze bijlage wordt aangegeven hoe de waarde van maximale gemiddelde duinontwikkeling Δd is berekend. Er is uitgegaan van maatgevende omstandigheden in de jaren '90, toen de maatgevende afvoer bij Lobith was vastgesteld op 15 000 m³/s.

Gebruikte vergelijkingen [Van Rijn, 1993]:

$$\Delta d = 0.11h \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} (1 - e^{-0.5T}) (25 - T) \quad (\text{B4.1})$$

$$T = (\tau'_{b,c} - \tau_{b,cr}) / \tau_{b,cr} \quad (\text{B4.2})$$

$$\tau'_{b,c} = \rho g \left(\frac{\bar{u}}{C'} \right)^2 \quad (\text{B4.3})$$

$$C' = 18 \log \left(\frac{12h}{3d_{90}} \right) \quad (\text{B4.4})$$

$$\tau_{b,cr} = [(\rho_s - \rho)gd_{50}] \theta_{cr} \quad (\text{B4.5})$$

$$D_* = \left[\frac{(s-1)g}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} d_{50} \quad (\text{B4.6})$$

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (\text{B4.7})$$

waarin:

Δd	= gemiddelde duinhoogte [m]
h	= waterdiepte tussen waterspiegel en gemiddeld bodemniveau [m]
d_{50}	= mediane korreldiameter [m]
d_{90}	= korreldiameter fractie 90% kleiner [m]
ρ	= soortelijk gewicht water [kg/m ³]
ρ_s	= soortelijk gewicht sediment [kg/m ³]
g	= zwaartekrachtsversnelling [m/s ²]
\bar{u}	= hoogtegemiddelde snelheid [m/s]
C'	= korrelgerelateerde Chézy-coëfficiënt [m ^{1/2} /s]
$\tau'_{b,c}$	= korrelgerelateerde bodemschuifspanning vor stroming [N/m ²]
$\tau_{b,cr}$	= kritische bodemschuifspanning [N/m ²]
θ_{cr}	= mobiliteitsparameter [-]

- D_* = korrelparameter [-]
 N = turbulente viscositeit [m^2/s]
 s = relatieve dichtheid sediment [-]

Met behulp van deze vergelijkingen is voor het bovenstroomse deel (Werkendam) en het benedenstroomse deel (Deeneplaat) van de Nieuwe Merwede berekend hoe hoog Δd wordt. Omdat een volledige weergave van de berekening erg omvangrijk is, worden de variabelen en bronnen weergegeven in de onderstaande Tabel B4-1. De uitkomsten van de bovenstaande vergelijkingen staan weergegeven in Tabel B4-2. θ_{cr} is berekend met verschillende vergelijkingen uit de Shields-curve, afhankelijk van D_* [Van Rijn, 1993; Ribberink & Buijsrogge, 2003].

Tabel B4-1: Variabelen

Variabele	d_{50}	d_{90}	h	ρ	ρ_s	g	\bar{u}	v
Eenheid	mm	mm	m	kg/m ³	kg/m ³	m/s ²	m/s	m ² /s
Bron	a., b.	a.	b., c.	d., e.	d., e.	d., e.	c.	d., e.
Werkendam	0.45	0.8	8.1	1000	2650	9.81	1.5	1*10 ⁻⁶
Deeneplaat	0.1	0.4	7.7	1000	2650	9.81	1.3	1*10 ⁻⁶

Tabel B4-2: Parameters

Parameter	s	D_*	Θ_{cr}	$\tau_{b,cr}$	C'	$\tau'_{b,cr}$	T	Δd
Eenheid	-	-	-	N/m ²	$\sqrt{m/s}$	N/m ²	-	m
Werkendam	2.65	11.83	0.031	0.228	82.9	3.21	13.05	0.56
Deeneplaat	2.65	2.53	0.095	0.154	87.9	2.14	12.95	0.35

Bronnen:

- [Van Ledden, 1999]
- SOBEK-RE NDB-model [Mol, 2004]
- [RWS, 2005-II]
- [Van Rijn, 1993]
- [Ribberink & Buijsrogge, 2003]

BIJLAGE 5: CLASSIFICATIE SCHEEPVAARTTYPEN

KLASSE-INDELING VOLGENS CEMT 1992

1 Klasse	Standardschepen waarop de classificatie is gebaseerd						Duwstel					
	Type	Lengte	Breedte	Diepgang	Tonnage	Samenstelling	Lengte	Breedte	Diepgang	Tonnage	Hoogte	
0 *)	Kleinere vaartuigen en recreatievaart	m variërend	m variërend	m variërend	T <250		m	m	m	T	m variërend	
I *)	Spits	38,50	5,05	1,80 - 2,20	250 - 400						4,00	
II *)	Kempenaar	50 - 55	6,60	2,50	400 - 650						4,00 - 5,00	
III *)	Dortmund - Femskanaalschip	67 - 80	8,20	2,50	650 - 1000						4,00 - 5,00 (**)	
IV	Rijn - Hernekanaalschip	80 - 85	9,50	2,50	1000 - 1500		85	9,50	2,50 - 2,80	1250 - 1450	5,25 of 7,00 (**)	
Va	Groot Rijnship	95 - 110	11,40	2,50 - 2,80	1500 - 3000		95 - 110	11,40	2,50 - 4,50	1600 - 3000	5,25 of 7,00 of 9,10 (**)	
Vb							172 - 185	11,40	2,50 - 4,50	3200 - 6000		
Vla							95 - 110	22,80	2,50 - 4,50	3200 - 6000	7,00 of 9,10 (**)	
Vlb		140	15,00	3,90			185 - 195	22,80	2,50 - 4,50	6400 - 12000	7,00 of 9,10 (**)	
Vlc							270 - 280	22,80	2,50 - 4,50	9600 - 18000	9,10 (**)	
Vll							193 - 200	33,00 - 34,20	2,50 - 4,50	9600 - 18000		
Vlll							285 - 195	33,00 34,20	2,50 - 4,50	14500 - 27000	9,10 (**)	

bron: New Classification of Inland Waterways 1992. Van conferentie van Europese ministers van verkeer (CEMT).

BIJLAGE 6: KWANTIFICERING ZEEPIEGELSTIJGING (IN SOBEK-RE)

Inleiding

Voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden aan de benedenstroomse kant van het NDB is gebruik gemaakt van de KNMI'06 klimaatscenario's [KNMI, 2006] en de PKB RvR [2006]. Deze geven weer tussen welke minima en maxima verwacht kan worden dat de zeespiegel tot 2050 en 2100 stijgt. De achterliggende rapporten worden beschreven in paragraaf 4.3. Overigens hebben de vier genoemde scenario's (G, G+, W en W+) geen directe relatie met de voorspelde zeespiegelstijging. Deze heeft een eigen bandbreedte, onafhankelijk van hoe het klimaat in West Europa verder verandert.

Kwantificering

De spreiding tussen de lage en hoge ontwikkeling is groot. In de klimaatscenario's wordt gesproken van een verwachting dat de zeespiegel stijgt met:

- Tussen +15 en +35 cm tussen 1990 en 2050
- Tussen +35 en +85 cm tussen 1990 en 2100

In de PKB RvR wordt een verwachting weergegeven, waarmee vanaf 2015 minimaal rekening mee dient te worden gehouden:

- +60 cm tussen 2000 en 2100

Deze getallen zijn echter niet bruikbaar in het SOBEK-RE model, omdat de tijdstappen te groot zijn. Het gebruikte model zal "slechts" lopen tot 2037, dus is een tijdstap van maximaal 10 jaar vereist. Er kan worden aangenomen dat de stijging in het begin minder groot is dan later (zie paragraaf 4.3.3). Om nu een globaal beeld te verkrijgen van de stijging per decade, zijn de bovenstaande getallen in Excel uitgezet in een grafiek en is vervolgens een trendline toegevoegd. Met behulp van de wiskundige vergelijking die deze trendline beschrijft, kon een inschatting van de stijging per decade gemaakt worden voor de drie bovengenoemde scenario's. Deze stijgingen staan in tabelvorm weergegeven in Tabel B6-1.

Verwerking in SOBEK-RE

De benedenstroomse randvoorwaarde wordt in SOBEK-RE ingevoerd middels een tabel, waarin per uur staat weergegeven welke hoogte de zeespiegel op dat moment heeft. Aanvankelijk werd geprobeerd om de zeespiegel vloeiend te laten stijgen. Dat wil zeggen dat hoewel de getijgolf behouden blijft in de data, de zeespiegel elke dag een klein beetje hoger wordt. Dit leverde een tabel op met 30 jaar uurwaarden, een tabel van ongeveer 263 000 regels. Bij het invoeren van deze tabel in SOBEK-RE, crashte het programma herhaaldelijk.

Omdat niet verwacht wordt dat de precisie van de invoer van de zeespiegel van doorslaggevende invloed is op de resultaten van het onderzoek, is besloten om te werken met een blok-invoer. Hierbij wordt de zeespiegel elke tien jaar met een bepaalde vaste waarde verhoogd. Deze blok-waarden zijn bepaald aan de hand van Tabel B6-1 en vertegenwoordigen twee scenario's: een relatief kleine zeespiegelstijging en een relatief grote zeespiegelstijging. De waarden staan weergegeven in Tabel B6-2.

Tabel B6-1: Verwachte stijging zeespiegel volgens [KNMI, 2006] en [PKB RvR, 2006]

Jaar	Gemeten stijging (mm/jaar)	Voorspelde stijging					
		KNMI laag (mm/jaar)	Cumulatief (cm)	KNMI hoog (mm/jaar)	Cumulatief (cm)	PKB RvR (mm/jaar)	Cumulatief (cm)
1990-2007	3						
2007-2017		2,1	2,1	5,9	5,9	3,2	3,2
2017-2027		2,6	4,7	6,7	12,6	3,7	6,9
2027-2037		3,2	7,9	7,5	20,1	4,3	11,2
2037-2047		3,7	11,6	8,3	28,4	4,8	16,0
2047-2057		4,2	15,8	9,1	37,5	5,3	21,3
Totale stijging 1990-2100			35 cm		85 cm		60 cm

Tabel B6-2: Toegepaste verhoging van de zeespiegel in SOBEK-RE

Jaar	Gemodelleerde stijging laag (cm)	Gemodelleerde stijging hoog (cm)
2007	0	3
2017	4	10
2027	6	22
Totaal 30 jaar	0,10 cm	35 cm

Keuze weergave zeespiegelstijging in SOBEK-RE

Omdat de tijd beperkt is en de duur van het uitvoeren van de modelruns lang (3 werkdagen), is er voor gekozen alleen met de grote zeespiegelstijging verder te rekenen. De autonome situatie, zonder klimatologische aanpassingen, wordt ook voor elk alternatief uitgerekend. Hierin is helemaal geen rekening gehouden met een zeespiegelstijging. Omdat een van de doelen van deze studie is om de extremen te bepalen waarbinnen de toekomstige werkelijkheid zich zal bevinden, is de grote zeespiegelstijging de meest logische keuze. Nu ligt de kleine zeespiegelstijging tussen de autonome situatie en de grote zeespiegelstijging in en wordt zodoende ook meegerekend.

BIJLAGE 7: MODELKEUZE

Inleiding

In de voorbereidende fase van het onderzoek moest een model worden gekozen, met een bijbehorende schematisatie van het projectgebied, waarmee de onderzoeksvragen afdoende beantwoord konden worden. Vooral voor onderzoeksvraag 4: “Welke consequenties hebben de alternatieven?” voegt een model veel kennis toe. Deze complexe vraag kan zonder model niet voldoende beantwoord worden. Verdere ontwikkeling van het model of van de gebruikte schematisatie is niet een doel op zich.

De belangrijkste kwaliteitseis aan het model is dat op basis van een aantal fysische parameters berekend kan worden hoe de vorm van de rivierbodem zich ontwikkelt in de loop der jaren. Hiervoor is een schematisatie van het projectgebied in ruime zin nodig, waar aanpassingen in gemaakt kunnen worden om de invloed van veranderende randvoorwaarden en alternatieve beheerplannen te testen. Ruime zin betekent hierin dat veranderingen binnen het projectgebied niet meer merkbaar zijn op de grenzen van de schematisatie. Het systeem als geheel verandert niet door de aanpassingen in het projectgebied.

Hoewel er meer modellen gebruikt zouden kunnen worden, zijn slechts drie modellen tegen elkaar afgewogen. Dit zijn SOBEK-RE, WAQUA en Delft3D. Het zijn alledrie in Nederland ontwikkelde modellen, wat de kans vergroot dat er reeds schematisaties van het projectgebied gemaakt zijn. SOBEK-RE is reeds in Hoofdstuk 5.2 beschreven. Hier volgt nog een korte beschrijving van WAQUA en Delft3D.

WAQUA

Dit model is ontwikkeld voor berekening van 2-dimensionale hydrodynamische processen en geeft resultaten zoals waterhoogten, stromingen en sedimenttransport. In het WAQUA model worden de ondiepwatervergelijkingen voor continuïteit en momentum opgelost [Bokhorst, 2003]. Het wordt onder andere gebruikt voor berekening van nautisch onderhoud aan waterwegen, een toepassing die goed aansluit op deze studie. Het model heeft een hoog detailniveau, waardoor ook een hoog detailniveau benodigd is als invoer. Om deze reden wordt WAQUA voor morfologische toepassingen vooral toegepast op relatief kleine projectgebieden, zoals een nevengeul of een uiterwaard. Er moet echter met een add-in worden gewerkt om morfologie te berekenen. Door de complexiteit van tweedimensionale morfologische berekeningen kan alleen over korte perioden gerekend worden. Voor morfologische berekeningen over vele jaren zoals in deze studie worden gedaan, is het model niet geschikt.

Delft3D

Dit pakket is ontwikkeld voor modellering van 2- en 3-dimensionale processen in oppervlaktewater. Het biedt goede mogelijkheden voor het berekenen van sedimenttransport en morfologie en hun interactie. Het is een model dat de zogenaamde “driedimensionale ondiepwatervergelijkingen” oplost: de vergelijkingen van Navier-Stokes voor een situatie waarbij in horizontale richting gerekend wordt met een lange-golfmodel en verticaal met meerdere lagen vloeistof. Het pakket biedt de mogelijkheid om zowel stroming als morfologie – en hun onderlinge interactie – in een model weer te geven [Talstra, 2003]. Invoer van schematisatie is mogelijk met behulp van een GIS-omgeving, evenals presentatie van de resultaten [delftsoftware.wldelft.nl]. Het model wordt o.a. gebruikt voor morfologische berekeningen over vele jaren. Door het twee- of driedimensionale karakter van het model is er echter zeer veel data en rekentijd nodig voor een goede weergave van ontwikkelingen in het projectgebied.

Keuze en motivatie

Hoewel de drie modellen allen analysemogelijkheden bieden, valt WAQUA af omdat het strikt genomen geen morfologisch model is. Delft3D heeft de meeste potentie voor het genereren van gedetailleerde resultaten. Hiervoor is echter een schematisatie van het projectgebied nodig. SOBEK-RE is weliswaar een ééndimensionaal model, maar er is een voltooide en gevalideerde schematisatie van het projectgebied in ruime zin aanwezig. Dit speelt een sleutelrol in de afweging van de keuze voor het model. Als er gekozen wordt voor een model waarvoor de gebiedsschematisatie nog gemaakt, gekalibreerd en gevalideerd moet worden, zal het accent van het onderzoek veranderen vanwege de beperkte tijd die voor het onderzoek aanwezig is. Het doel van dit onderzoek kan behaald worden met gebruik van de SOBEK-RE schematisatie van het NDB [Mol, 2004]. Hierbij mag echter niet vergeten worden dat de resultaten alleen in grote lijnen valide zijn, omdat er geen onderscheid in lengte- en breedterichtingen aanwezig is. In Hoofdstuk 5.4 worden de validatie, bruikbaarheid en onzekerheid van de modelresultaten besproken.

