

Hydraulische verkenning Graafsche waard

Afstudeerverslag

Universiteit Twente in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland

Enschede, 3 juni 2004



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



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Colofon:

Documenttitel:	Hydraulische verkenning Graafsche waard (afstudeerverslag)
Auteur:	Erno de Graaf
Opleiding:	Civiele Techniek, Universiteit Twente
Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, onderafdeling Rivierkunde
Begeleiding:	Frans Berben, Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland Jan Ribberink, Universiteit Twente Denie Augustijn, Universiteit Twente René Buijsrogge, Universiteit Twente
Plaats en datum:	Enschede, 3 juni 2004
Foto's omslag:	Boven: Overzichtsfoto Graafsche waard Linksonder: Knik in de bandijk Rechtsonder: Oostelijk deel Graafsche waard (met camping)

In dit rapport wordt in beginsel de visie van de auteur weergegeven, niet noodzakelijkerwijs de visie van Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland © 2004

Voorwoord

Dit rapport is het afstudeerverslag van mijn studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd voor Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland tussen oktober 2003 en juni 2004. In december 2003 en januari 2004 heb ik bij Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland aan mijn afstudeeronderzoek gewerkt. De overige maanden mocht ik een werkplek op de UT gebruiken.

De periode in Arnhem was een leuke afwisseling. Het is erg interessant om een tijdje dicht op het beleid te zitten en toegang te hebben tot de informatieberg bij Rijkswaterstaat. Tevens was het een prettige kennismaking met de beroepspraktijk.

Gedurende mijn afstudeerperiode heb ik vanuit Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland twee keer een nieuwe begeleider gekregen. De eerste begeleider, Jan-Paul Boutkan, kreeg een aanbod van de gemeente Enschede en is van baan veranderd. De tweede begeleider, Robert Verhoeven, volgt tegenwoordig een opleiding tot brandweercommandant. Zijn vervanger, Frans Berben, is de laatste vier maanden mijn begeleider geweest vanuit Rijkswaterstaat. Ik denk dat deze wisselingen een positief effect hebben gehad op het eindresultaat, doordat het onderzoek vanuit verschillende invalshoeken benaderd is. Ik wil hen allen bedanken voor de begeleiding.

Ook ben ik veel dank verschuldigd aan mijn begeleiders van de Universiteit Twente: Jan Ribberink, Denie Augustijn en René Buijsrogge. Zij hebben van het begin tot het einde veel interesse getoond in mijn onderzoek en nuttig commentaar geleverd. Een laatste dankwoord is voor mijn ouders, zonder wie deze studie überhaupt niet mogelijk was geweest, en natuurlijk voor Loes, als dank voor alle steun, communicatiekundige controles, lunches en koffiepauzes.

In het rapport wordt soms naar de bijlagen verwezen. Deze zijn als PDF-document te vinden op de bijgeleverde CD.

Erno de Graaf
Enschede, 3 juni 2004

Samenvatting

In de Nederlandse wet is per dijkkring een aanvaarde inundatiekans (overstromingskans) vastgelegd. Voor de dijkringen langs het bovenstroomse gedeelte van de grote rivieren is deze kans 1/1250 per jaar. Voor de Rijntakken was de rivierafvoer behorend bij deze inundatiekans, de maatgevende afvoer (MA), 15.000 m³/s bij Lobith. Sinds 2001 is de MA 16.000 m³/s. Dit betekent dus dat de inundatiekans, door de hogere maatgevende afvoer, groter is dan wettelijk vastgelegd is. Om deze inundatiekans weer binnen aanvaardbare grenzen te krijgen, moet de afvoercapaciteit van de rivier vergroot worden. Deze grotere afvoercapaciteit zou bereikt kunnen worden door dijkverhoging of door het verruimen van het rivierdwarsprofiel. Het kabinet heeft echter vastgesteld dat deze grotere afvoercapaciteit bereikt moet worden door het verruimen van het rivierdwarsprofiel.

In een onveranderd rivierprofiel zou de hogere MA tot hogere waterstanden leiden. Er moeten dus maatregelen in het rivierbed genomen worden die deze waterstandstijging compenseren. Voor het traject langs de Graafsche waard is de waterstandstijging 4,5 cm. Dit wordt bij Rijkswaterstaat de hydraulische taakstelling genoemd. Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een aantal nieuwe inrichtingsvoorstellen die minimaal 4,5 cm waterstanddaling realiseren, zodat de waterstandstijging als gevolg van een hogere MA gecompenseerd wordt. Vanwege de scherpe knik in de banddijk, die opstuwing veroorzaakt, lijkt de Graafsche waard geschikt voor dijkverlegging. Bij het ontwerpen van de inrichtingsvoorstellen gaat daarom extra aandacht uit naar dijkverlegging.