BIJLAGE 8: VERGELIJKINGEN MORFOLOGISCHE BEREKENINGEN SOBEK-RE**1. Waterbeweging**

De waterbeweging wordt berekend met behulp van de Saint-Venant vergelijkingen: de continuïteitsvergelijking en de bewegingsvergelijking voor water. Deze luiden:

Continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial A_t}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (5.1)$$

waarin:

- A_t = totale oppervlakte dwarsdoorsnede [m^2]
- t = tijd [s]
- Q = debiet [m^3/s]
- x = afstand [m]
- q_{lat} = lateraal debiet per eenheid lengte [m^2/s]

Bewegingsvergelijking:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha_B \frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} + g A_f (\eta + \xi Q |Q|) + \frac{g}{\rho_w} \frac{\partial \rho}{\partial x} A_{lm} = 0 \quad (5.2)$$

1 2 3 4 5 6 7

waarin:

- 1 = versnellingsterm
- 2 = convectieterm
- 3 = verhangterm
- 4 = bodemfrictieterm,
- 5 = windfrictieterm
- 6 = extra vervalterm,
- 7 = dichtheidsterm.

En:

- Q = debiet [m^3/s]
- t = tijd [s]
- x = afstand [m]
- α_B = constante van Boussinesq [-]
- A_f = stroomvoerende dwarsdoorsnede [m^2]
- q_{lat} = lateraal debiet [m^2/s]
- g = zwaartekrachtsversnelling [m/s^2]
- h = waterstand (t.o.v. referentieniveau) [m]
- C = Chézy coëfficiënt [$m^{1/2}/s$]
- R = hydraulische straal [m]
- W_f = stroomvoerende breedte [m]
- τ_{wi} = schuifspanning t.g.v. wind [N/m^2]
- ρ_w = dichtheid water [kg/m^3]
- η = eerste additionele weerstandscoefficiënt [-]
- ξ = tweede additionele weerstandscoefficiënt [-]
- A_{lm} = eerste orde moment dwarsdoorsnede [m^3]

2. Sedimenttransport

In de berekening wordt gewerkt met verschillende riviersecties: de hoofdgeul, de kribvakken, de stroomvoerende uiterwaarden en het waterbergende deel. Al het sedimenttransport en alle morfologische veranderingen vinden plaats in de hoofdgeul; er is dan ook geen uitwisseling van sediment met andere rivierdelen. Het sedimenttransport wordt berekend met vergelijkingen 5.3 t/m 5.5.

$$S = W_s c_f s \quad (5.3)$$

waarin:

- S = sedimenttransport [m^3/s]
 W_s = sedimenttransporterende breedte [m]
 c_f = calibratiefactor transportformule [-]
 s = sedimenttransport per eenheid van breedte [m^2/s]

De calibratiefactor c_f wordt experimenteel bepaald zodat de uitkomsten van het model beter overeenkomen met in het veld gemeten waarden. Deze factor standaard op 1. In dit onderzoek zijn de waarden gebruikt uit het onderzoek van Mol [2003]. Deze worden aangegeven in Tabel B8.

Tabel B8: Gehanteerde kalibratiefactoren c_f [Mol, 2004]

Riviertak	Morfologische kalibratiefactor c_f
Amer	1.2
Bergsche Maas	1.2
Getijmaas	1.2
Lek	0.7
Waal	0.8
Boven Merwede	0.8
Beneden Merwede	0.8
Nieuwe Merwede	0.8
Overige takken	1.0

Het sedimenttransport s wordt berekend met behulp van een door de gebruiker te kiezen formule. Mol [2003] heeft bepaald dat op de Merwedens de transportformule van Engelund & Hansen (1967) het beste voldoet, omdat de korrelgroottes van het bodemmateriaal vrijwel overal in de goede categorie vallen. Ook heeft hij een testrun uitgevoerd, waaruit bleek dat het sedimenttransport berekend met Engelund & Hansen beter voldoet dan dat berekend met Meyer-Peter-Müller.

De gebruikte transportformule (Engelund & Hansen, 1967) luidt:

$$s = \frac{0,05u_m^5}{(1-\varepsilon)\sqrt{g}C^3\Delta_d^2D_{50}} \quad (5.4)$$

met:

- u_m = gemiddelde stroomsnelheid in de hoofdgeul [m/s]
 C = Chézy coëfficiënt [$m^{1/2}/s$]
 ε = porositeit bodemmateriaal [-]
 g = zwaartekrachtsversnelling [m/s^2]
 D_{50} = korreldiameter waarbij 50% van het materiaal fijner is [m]
 Δ_d = relatieve dichtheid sediment [-]

Deze laatste term is als volgt gedefinieerd:

$$\Delta_d = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \quad (5.5)$$

waarin:

$$\begin{aligned} \rho_s &= \text{dichtheid van sediment [kg/m}^3\text{]} \\ \rho &= \text{dichtheid van water [kg/m}^3\text{]} \end{aligned}$$

3. Morfologie

Op basis van het verschil in sedimenttransport tussen twee locaties kan de morfologische verandering numeriek worden bepaald met de continuïteitsvergelijking voor bodemmateriaal:

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} - \frac{\partial S}{\partial x} = -s_{lat} \quad (5.6)$$

waarin:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{sedimenttransporterende dwarsdoorsnede [m}^2\text{]} \\ S &= \text{sedimenttransport door de dwarsdoorsnede inclusief porievolumen [m}^3\text{/s]} \\ s_{lat} &= \text{laterale sedimenttoevoer inclusief porievolumen [m}^2\text{/s]} \end{aligned}$$

Met de verandering in dwarsdoorsnede δA_s kan de nieuwe stroomvoerende breedte worden berekend. De stroomvoerende breedte is per definitie even groot of groter dan de sedimenttransporterende breedte. Hiermee is de input voor stap 1 weer geleverd en kan de volgende tijdsstap worden berekend.

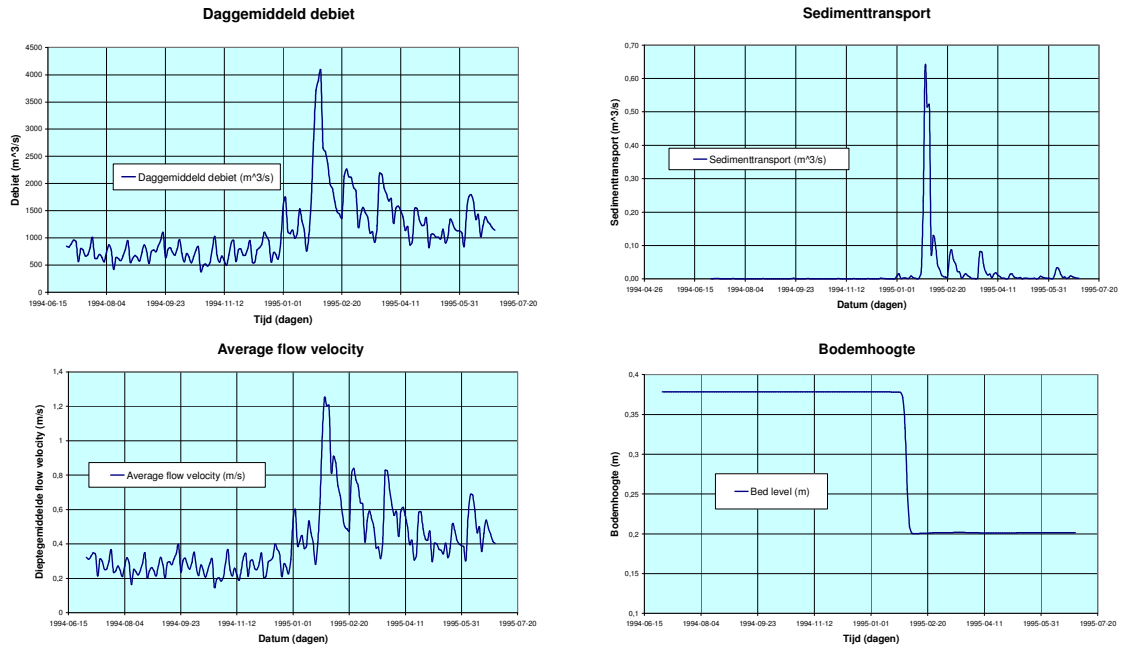
Referenties

SOBEK-RE User Manual, 2004. *Manual bij SOBEK-RE versie 2.52.004*, Arnhem: RIZA, Delft: WL|Delft Hydraulics

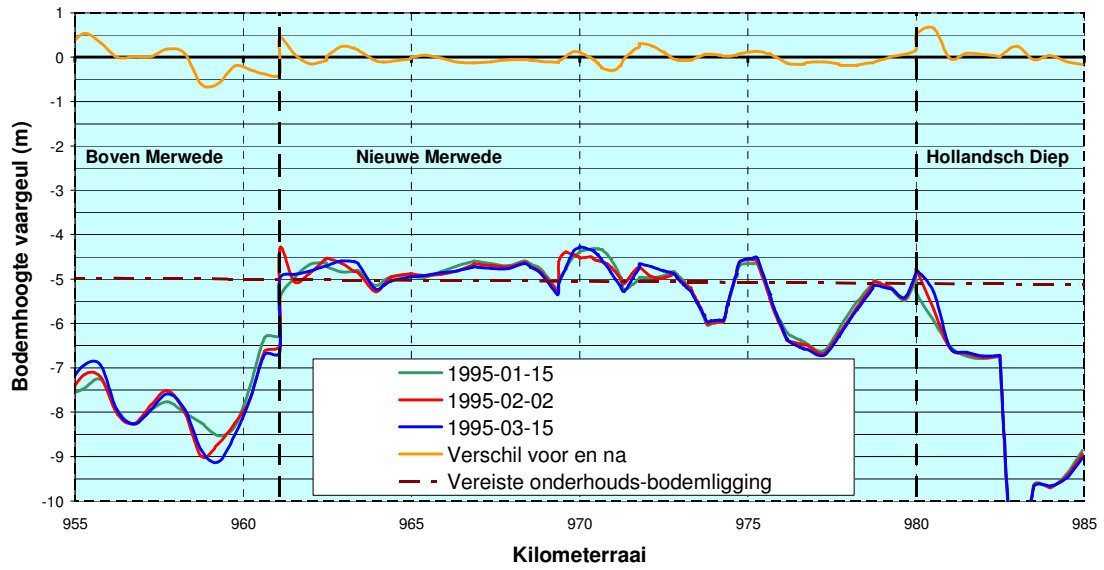
SOBEK-RE Technical Reference Flow, 2004. *Flow Technical Reference bij SOBEK-RE versie 2.52.004*, Arnhem: RIZA, Delft: WL|Delft Hydraulics

SOBEK-RE Technical Reference Morphology, 2004. *Morphology and Sediment Transport Technical Reference bij SOBEK-RE versie 2.52.004*, Arnhem: RIZA, Delft: WL|Delft Hydraulics

BIJLAGE 9: ONTWIKKELING OP KM 978 RONDOM EEN HOGE RIJNAFVOER



Verandering bodem als gevolg van hoge afvoer

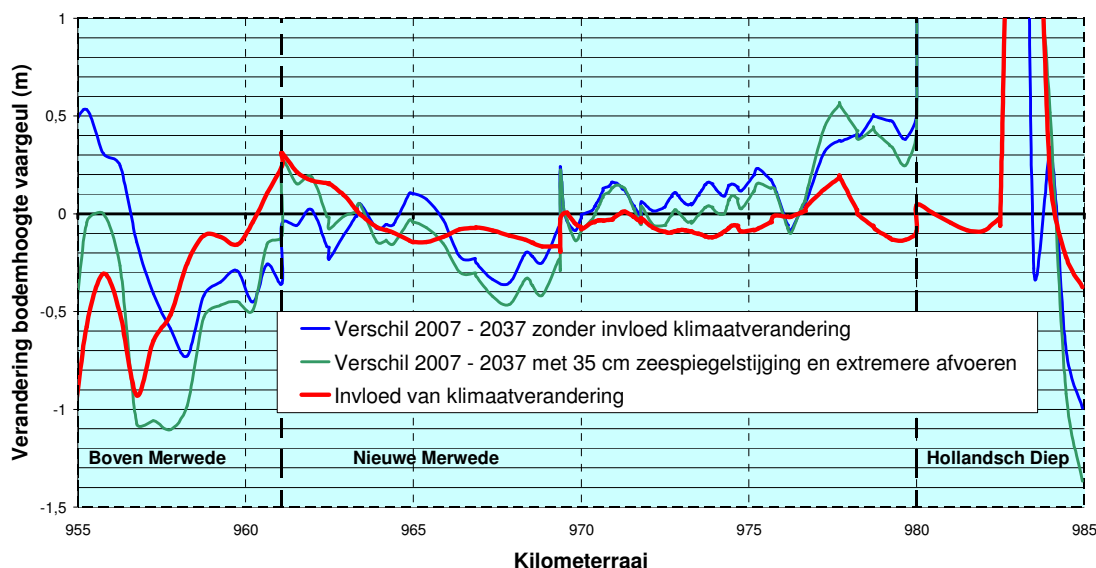


BIJLAGE 10: RESULTATEN AUTONOME ONTWIKKELING ONDER INVLOED VAN KLIMAATVERANDERING

In Figuur B10-1 is te zien dat de bodemhoogte van de Nieuwe Merwede zeer ongevoelig is voor de invloed van klimaatverandering. Na 30 jaar bedraagt het verschil tussen de gemiddelde bodemhoogte mét en zonder klimaatverandering ongeveer 10 cm (rode lijn). Gezien de onzekerheden in het model is dit een verwaarloosbaar klein verschil. Er is geen trend te ontdekken in de invloed van klimaatverandering; er wordt een onregelmatig patroon van sedimentatie en erosie waargenomen.

De gekozen instellingen voor de weergave van zeespiegelstijging en extremere afvoeren corresponderen met de meest extreme klimaatscenario's van het KNMI [KNMI, 2006]. Waarschijnlijk zal de werkelijke invloed van klimaatverandering nog kleiner zijn. Een kanttekening die hierbij moet worden gemaakt, is dat de invloed van zeespiegelstijging en extremere afvoeren elkaar tegenwerken. Als één van deze effecten sterker optreedt dan de andere, zal klimaatverandering hoogstwaarschijnlijk wel een merkbare invloed hebben om de bodemhoogten. Dit wordt verduidelijkt in de Figuren B10-2 en B10-3.

Invloed klimaatverandering na 30 jaar

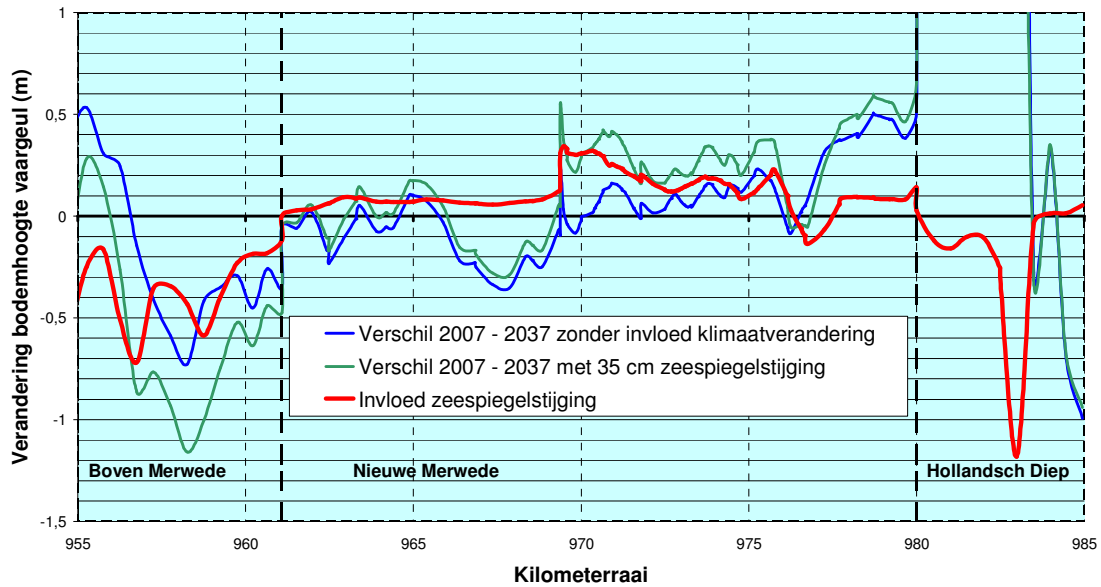


Figuur B10-1 Gecombineerde invloed zeespiegelstijging en extremere afvoeren

Afzonderlijke invloed zeespiegelstijging

In Figuur B10-2 is te zien dat hoewel de invloed van zeespiegelstijging op de bodemhoogten van de Nieuwe Merwede klein is, een duidelijke trend van sedimentatie kan worden waargenomen. De bodemhoogten mét zeespiegelstijging liggen in 2037 gemiddeld 10 tot 20 cm hoger dan in de autonome situatie. Dit effect is niet verrassend, omdat de waterspiegel in de Nieuwe Merwede door zeespiegelstijging stijgt en gemiddelde stroomsnelheid daalt.

Invloed zeespiegelstijging na 30 jaar

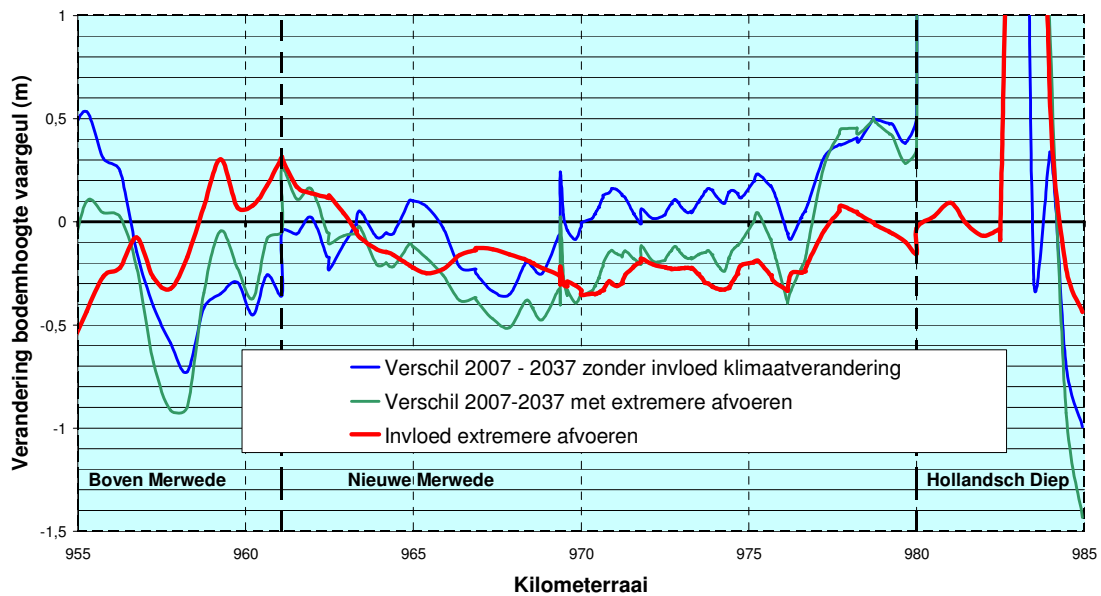


Figuur B10-2: Invloed van zeespiegelstijging ceteris paribus

Afzonderlijke invloed extremere afvoeren

In Figuur B10-3 is te zien dat ook bij de invloed van extremere afvoeren op de bodemhoogten van de Nieuwe Merwede een duidelijke trend kan worden waargenomen. Hoewel de trend minder uniform is dan die bij zeespiegelstijging, wordt nu juist een algehele erosie geconstateerd. Alleen in de buurt van de splitsing Merwedekop en bij de samenvloeiing met de Amer is het beeld wisselvalliger. De bodemhoogten mét extremere afvoeren liggen in 2037 gemiddeld 10 tot 30 cm lager dan in de autonome situatie.

Invloed extremere afvoeren na 30 jaar

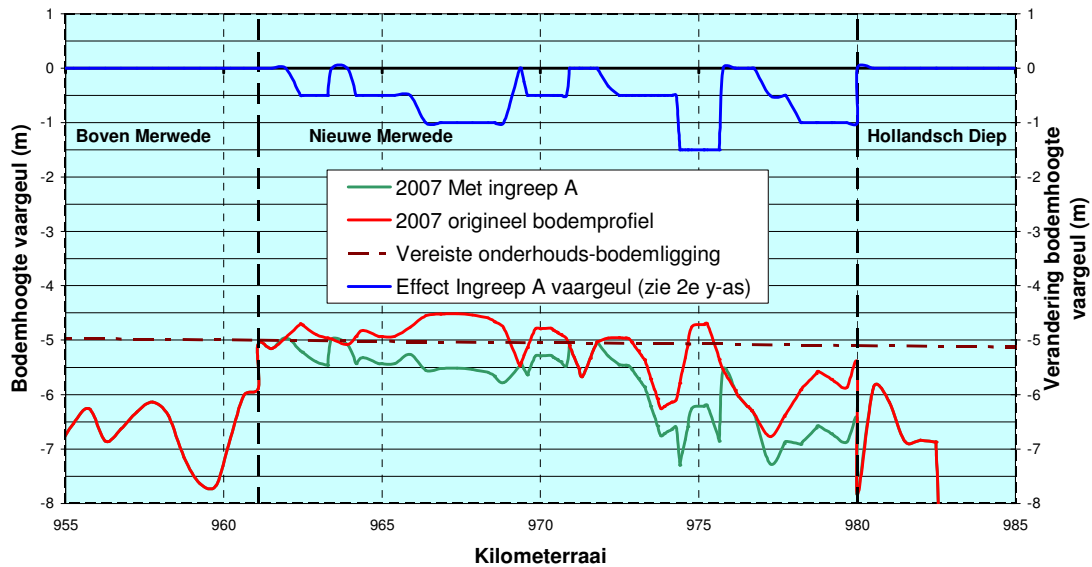


Figuur B10-3: Invloed van extremere afvoeren ceteris paribus

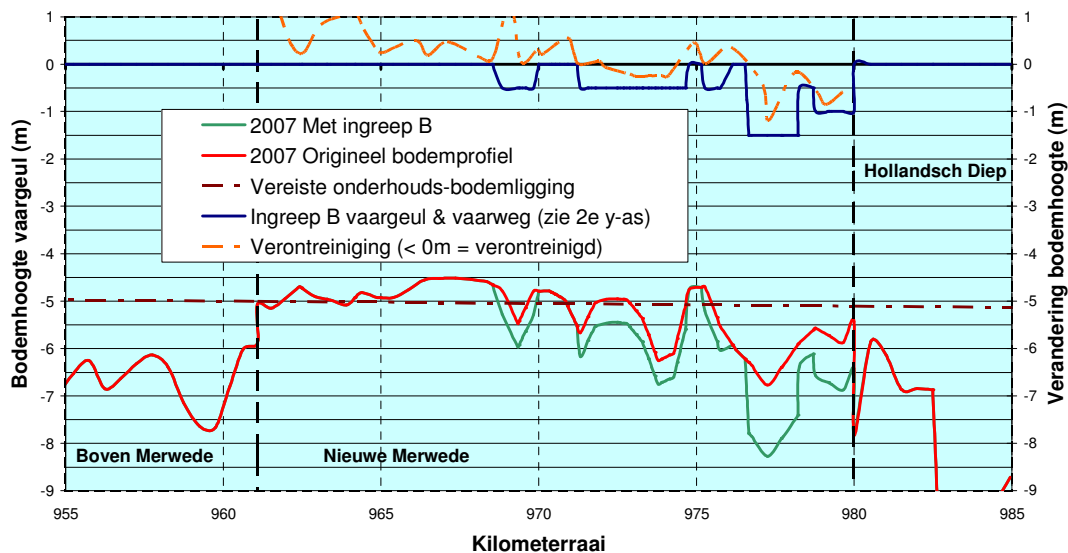
BIJLAGE 11: GRAFISCHE WEERGAVE BEHEERSALTERNATIEVEN

Door de wijze van genereren van output in SOBEK-RE is het grafisch alleen mogelijk weer te geven hoe de gemiddelde bodemhoogte in de vaargeul verandert. Hierdoor is de onderstaande weergave van alternatieven B, D en E onvolledig. De dimensies van de ingrepen worden wel getoond, zowel in de vaargeul als in de vaarweg. Daarnaast wordt het nulalternatief niet weergegeven, omdat er bij dit alternatief in 2007 niets verandert.