Voor het ontwerpen van de inrichtingsvoorstellen is eerst een vooronderzoek uitgevoerd met het 1-dimensionale model voor waterbeweging SOBEK. In SOBEK is het mogelijk om snel een schematisatie te veranderen en het effect daarvan op de waterstand door te rekenen. Eerst is het effect van een aantal maatregelen op de waterstanden berekend. Uit deze berekeningen blijkt dat alleen dijkverlegging en uiterwaardverlaging als enkele maatregel in staat zijn aan de taakstelling te voldoen. Vegetatieontwikkeling zorgt voor verdere waterstandstijging. Op basis van die resultaten zijn daarna vier inrichtingsvoorstellen ontwikkeld. Twee daarvan zijn op basis van het huidige landgebruik (agrarisch gebruik) ontwikkeld. De twee andere inrichtingsvoorstellen zijn ontwikkeld op basis van natuurontwikkeling omdat natuurontwikkeling het vigerende beleid is. Het effect van de inrichtingsvoorstellen op de waterstanden is berekend met SOBEK. De inrichtingsvoorstellen zijn getoetst aan de hydraulische taakstelling (realiseert de maatregel minimaal 4,5 cm waterstanddaling?) en aan het gewenste landgebruik. De twee beste inrichtingsvoorstellen zijn vervolgens gedetailleerder uitgewerkt en het effect van deze inrichtingsvoorstellen op de waterstand is berekend met het 2-dimensionale model WAQUA.

Bij de projectorganisatie 'Ruimte voor de Rivier' bestaat reeds een inrichtingsvoorstel dat meer waterstanddaling realiseert dan de taakstelling vereist:

- R52-2: ontwikkelen van natuurlijk grasland en een kleine dijkverlegging.

In dit onderzoek zijn nog eens twee inrichtingsvoorstellen ontwikkeld die voldoende waterstanddaling realiseren:

- HLbinnen: behoud van huidig landgebruik (agrarische productie) en een kleine dijkverlegging;
- NATbinnen: natuurontwikkeling en een grote dijkverlegging.

Ongeacht het toekomstige landgebruik is een dijkverlegging de beste maatregel om de taakstelling in de Graafsche waard te realiseren. Zonder dijkverlegging zal de taakstelling bereikt moeten worden met maatregelen in het zomerbed en/of in andere uiterwaarden. Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland kan met de resultaten uit dit onderzoek het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' overtuigen van het nut van dijkverlegging.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Woordenlijst en afkortingenlijst.....	4
Woordenlijst	4
Afkortingenlijst	5
1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doelstelling	7
1.3 Afbakening.....	7
1.4 Onderzoeksopzet.....	9
2. Beleid	10
2.1 Wetgeving hoogwaterbescherming	10
2.2 Ruimte voor de rivier.....	11
3. Gebiedsbeschrijving	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Waardering	13
3.3 Omliggende uiterwaarden.....	14
3.4 Binnendijks	14
4. Verantwoording modelkeuze	15
4.1 Beschikbare modellen	15
4.2 Keuze modelgebruik voor dit onderzoek	16
5. Hydraulische taakstelling.....	18
5.1 Inleiding	18
5.2 Berekening met SOBEK	18
5.3 Berekening met WAQUA	20
5.4 Conclusie	20
6. Mogelijke stroomverruimende maatregelen	22
6.1 Inleiding	22
6.2 Dijkverlegging	23
6.3 Verwijderen knelpunten	23
6.4 Verlaging van de kribben	24
6.5 Zomerbedverdieping	24
6.6 Verlaging van het winterbed	25
6.7 Aanleg open water	26
6.8 Vegetatieontwikkeling in het winterbed.....	26
6.9 Veranderingen aan zomerkade	27
6.10 Conclusies	27
7. Inrichtingsvoorstellen.....	29
7.1 Bestaande inrichtingsvoorstellen	29
7.2 Nieuwe inrichtingsvoorstellen	31
7.3 Selectie beste inrichtingsvoorstellen.....	35
8. Uitwerking inrichtingsvoorstellen.....	38
8.1 Huidig landgebruik binnendijks (HLbinnen)	38
8.2 Natuurontwikkeling binnendijks (NATbinnen)	41
9. Discussie	47
9.1 Onderzoeksmethode	47
9.2 Inrichtingsvoorstellen	49
10. Conclusies.....	51
10.1 Inrichtingsvoorstellen	51
10.2 Gebruik SOBEK en WAQUA en onzekerheden	51
11. Aanbevelingen.....	53
Bronvermelding	54
Literatuur.....	54
Internet.....	56
Modellen	56