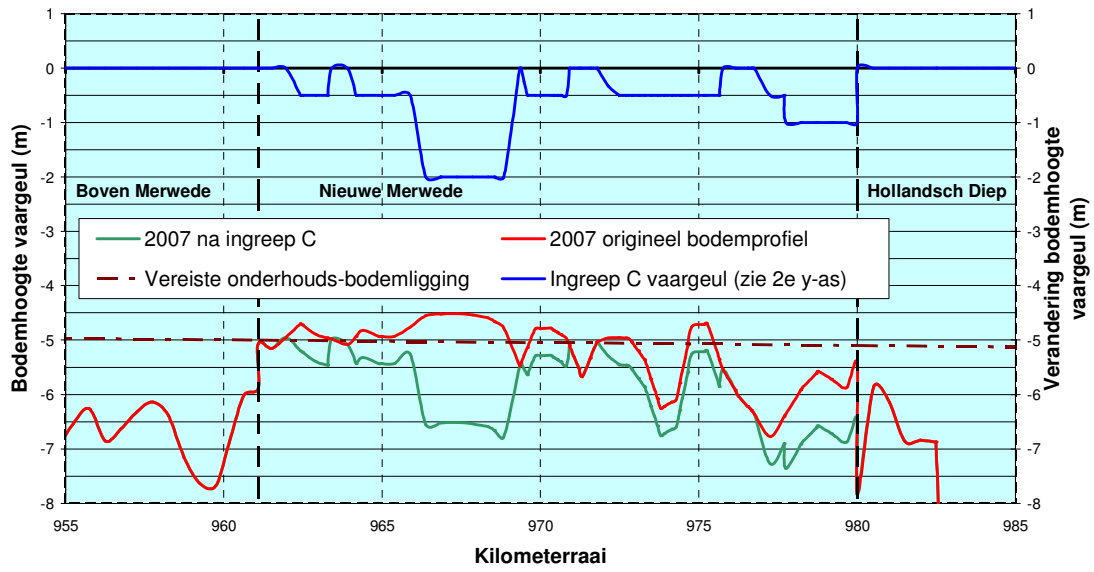
Grafische weergave ingreep A



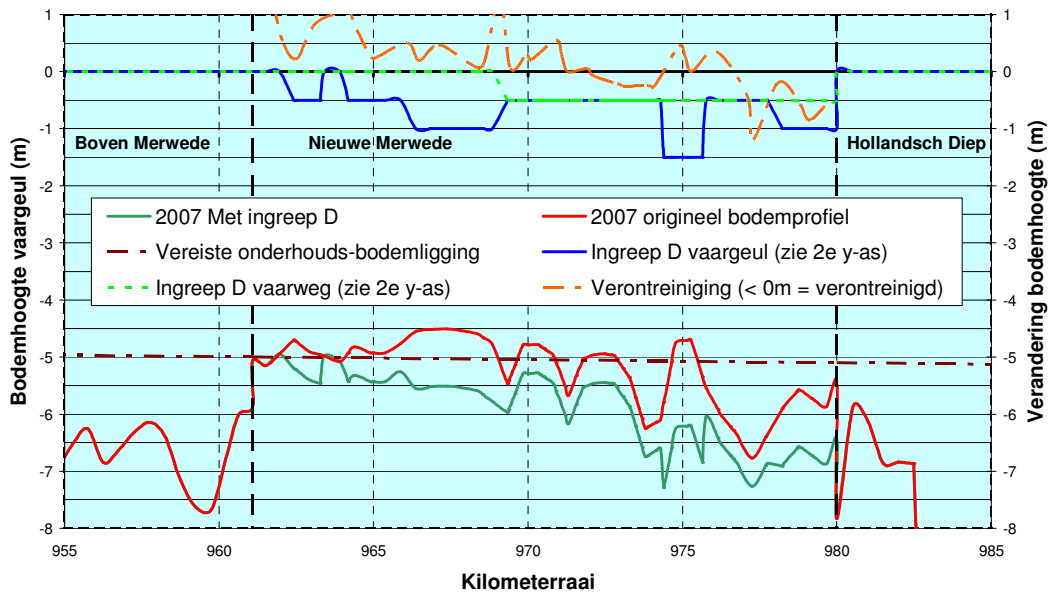
Grafische weergave ingreep B



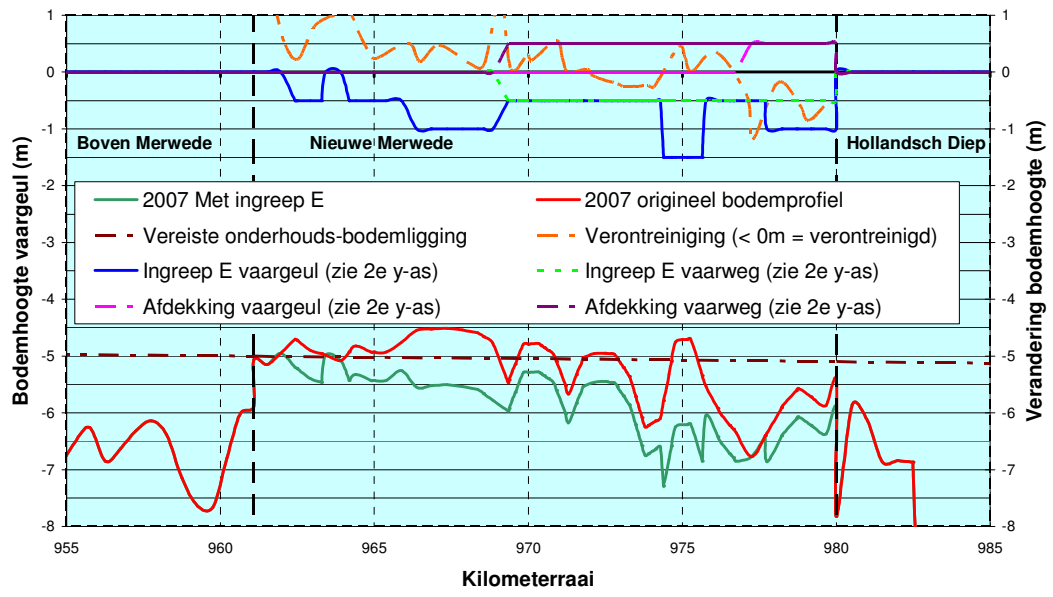
Grafische weergave ingreep C



Grafische weergave ingreep D



Grafische weergave ingreep E



BIJLAGE 12: KAARTEN WIJZIGINGEN BODEMHOOGTE IN SOBEK

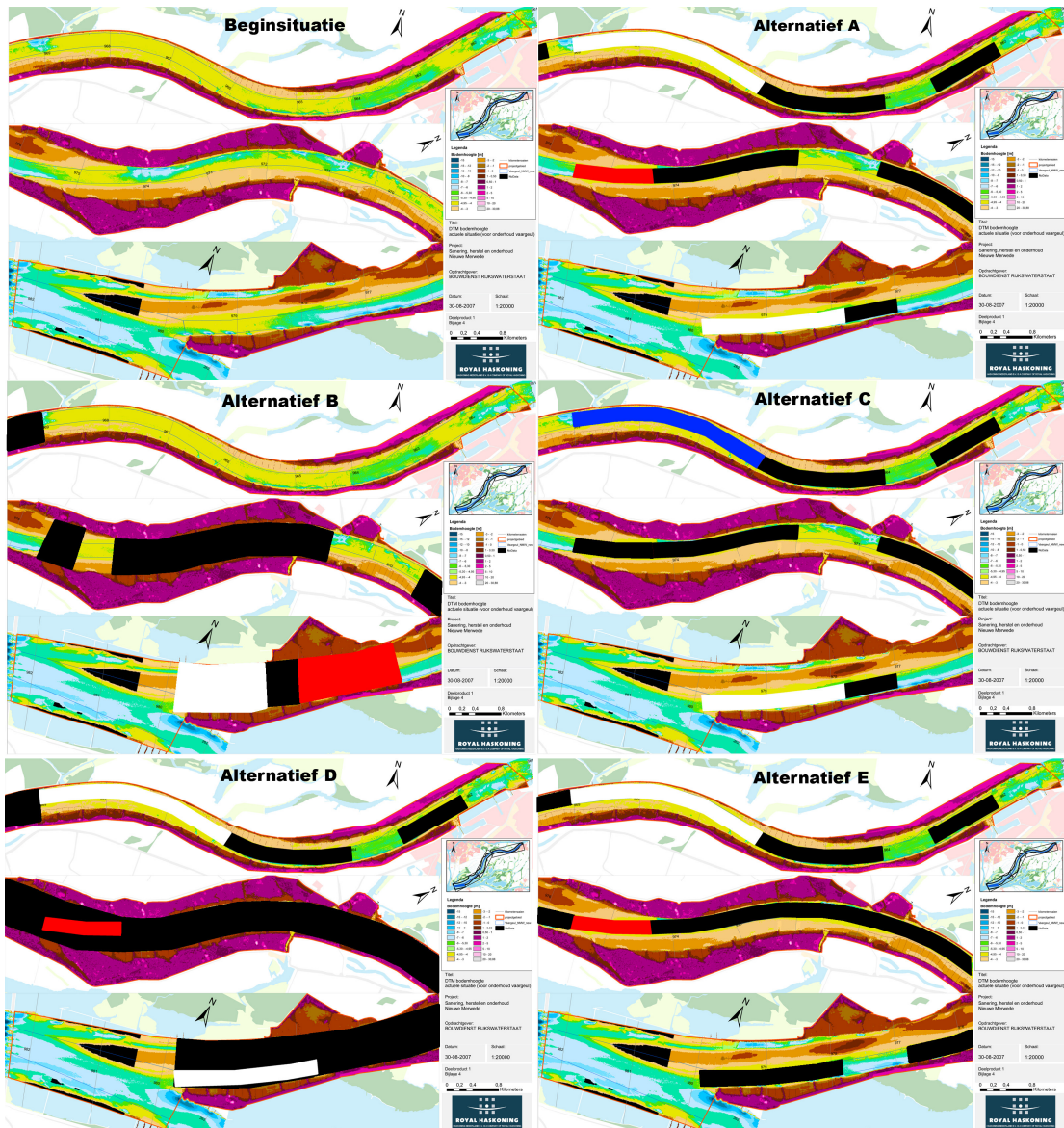
De beheersalternatieven A t/m E zijn in SOBEK-RE ingevoerd door bodemhoogten te wijzigen over de oppervlakten zoals getoond in deze bijlage. Hierbij kan de volgende legenda voor de gebaggerde hoogte worden aangehouden:

zwart = 0,5 m

wit = 1,0m

rood = 1,5 m

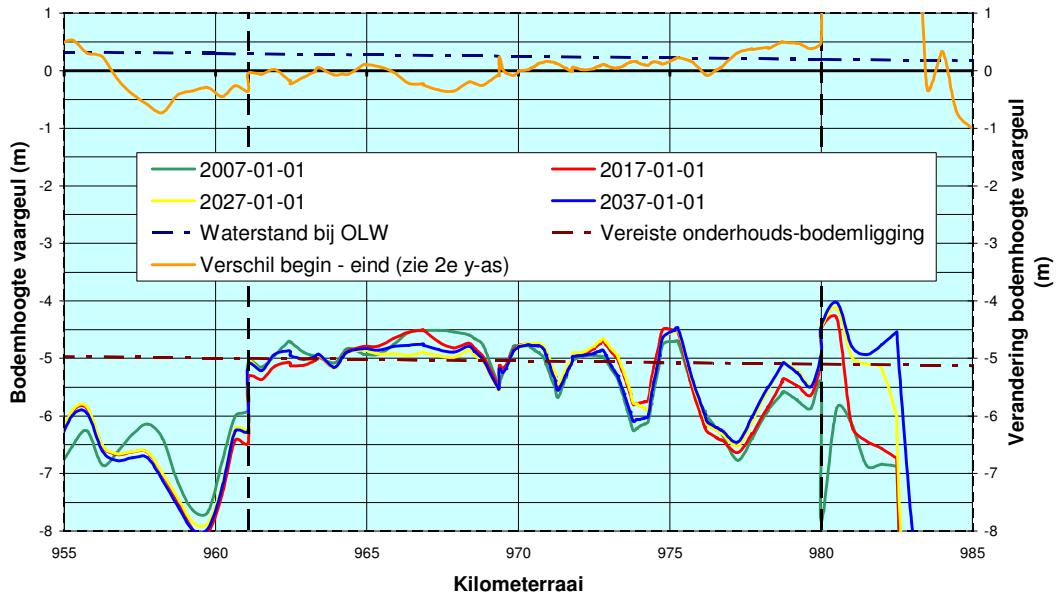
blauw = 2,0 m



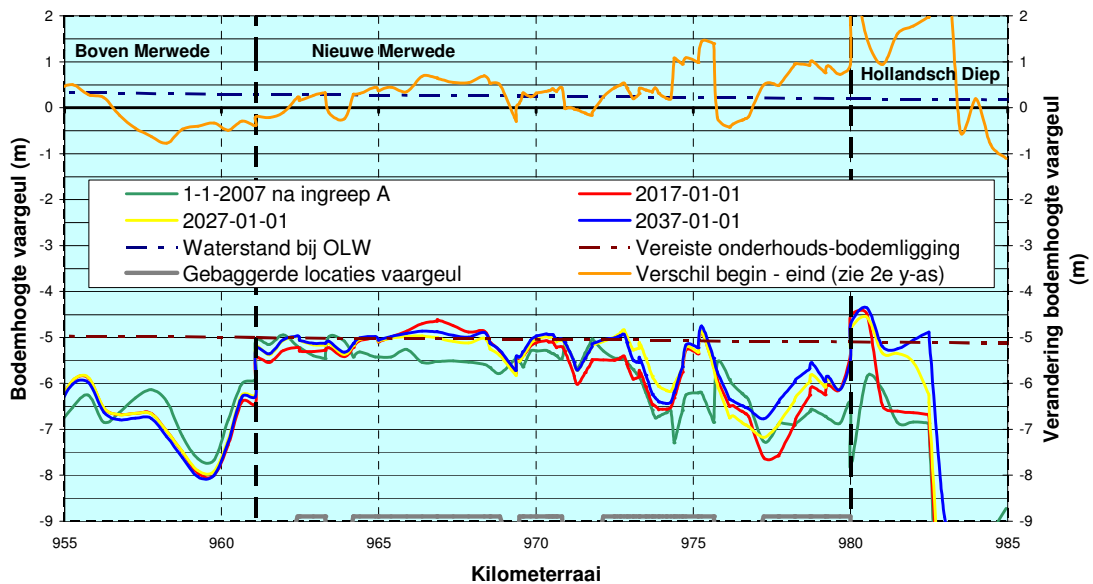
BIJLAGE 13: RESULTATEN BEHEERSALTERNATIEVEN

In de onderstaande figuren is voor elk beheersalternatief weergegeven hoe de bodemhoogten in de vaargeul veranderen in de tijd. Bij elk alternatief zijn de meetmomenten 2007, 2017, 2027 en 2037 weergegeven.

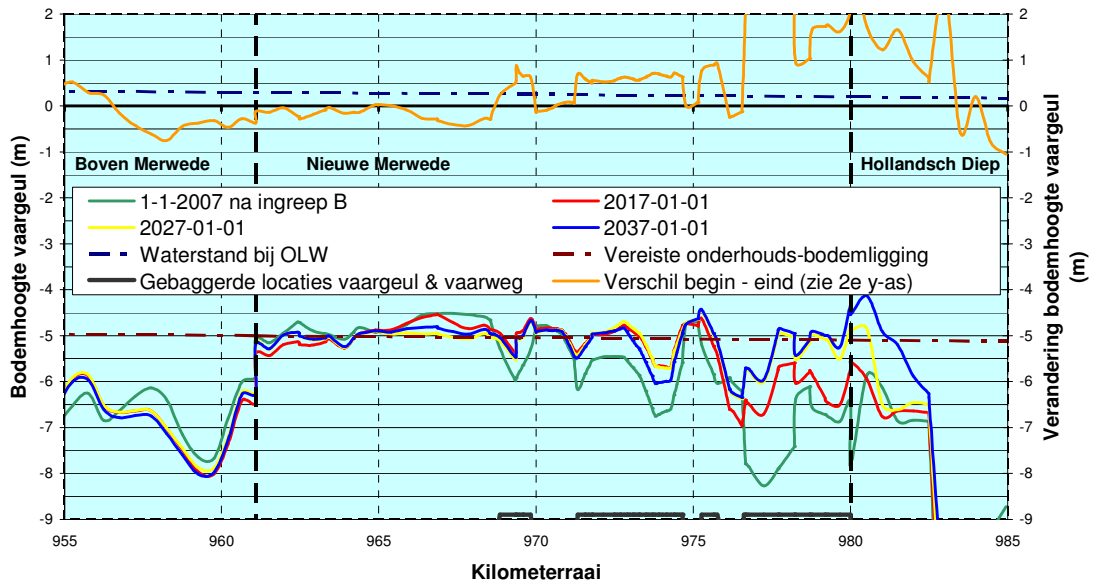
Autonome ontwikkeling 30 jaar



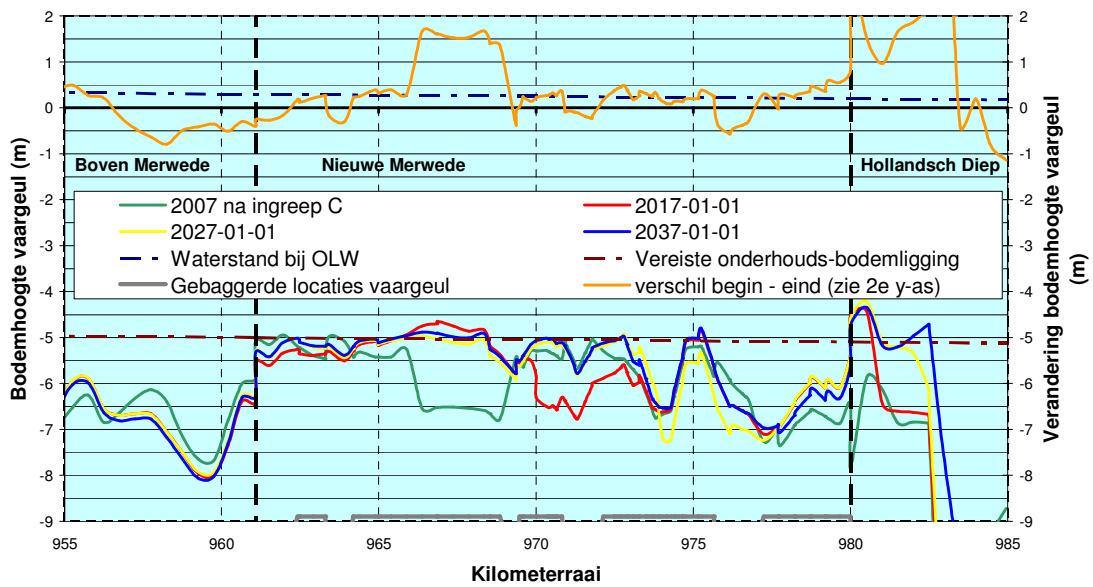
Ontwikkeling bodem bij Alternatief A



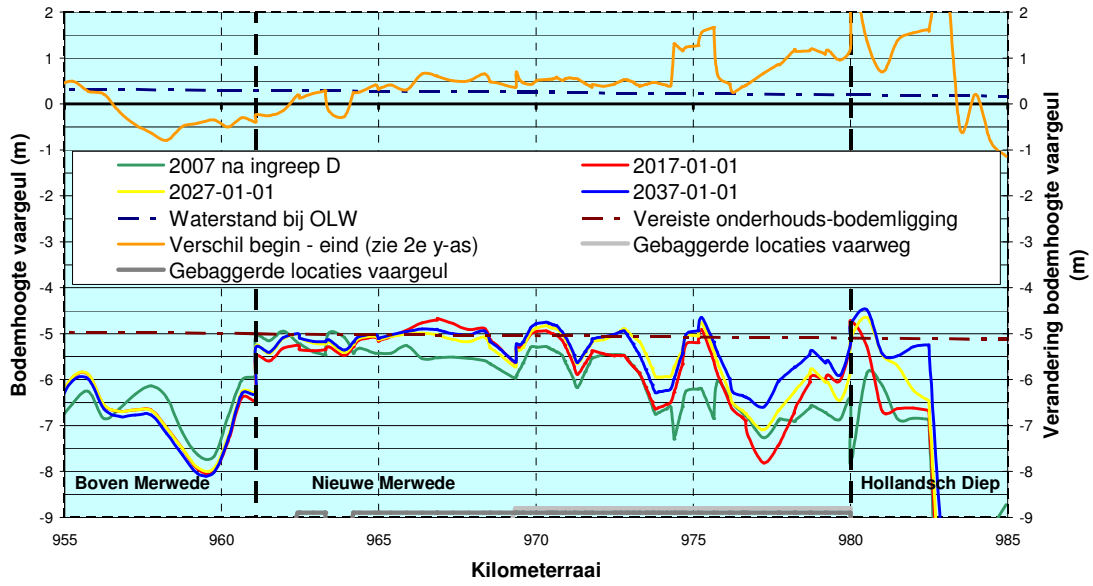
Ontwikkeling bodem bij Alternatief B



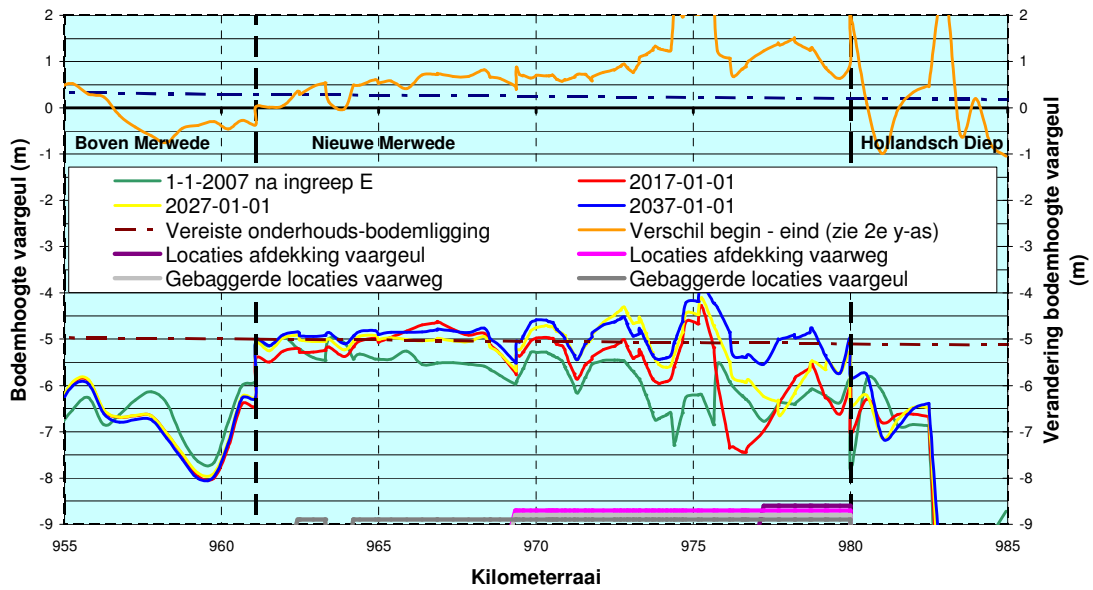
Ontwikkeling bodem bij Alternatief C



Ontwikkeling bodem bij Alternatief D



Ontwikkeling bodem bij Alternatief E



BIJLAGE 14: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM SCHEEPVAART

Definities score criterium scheepvaart

Voor elk van de vier meetmomenten 2007, 2017, 2027 en 2037 worden scores toegekend als weergegeven in Tabel B14-1. Met "waterdiepte" wordt in deze bijlage uitsluitend gerefereerd naar de waterdiepte in de vaargeul.

Tabel B14-1: Definities scores op het criterium scheepvaart

Criterium	Toelichting	Score
waterdiepte overal \geq 5.30 m	Diepte is overal toereikend voor de scheepvaart én er is 35 cm overdiepte (ruimte voor onvoorziene sedimentatie). Onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de komende jaren kunnen vrijwel worden uitgesloten	++
waterdiepte op enkele locaties (<1 km lengte) tussen 4.95 m en 5.30 m	Diepte is overal toereikend voor de scheepvaart, op de meeste locaties inclusief 35 cm overdiepte. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de komende jaren waarschijnlijk niet nodig.	+
waterdiepte overal \geq 4.95 m	Diepte is overal toereikend voor de scheepvaart, maar op middelgrote lengtes is er geen overdiepte. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden zijn nu niet nodig maar in komende periode mogelijk wel ingrepen nodig	0
waterdiepte enkele locaties (< 1 km lengte) tussen 4.80 m en 4.95 m	Diepte is op enkele locaties niet toereikend voor de scheepvaart. Hoewel de hinder alleen bij lage waterstand voor de grootste schepen merkbaar is, zijn kleine onderhoudsingrepen nodig om aan de eisen te voldoen. (Kleine) tussentijdse onderhoudsbaggerwerkzaamheden zijn in de komende periode waarschijnlijk nodig.	-
waterdiepte enkele locaties (< 1 km lengte) < 4.80 m óf over grote lengtes (> 3 km lengte) tussen 4.80 en 4.95 m	Functie scheepvaart kan niet worden gegarandeerd. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden in huidige situatie nodig om vaargeul op diepte te brengen. In de komende periode zijn grootschalige tussentijdse onderhoudsbaggerwerkzaamheden onafwendbaar	--

Resultaten beheersalternatieven

Op basis van de in Bijlage 13 gepresenteerde resultaten per alternatief, kan nu een score worden opgesteld. Voor elk meetmoment wordt een score bepaald. Het gemiddelde van deze scores, naar beneden afgerond, is het behaalde totaalresultaat dat in paragrafen 7.3 en 7.4 is beschreven. Omdat enkele alternatieven nu een gelijke score krijgen, is tussen haakjes opgenomen hoeveel plussen en minnen er bij elkaar opgeteld zijn. Elke + telt voor (1), elke – telt voor (-1). De toekenning van de scores per meetmoment wordt weergegeven in Tabel B14-2

Tabel B14-2: Behaalde scores per alternatief op het criterium scheepvaart

Alternatief	Jaar	Score
Nulalternatief	2007	--
	2017	--
	2027	--
	2037	--
	Totaal	-- (-8)
Alternatief A: Vrije Doorvaart	2007	++
	2017	-
	2027	+
	2037	0
	Totaal	0 (+2)
Alternatief B: Volledige Sanering	2007	--
	2017	--
	2027	--
	2037	--
	Totaal	-- (-8)
Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang	2007	++
	2017	0
	2027	++
	2037	0
	Totaal	+ (+4)
Alternatief D: Integraal Beheer	2007	++
	2017	0
	2027	+
	2037	0
	Totaal	+ (+3)
Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking	2007	++
	2017	--
	2027	--
	2037	--
	Totaal	-- (-6)

BIJLAGE 15: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM MILIEU/ECOLOGIE

Definities score criterium milieu/ecologie

Voor elk van de vier meetmomenten 2007, 2017, 2027 en 2037 worden scores toegekend als weergegeven in Tabel B15-1. De laagste score op een van de criteria bepaalt de score. Voorbeeld: Er heeft geen erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen, maar de toplaag bestaat slechts voor 50% uit schoon sediment met een dikte van gemiddeld 20 cm. Voor de rest van de lengte liggen verontreinigde lagen aan de oppervlakte van de bodem. Het tweede criterium bepaalt nu dat een score van [-] wordt behaald. De kwaliteit van de vaarweg is altijd dominant ten opzichte van de kwaliteit van de vaargeul.

- Toplaag = Hoogste 0,5 meter van de bodem
 Schoon = Bevat sediment met maximaal klasse 2 verontreinigingen
 Verontreinigd = Bevat sediment met klasse 3 tot 4+ verontreinigingen
 Lengte = Afstand over de Nieuwe Merwede tussen km raai 969 en 980

Tabel B15-1: Definities scores op het criterium milieu/ecologie

Criterion	Toelichting	Score
- Geen erosie verontreinigd materiaal - Toplaag overal schoon	- Tot dit meetmoment is geen erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen - De toplaag van de bodem bestaat uit schoon sediment waarvan > 90 % van de lengte met een dikte van > 0,5 m	++
- Geen erosie van verontreinigd materiaal - Toplaag relatief schoon	- Tot dit meetmoment is geen erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen - De toplaag van de bodem bestaat uit schoon sediment waarvan > 75 % van de lengte met een dikte van 0 m tot 0,5 m	+
- Enige erosie van verontreinigd materiaal - Toplaag relatief schoon	- Tot dit meetmoment is enige erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen - De toplaag van de bodem bestaat uit schoon sediment waarvan > 75 % van de lengte met een dikte van 0 m tot 0,5 m	0
- Enige erosie van verontreinigd materiaal - Toplaag relatief verontreinigd	- Tot dit meetmoment is enige erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen - De toplaag van de bodem bestaat voor tussen 25 % en 75 % van de lengte uit schoon sediment met een dikte van > 0 m	-
- Grootschalige erosie van verontreinigd materiaal voorgekomen - Toplaag aanzienlijk verontreinigd	- Tot dit meetmoment is grootschalige erosie van verontreinigd sediment voorgekomen - De toplaag van de bodem bestaat voor < 25 % van de lengte uit schoon sediment met een dikte van > 0 m	--

Resultaten beheersalternatieven

Op basis van de in Bijlage 13 gepresenteerde resultaten per alternatief, kan nu een score worden opgesteld. Voor elk meetmoment wordt een score bepaald. Het gemiddelde van deze scores, naar beneden afgerond, is het behaalde totaalresultaat dat in paragrafen 7.3 en 7.4 is beschreven. Omdat enkele alternatieven nu een gelijke score krijgen, is tussen haakjes opgenomen hoeveel plussen en minnen er bij elkaar opgeteld zijn. Elke + telt voor (1), elke – telt voor (-1). De toekenning van de scores per meetmoment wordt weergegeven in Tabel B15-2

Voor elk meetmoment waarop de score lager dan ++ wordt gegeven, is tevens toegelicht op basis van welk criterium de score is vastgesteld (= op welk criterium de laagste score is behaald). Hierbij worden de volgende afkortingen gebruikt:

vg = vaargeul
vw = vaarweg

Tabel B15-2: Behaalde scores per alternatief op het criterium milieu/ecologie

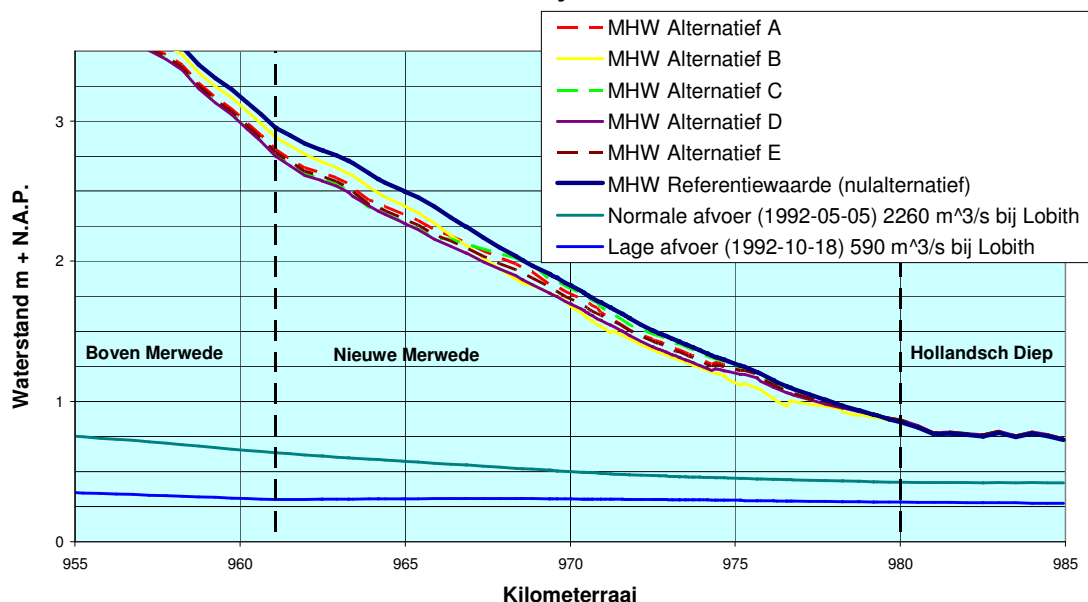
Alternatief	Jaar	Meest negatieve criterium	Score
Nulalternatief	2007	Toplaag vg & vw	--
	2017	Enige erosie	0
	2027	Toplaag vg & vw	+
	2037	Toplaag vg & vw	+
	Totaal		0 (0)
Alternatief A: Vrije Doorvaart	2007	Toplaag vw	--
	2017	Grote erosie & toplaag vw	--
	2027	Toplaag vw	--
	2037	Toplaag vw	--
	Totaal		-- (-8)
Alternatief B: Volledige Sanering	2007		++
	2017		++
	2027		++
	2037		++
	Totaal		++ (+8)
Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang	2007	Toplaag vw	--
	2017	Grote erosie & toplaag vw	--
	2027	Grote erosie & toplaag vw	--
	2037	Toplaag vw	-
	Totaal		-- (-7)
Alternatief D: Integraal Beheer	2007	Toplaag vw	--
	2017	Grote erosie & toplaag vw	--
	2027	Toplaag vw	+
	2037		++
	Totaal		0 (-1)
Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking	2007		++
	2017	Grote erosie	--
	2027		++
	2037		++
	Totaal		+ (+4)

BIJLAGE 16: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM VEILIGHEID

De evenwichtswaterstanden bij MHW worden door SOBEK-RE gemodelleerd door uit te gaan van een afvoergedomineerde situatie, waarin een constante afvoer van 18 000 m³/s bij Lobith geldt. Om een evenwicht te laten ontstaan, worden sedimenttransport en morfologie uitgeschakeld en wordt de optie steady flow gekozen. Ook wordt de werking van het getij uitgeschakeld.

Binnen twee tot drie dagen ontstaat nu in het gehele benedenrivierengebied een hypothetische evenwichtssituatie. De waterstanden die hierbij worden berekend, gelden als maat voor de MHW-waterstanden. Hierop dienen de omliggende dijken gedimensioneerd te zijn. In dit onderzoek wordt niet de geschiktheid van de dijken getoetst, maar de vraag of de MHW-waterstanden veranderen na de uitvoering van beheersalternatieven. In Figuur B16 worden de resultaten weergegeven voor het moment direct na uitvoering van de beheersingrepen. De effecten na 30 jaar zijn niet bekend.

Initiële MHW waterstanden bij verschillende alternatieven



Figuur B16: Initiële resultaten van MHW-waterstanden bij alle beheersalternatieven

Analyse resultaten

Alle beheersalternatieven blijken bij MHW omstandigheden een waterstandsverlaging tot gevolg te hebben in vrijwel het gehele projectgebied. Alleen in de laatste kilometer kunnen verhogingen < 0,01 m voorkomen. Deze worden als verwaarloosbaar beschouwd. Alternatief B blijkt benedenstrooms de meeste waterstandsverlaging te veroorzaken, maar bovenstrooms de minste. Alternatief D geeft overall de meeste waterstandsverlaging. Om de Alternatieven onderscheidend te kunnen beoordelen, wordt het nulalternatief negatief beoordeeld. Een nadere beschouwing van de resultaten leidt tot de volgende scores:

Naam Alternatief	Score
Nulalternatief	--
Alternatief A: Vrije Doorvaart	0
Alternatief B: Volledige Sanering	++
Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang	+
Alternatief D: Integraal beheer	++
Alternatief E: Integraal beheer met Afdekking	+

BIJLAGE 17: DEFINITIE & RESULTATEN CRITERIUM KOSTEN

Definitie score criterium kosten

Elk van de vijf beheersalternatieven wordt uitgevoerd door middel van dezelfde typen activiteiten (bij het nulalternatief worden geen werkzaamheden uitgevoerd; zodoende ontstaan er geen kosten). Er moet worden gebaggerd om ongewenste volumes sediment boven water te halen. Deze volumes moeten vervolgens naar een nieuwe bestemming worden getransporteerd. Tenslotte brengt ook het afzetten van sediment kosten met zich mee. De gehanteerde eenheidstarieven voor elke activiteit zijn weergegeven in Tabel B17-1. Bij beheersalternatief E is een categorie toegevoegd: het verwerken van afdekmateriaal. *N.B. Deze berekening dient ter indicatie, om de relatieve kosten van elk beheersalternatief ten opzichte van een referentiewaarde aan te kunnen geven. Er wordt niet de suggestie gewekt dat deze kostenberekening overeenkomt met de werkelijke kosten, omdat een werkelijke kostenberekening vele malen complexer is.*

Baggeren

Voor het baggeren van sediment wordt een onderscheid gemaakt tussen baggerwerkzaamheden in de vaargeul en baggerwerkzaamheden in de rest van het zomerbed: de vaarweg. Er wordt vanuit gegaan dat het zomerbed overal diep genoeg is voor inzet van een relatief goedkope sleehopperzuiger. Hoewel inzet van een dergelijke installatie op enkele plekken in de vaarweg ook mogelijk is, wordt voor de eenvoud aangenomen dat bij baggerwerkzaamheden in de ondiepe vaarweg gebruik gemaakt moet worden van een graafmachine op een drijvend ponton. Beide installaties worden aangenomen geschikt te zijn voor het baggeren van alle kwaliteiten sediment, inclusief klasse 4+ verontreinigd slib.

Transporteren

Het te baggeren sediment heeft niet hetzelfde volume als het sediment dat getransporteerd en afgezet wordt. De uitzetting van het sediment als gevolg van opwerveling en vermenging met water wordt uitlevering genoemd. De uitlevering is groter bij opgezogen sediment dan bij opgegraven sediment, door de aard van de verwijderingsmethode.

Alleen het sediment afkomstig van onder de oorspronkelijke bodemhoogten in 1970 en het sediment afkomstig uit de vaargeul tussen km raai 961 en 970 wordt gedefinieerd als "schoon" (klasse 0 – 2 verontreinigd). Alle andere volumes worden verondersteld zwaar verontreinigd te zijn (klasse 3 – 4+ verontreinigd). In paragraaf 2.4 is beschreven hoe de kwaliteit van het sediment is vastgesteld.

Alle klasse 3 – 4+ sediment wordt gestort in het baggerdepot "De Slufter" op de Maasvlakte. De afstand naar De Slufter is vanuit de Nieuwe Merwede gemiddeld 60 km. Er wordt aangenomen dat alle "schoon" sediment kan worden ingezet voor toepassing elders. Voor het gemak wordt aangenomen dat de gemiddelde afstand naar de locatie waar dit sediment toegepast kan worden ook 60 km bedraagt. Vermarktbaar zand kan na het baggeren op locatie worden opgehaald en hoeft zodoende niet getransporteerd te worden.

Afzetten

Het baggerdepot "De Slufter" op de Maasvlakte is gecreëerd om te voorzien in de vraag naar een veilige locatie waar zwaar verontreinigd sediment gestort kan worden [www.slufter.com]. In dit onderzoek wordt aangenomen dat alle klasse 3 – 4+ verontreinigd sediment hier gestort wordt. Hiermee wordt voorbij gegaan aan exacte

regels over hoe zandig of verontreinigd sediment mag zijn om op dit depot gestort te mogen worden.

Relatief schoon sediment kan (na voorbereiding) voor verscheidene doeleneinden worden ingezet waar grote volumes grond nodig zijn. Een veelvoorkomend voorbeeld hiervan is toepassing als ondergrond voor de wegenbouw. Omdat het gaat om onsamenhangend materiaal met lichte verontreinigingen, worden er kosten gemaakt voor het bruikbaar maken van dit materiaal.

Verkoop & aankoop van zand

Zand dat niet teveel is verontreinigd met slib kan veelal verkocht worden. Er wordt dan gesproken van vermarktbaar zand. Naast de chemische kwaliteit is voor de waarde van het zand ook de fysische samenstelling van belang. Zo levert ophoogzand relatief weinig op, terwijl industriezand juist veel oplevert. Een schatting van de hoeveelheid vermarktbaar zand is erg lastig te maken. Een schatting van de waarde van het zand is met de beschikbare data onmogelijk.

Voor beide gegevens wordt een aanname gemaakt. In dit onderzoek wordt aangenomen dat alleen het gebaggerde materiaal uit de vaargeul tussen km raai 961 en 970 vermarktbaar is. In dit deel van de Nieuwe Merwede wordt ook in de huidige situatie regelmatig zand gewonnen. Bovendien komt in dit deel van het projectgebied schoon materiaal voor (zie Kaart 6), met de grootste gemiddelde korrelfracties en de laagste slibgehalten. Dit zand wordt aangenomen uniform van samenstelling te zijn en verkocht te kunnen worden als industriezand. Het materiaal uit alle andere deelgebieden is verontreinigd of heeft een te kleine gemiddelde korrelfractie en wordt om die redenen als niet vermarktbaar beschouwd.

Voor het afdekken van de bodem bij Alternatief E wordt gebruik gemaakt van al het gebaggerde schone materiaal uit het gebied, inclusief het vermarktbaar zand. Het volume is echter onvoldoende. Aangenomen wordt dat het overige deel van het afdek materiaal gratis verkregen kan worden uit overtollig en onbruikbaar materiaal van andere projecten. Hiervoor moeten alleen transportkosten en verwerkingskosten (voor het storten in de Nieuwe Merwede) worden betaald. Ook hier wordt de transportafstand vastgesteld op 60 km.

Tabel B17-1: Gehanteerde eenheidstarieven voor activiteiten beheersalternatieven [Royal Haskoning, 2005]

Activiteit	Gehanteerd middel	Waarde	Eenheid
Baggeren	Sleephopperzuiger	4,5	€/m ³
	Drijvend ponton met graafmachine	6,0	€/m ³
Uitlevering	Zuiger	1,3	m ³ /m ³
	Graafmachine	1,1	m ³ /m ³
Transport	Schip	6,0	€/m ³
Afzetten	Storten baggerdepot "De Slufter"	8,5	€/m ³
	Toepassing elders	2,5	€/m ³
	Verkoop vermarktbaar zand	5,0	€/m ³
Stortmateriaal	Verwerking	1,0	€/m ³
Meerkosten	Voorbereiding, monitoring, vergunningen, onvoorzien, enz.	25	%

Resultaten beheersalternatieven

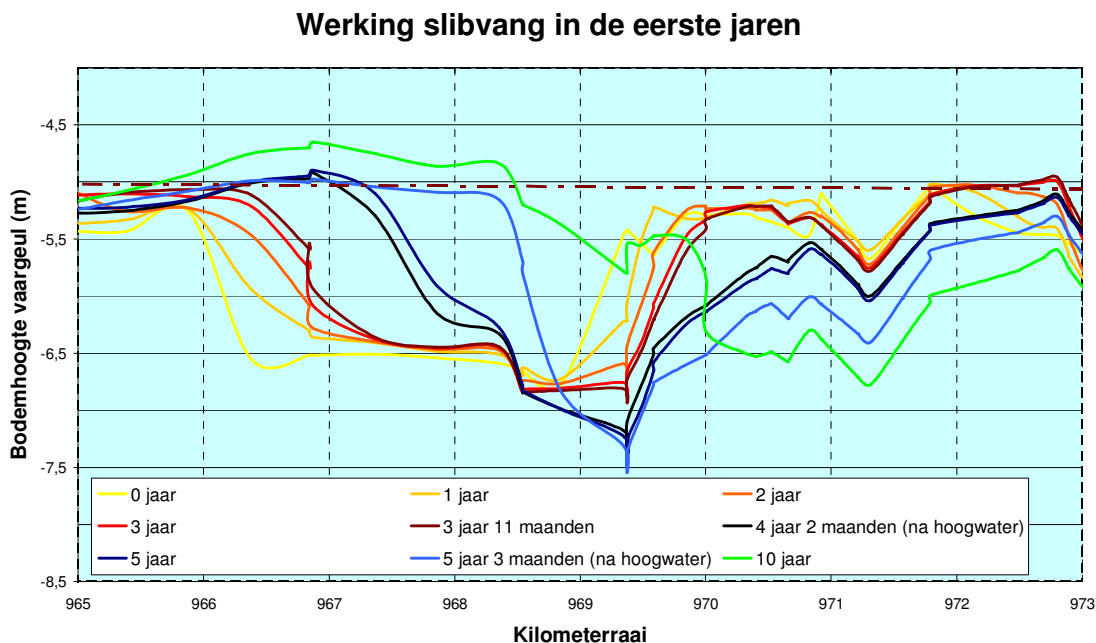
In Tabel B17-2 is per alternatief weergegeven hoeveel de kosten voor uitvoering bedragen en hoe deze zijn opgebouwd. Tevens is het verkregen indexcijfer weergegeven.

Tabel B17-2: Kosten voor uitvoering beheersalternatieven

Alternatief	Kostenpost	Volume (miljoen m ³)	Kosten (miljoen €)	Index
Nulalternatief	Geen	0	0	0
Alternatief A: Vrije Doorvaart	Baggeren vaargeul	2,7	12,0	41
	Baggeren vaarweg	0	0	
	Transport	1,8	10,6	
	Storten "De Slufter"	1,4	11,7	
	Toepassing elders	0,4	1,0	
	Verkoop zand	1,3	-6,6	
	Meerkosten	-	7,2	
	Totaal	-	36,0	
Alternatief B: Volledige Sanering	Baggeren vaargeul	0,5	2,4	132
	Baggeren vaarweg	3,6	21,8	
	Transport	4,7	28,1	
	Storten "De Slufter"	4,7	39,8	
	Toepassing elders	0	0	
	Verkoop zand	0	0	
	Meerkosten	-	23,0	
	Totaal	-	115,1	
Alternatief C: Vrije Doorvaart met Zandvang	Baggeren vaargeul	3,1	14,1	34
	Baggeren vaarweg	0	0	
	Transport	1,4	8,3	
	Storten "De Slufter"	1,4	11,7	
	Toepassing elders	0	0	
	Verkoop zand	2,1	-10,3	
	Meerkosten	-	5,9	
	Totaal	-	29,7	
Alternatief D: Integraal beheer	Baggeren vaargeul	3,0	13,8	137
	Baggeren vaarweg	2,7	16,1	
	Transport	5,2	31,1	
	Storten "De Slufter"	4,8	40,7	
	Toepassing elders	0,4	1,0	
	Verkoop zand	1,4	-6,8	
	Meerkosten	-	24,0	
	Totaal	-	119,9	
Alternatief E: Integraal Beheer met Afdekking	Baggeren vaargeul	3,0	13,8	156
	Baggeren vaarweg	2,7	16,1	
	Transport	4,8	28,7	
	Storten "De Slufter"	4,8	40,7	
	Toepassing elders	0	0	
	Verkoop zand	0	0	
	Transport stortzand	1,4	8,5	
	Verwerking stortzand	1,4	1,4	
	Meerkosten	-	27,3	
	Totaal	-	136,6	
	Gemiddelde totaalkosten	-	87,5	100

BIJLAGE 18: EFFECTIVITEIT ZANDVANG

In Figuur B18-1 is weergegeven hoe de in Alternatief C gemodelleerde zandvang functioneert in de eerste tien jaren na aanleg. Deze figuur is een ondersteuning van de stelling dat de bodemhoogten in de Nieuwe Merwede voornamelijk afhankelijk zijn van hoge afvoeren van de Rijn.

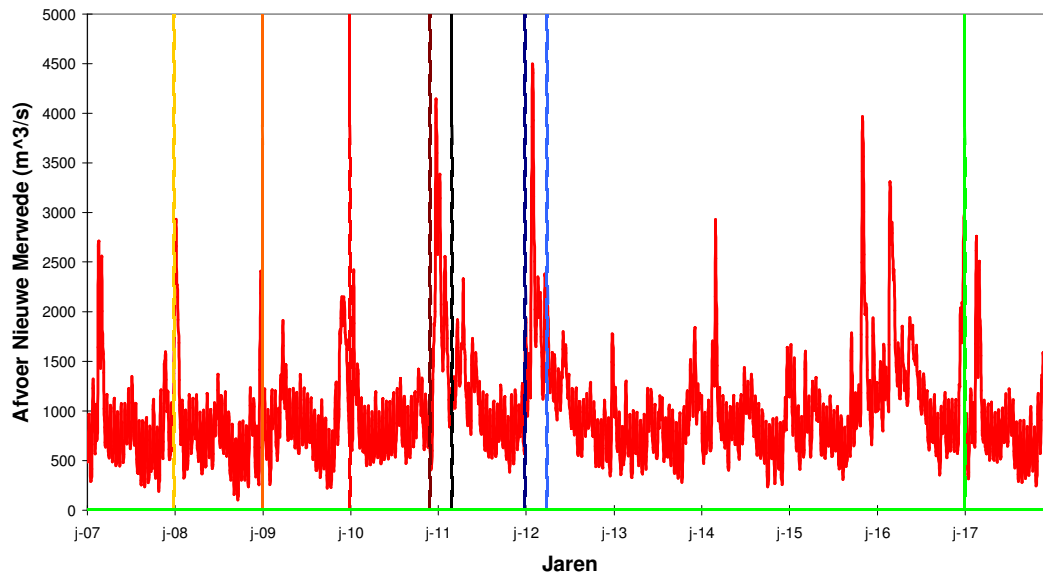


Figuur B18-1: Ontwikkeling bodemhoogten ter plaatse van zandvang en benedenstrooms in de eerste tien jaren na aanleg

In de eerste drie jaren na aanleg vindt er enige sedimentatie plaats in de eerste kilometer van de zandvang en enige erosie in de eerste 500 m benedenstrooms van de put. In de hieropvolgende twee jaren is tweemaal een hoge afvoer gemodelleerd (overeenkomstig met de afvoeren van december 1993 en januari 1995). Deze blijken de zandvang grotendeels buiten werking te stellen. Dit blijkt uit de grote gesedimenteerde hoeveelheden tussen de bruine en zwarte lijn (afvoer dec. 1993) en tussen de donkerblauwe en lichtblauwe lijn (afvoer jan. 1995). Na tien jaar is de zandvang zelfs onherkenbaar geworden. Voor het vergemakkelijken van de interpretatie van Figuur B18-1, zijn de in SOBEK-RE gemodelleerde afvoeren voor de eerste tien jaren weergegeven in Figuur B18-2.

De zandvang is weliswaar na tien jaar met nieuwe sedimenten gevuld, maar de werking is nog niet geheel weg. Benedenstrooms van de oorspronkelijke locatie van de put, is een nieuwe put ontstaan in uitgerekte en minder diepte vorm. Zodoende werkt de zandvang wel degelijk langer dan 10 jaar. De vereiste diepte ter plaatse van de originele put wordt echter niet meer gehaald (groene lijn ten opzichte van bruine stippellijn).

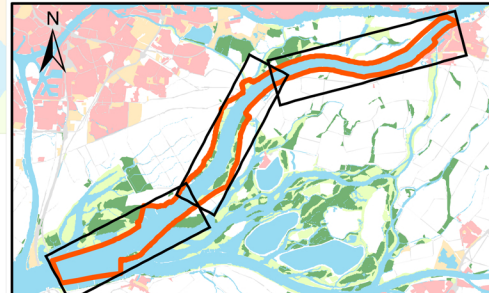
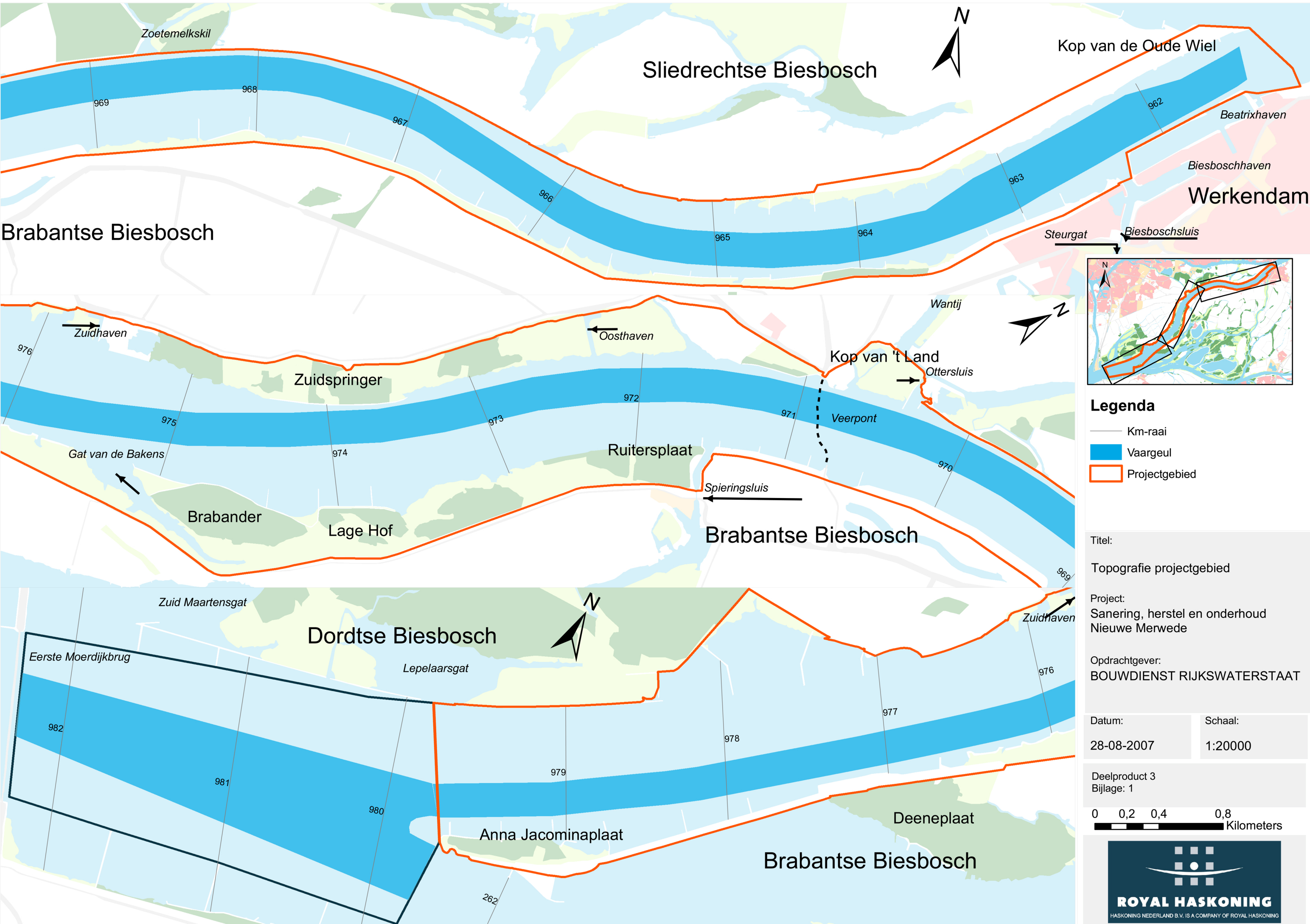
Afvoer 2007 - 2017



Figuur B18-2: Afvoeren in de eerste tien jaren na aanleg van de zandvang (2007 - 2017). De gekleurde verticale lijnen zijn de meetmomenten, die corresponderen met de ontwikkeling van bodemhoogten weergegeven in Figuur B18-1

KAARTEN

- Kaart 1 Afbakening en topografie projectgebied
- Kaart 2 Erosie en sedimentatie 2001 – 2006
- Kaart 3 Bodemhoogten in 2006
- Kaart 4 Bodemhoogten in 1970
- Kaart 5 Erosie en sedimentatie 1970 – 2005
- Kaart 6 Bodemkwaliteit toplaag



Legenda

- Km-raai
- Vaargeul
- Projectgebied

Titel:
 Topografie projectgebied

Project:
 Sanering, herstel en onderhoud
 Nieuwe Merwede

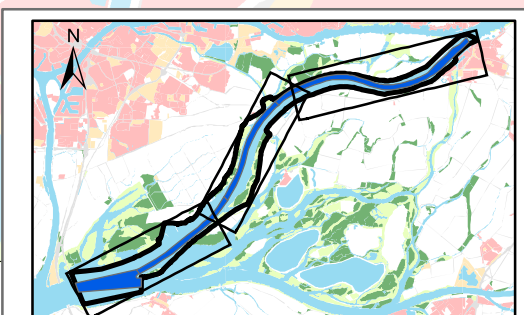
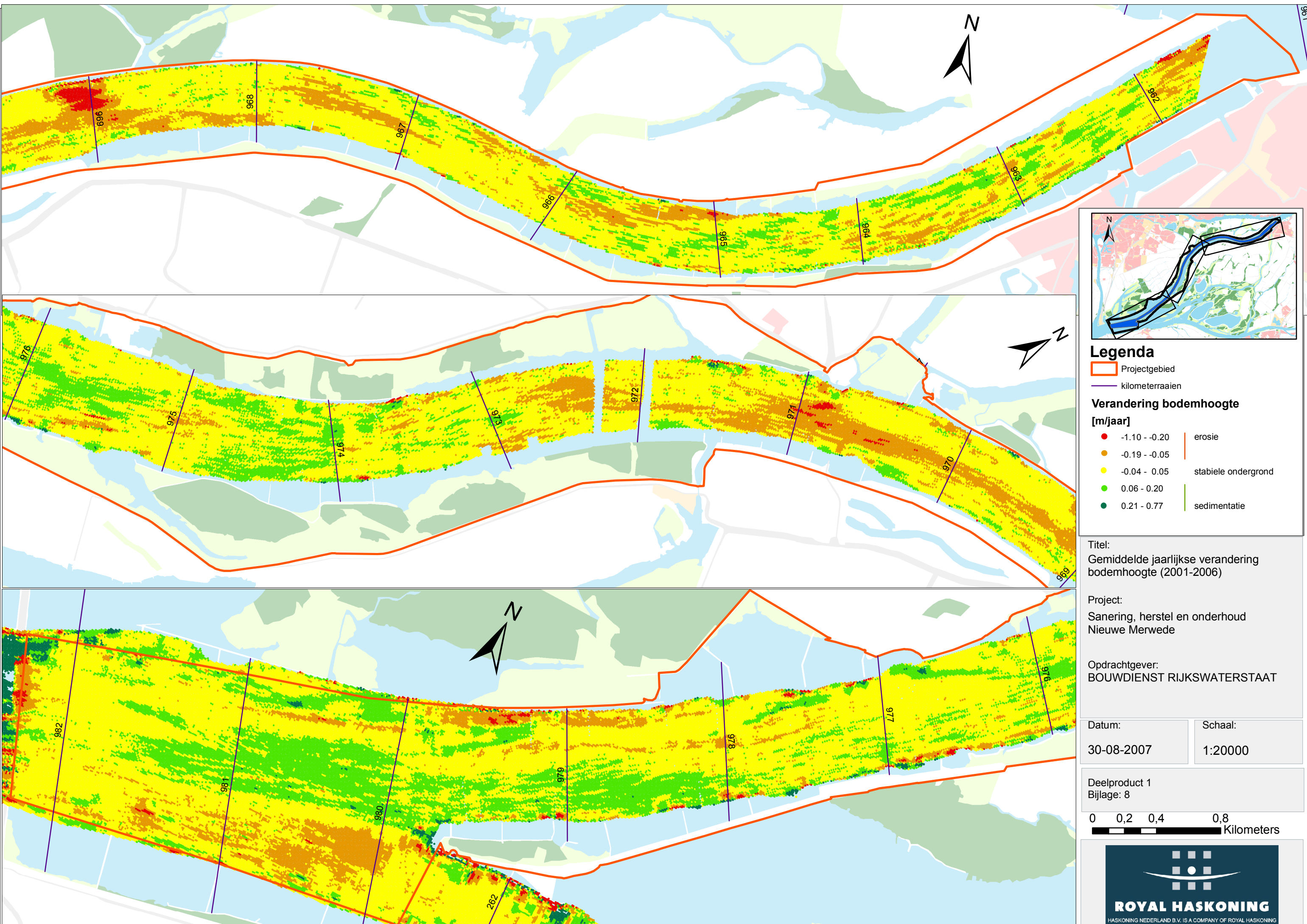
Opdrachtgever:
 BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

Datum: 28-08-2007 Schaal: 1:20000

Deelproduct 3
 Bijlage: 1

0 0,2 0,4 0,8
 Kilometers





Legenda

- Projectgebied
- kilometerraaien

Verandering bodemhoogte [m/jaar]

<ul style="list-style-type: none"> ● -1.10 - -0.20 ● -0.19 - -0.05 ● -0.04 - 0.05 ● 0.06 - 0.20 ● 0.21 - 0.77 	<ul style="list-style-type: none"> erosie stabiele ondergrond sedimentatie
---	---

Titel:
Gemiddelde jaarlijkse verandering bodemhoogte (2001-2006)

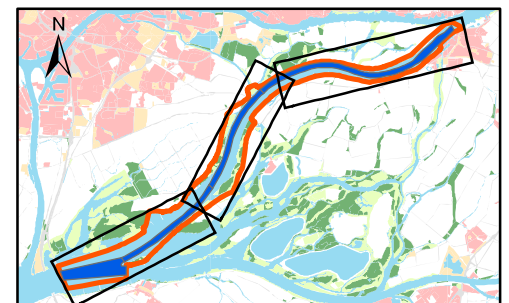
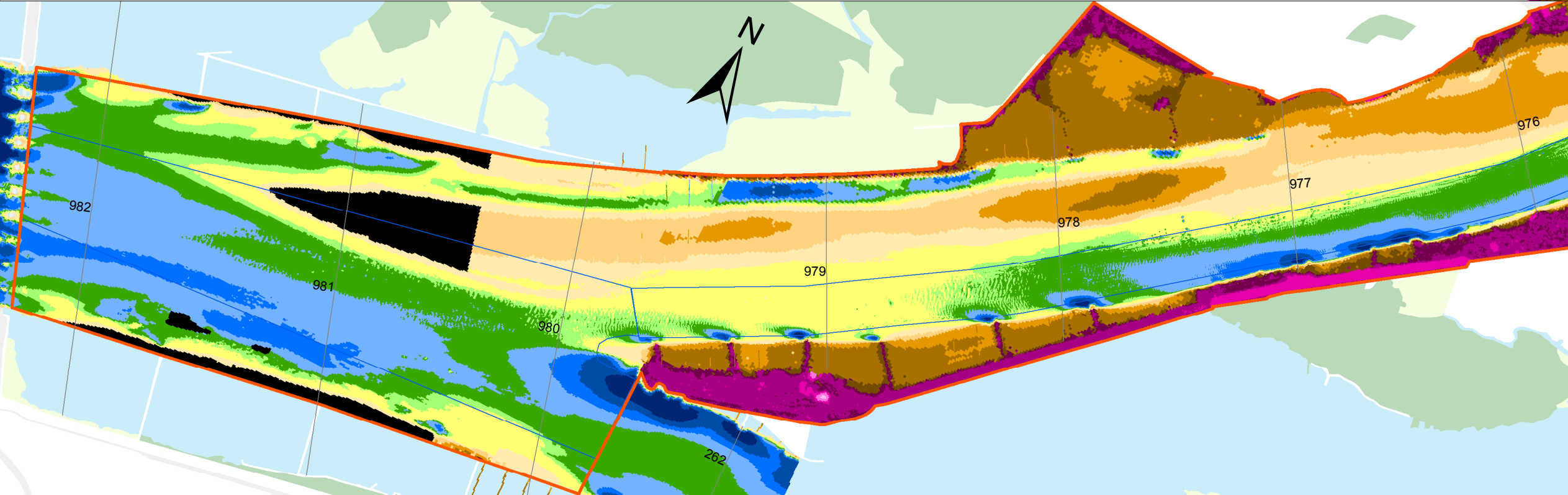
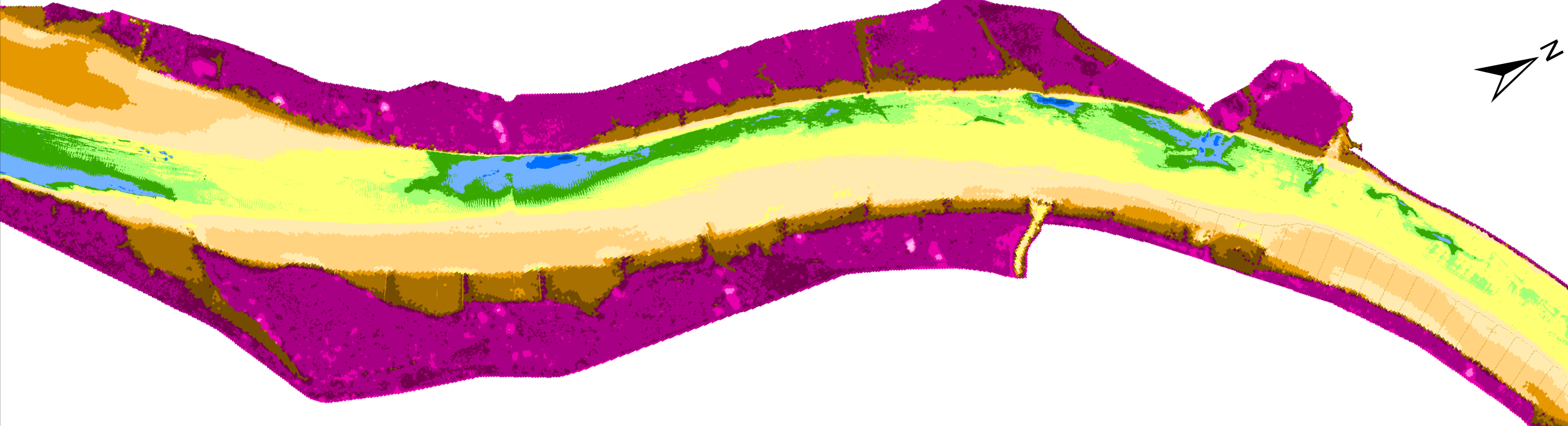
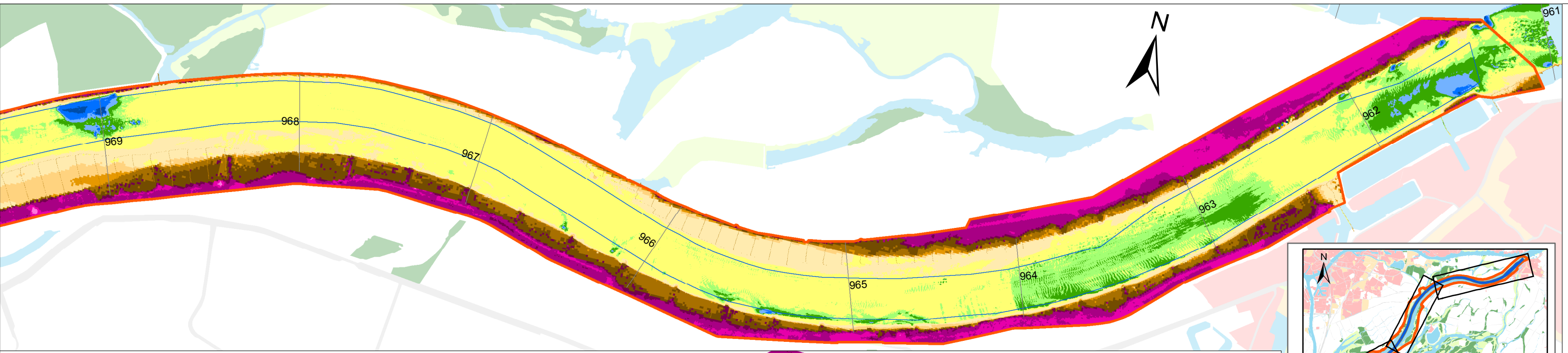
Project:
Sanering, herstel en onderhoud Nieuwe Merwede

Opdrachtgever:
BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

Datum: 30-08-2007	Schaal: 1:20000
-----------------------------	---------------------------

Deelproduct 1
Bijlage: 8





Legend

Bed level [m]

-25 - -10	-1,99 - -1	— Rhine kilometer
-9,99 - -8	-0,99 - 0	▭ Project area
-7,99 - -7	0,01 - 0,5	▭ Shipping channel
-6,99 - -6	0,51 - 1	▭ No Data
-5,99 - -5,3	1,01 - 2	
-5,29 - -4,95	2,01 - 5	
-4,94 - -4	5,01 - 10	
-3,99 - -3	10,01 - 20	
-2,99 - -2	20,01 - 40	

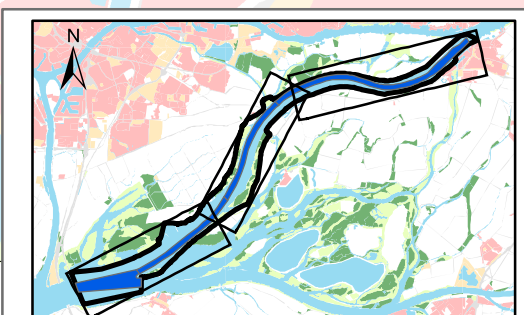
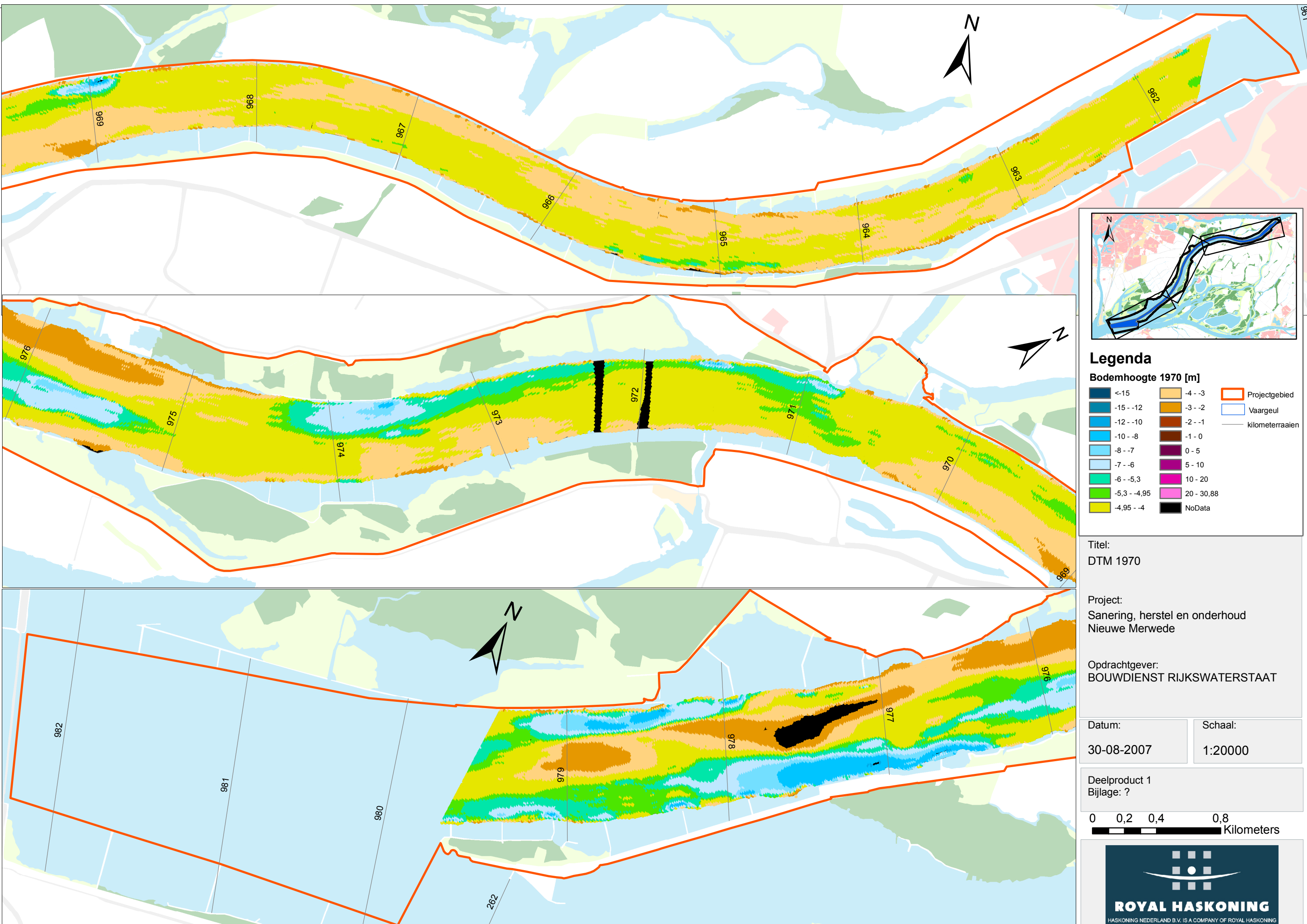
Title:
DTM bed level 2006



Date:
30-08-2007

Scale:
1:20000





Legenda

Bodemhoogte 1970 [m]

<-15	-4 - -3	Projectgebied
-15 - -12	-3 - -2	Vaargeul
-12 - -10	-2 - -1	kilometerraaien
-10 - -8	-1 - 0	
-8 - -7	0 - 5	
-7 - -6	5 - 10	
-6 - -5,3	10 - 20	
-5,3 - -4,95	20 - 30,88	
-4,95 - -4	NoData	

Titel:
DTM 1970

Project:
Sanering, herstel en onderhoud
Nieuwe Merwede

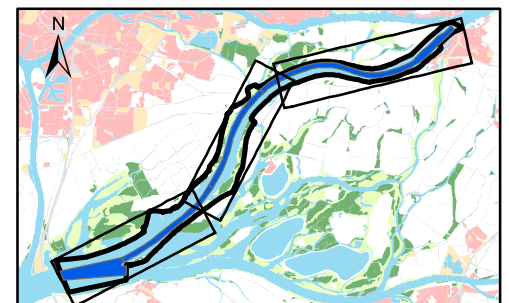
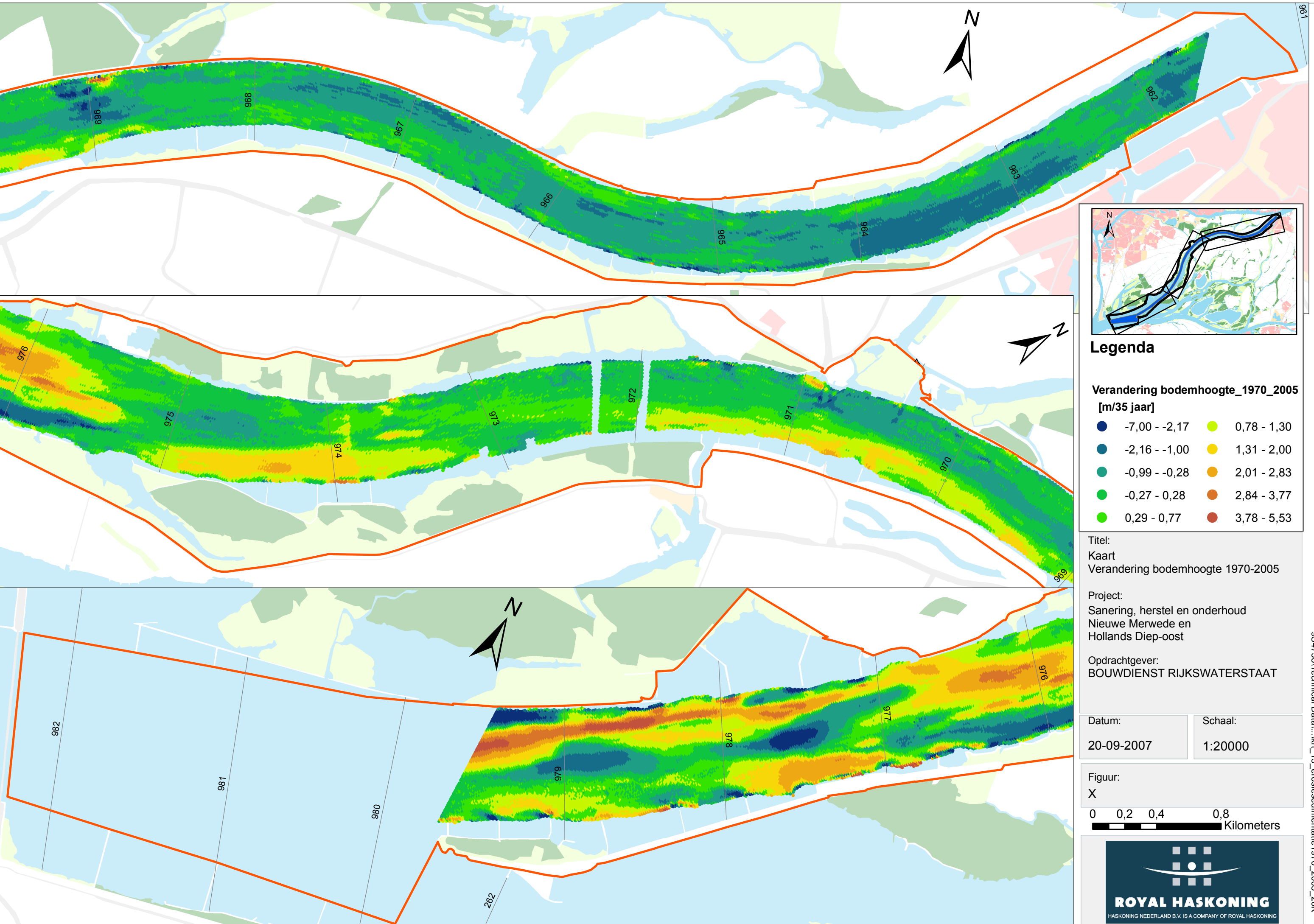
Opdrachtgever:
BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

Datum: 30-08-2007

Schaal: 1:20000

Deelproduct 1
Bijlage: ?





Legenda

Verandering bodemhoogte_1970_2005 [m/35 jaar]

● -7,00 - -2,17	● 0,78 - 1,30
● -2,16 - -1,00	● 1,31 - 2,00
● -0,99 - -0,28	● 2,01 - 2,83
● -0,27 - 0,28	● 2,84 - 3,77
● 0,29 - 0,77	● 3,78 - 5,53

Titel:
 Kaart
 Verandering bodemhoogte 1970-2005

Project:
 Sanering, herstel en onderhoud
 Nieuwe Merwede en
 Hollands Diep-oost

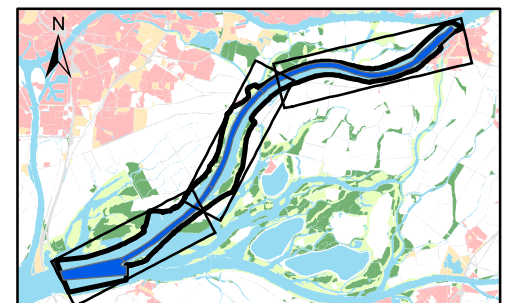
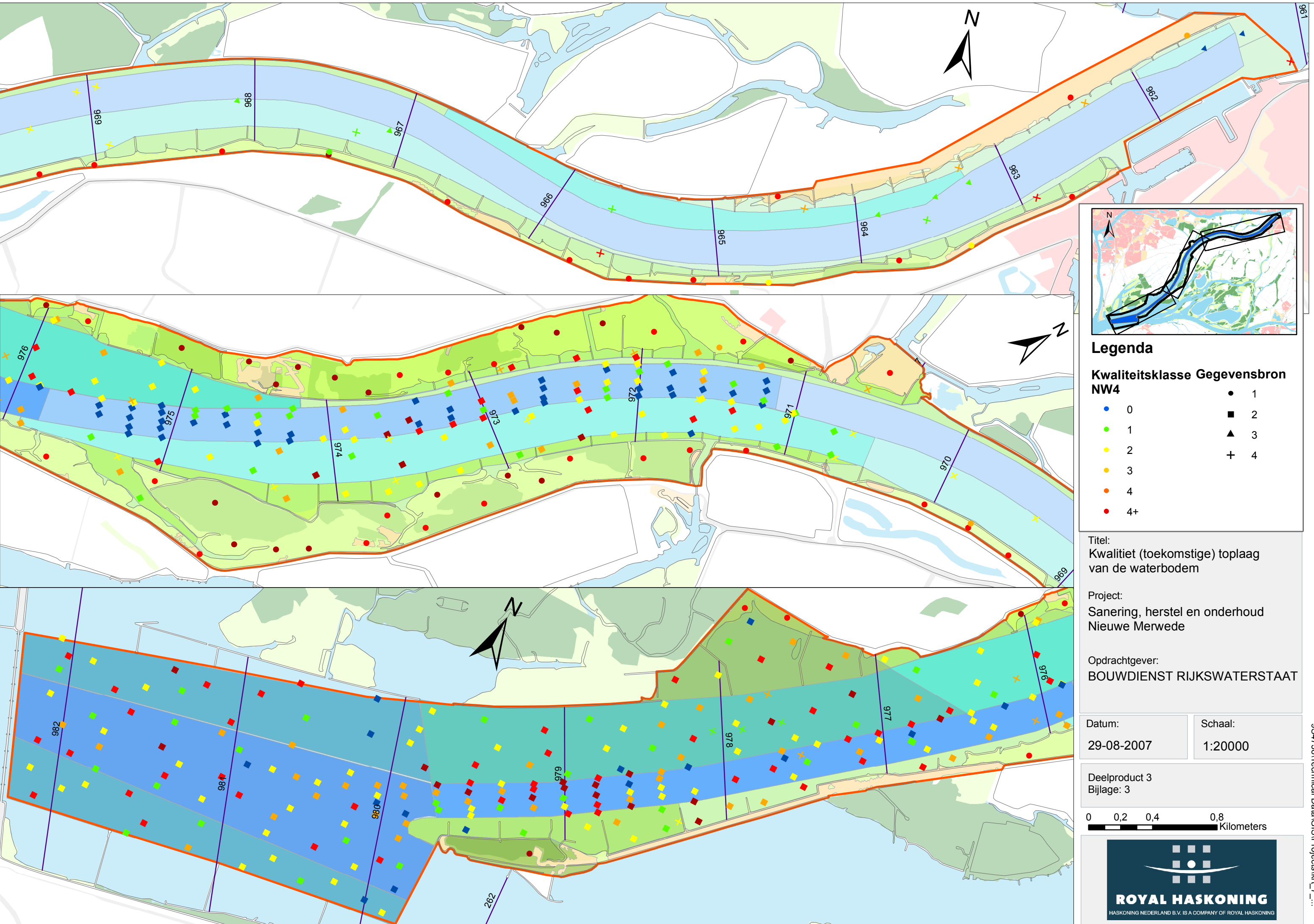
Opdrachtgever:
 BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

Datum: 20-09-2007

Schaal: 1:20000

Figuur: X





Legenda

Kwaliteitsklasse Gegevensbron NW4

●	1
■	2
▲	3
+	4

●	0
●	1
●	2
●	3
●	4
●	4+

Titel:
Kwaliteit (toekomstige) toplaag van de waterbodem

Project:
 Sanering, herstel en onderhoud Nieuwe Merwede

Opdrachtgever:
 BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

Datum:
 29-08-2007

Schaal:
 1:20000

Deelproduct 3
 Bijlage: 3