Woordenlijst en afkortingenlijst

Woordenlijst

Afvoercapaciteit

Het grootste volume water dat per tijdseenheid door de rivier kan passeren.

Autonome daling van de zomerbedbodem

Daling van de zomerbedbodem met ongeveer 1 cm per jaar als gevolg van normalisatiewerkzaamheden in het verleden. Vooral in het bovenstroomse deel van de Nederlandse Rijntakken.

Bandijk

Dijk die het binnendijkse gebied beschermt tegen overstromingen.

Benedenstrooms

Verder stroomafwaarts langs de rivier.

Betrekkingsslijnen

Tabellen die voor een groot aantal locaties in de rivier de waterstand koppelen aan een frequentie van voorkomen.

Binnendijks

Binnen de bandijken gelegen. Dit is het deel van Nederland waar geen directe rivierinvloed verwacht wordt.

Bovenstrooms

Verder stroomopwaarts langs de rivier.

Buitendijks

Buiten de bandijken gelegen. Het zomerbed en het winterbed van de rivier.

dq-criterium

Criterium waarmee bepaald kan worden waar uiterwaardverlaging het meeste effectief is.

Ecologische hoofdstructuur

Een netwerk van bestaande en nog te ontwikkelen natuurgebieden in Nederland.

Hoogwatervrij terrein

Deel van de uiterwaard waar geen inundatie optreedt tijdens hoogwaterperiodes.

Getijdynamiek

Variatie in waterstand en stroomsnelheid als gevolg van het getij.

Gors

Buitendijks aangeslibd land, dat zelden onderloopt.

Hydraulische taakstelling

Het verschil in waterstand langs de rivieras tussen de situatie met 15.000 m³/s (afvoer bij Lobith) en 16.000 m³/s, bij gelijkblijvende benedenstroomse waterstand en rivierprofiel.

Inundatie

Het onder water komen te staan van lage gebiedsdelen.

Inundatiefrequentie

Aantal keer per tijdseenheid dat een bepaalde locatie langs de rivier onder water staat.

Krib

Een gedeeltelijke dam loodrecht op de stroom en meestal tegenover elkaar liggend aan de oevers van het zomerbed van een rivier. Aangebracht ter stabilisatie van de stroom in het zomerbed.

Maatgevend HoogWaterstanden (MHW)

Ontwerppeil volgens de norm van artikel 3.2 van de Wet op de Waterkering.

Maatgevende afvoer

Afvoer die gemiddeld eens in de 1250 jaar voorkomt (dit was 15.000 m³/s bij Lobith. Sinds 2001 16.000 m³/s).

Mediaan rivierpeil

De waterstand die 50% van de tijd overschreden wordt.

Nikuradse ruwheid

Parameter die de weerstand uitgeoefend door een materiaal op de vloeistofstroming uitdrukt in [m].

Ooibos

Bostype bestand tegen (veelvuldige) overstromingen.

Opstuwing

Verhoging van de waterstand.

Overeengekomen Laagste Rivierstand

De waterstand die 5% van de tijd onderschreden wordt. Afspraken over vaargeulafmetingen voor de scheepvaart worden vaak gemaakt op basis van deze waterstand.

Overlaten

Attribuut van WAQUA om energieverlies bij steile verhangen te simuleren.

q-criterium

Criterium dat de meest geschikte locatie voor vegetatieontwikkeling aangeeft.

Q-h relatie

Het verband tussen het debiet (Q) en de waterstand (h) op een bepaalde locatie.

Rivierdynamiek

Veranderingen in het riviersysteem. Dit omvat waterstandvariatie, morfologische processen, successie etc.

Stationair debiet

Rivierafvoer constant in de tijd.

Taakstelling

Zie hydraulische taakstelling

Uiterwaard

Buitendijks gelegen gronden tussen de rivieroever en de bandijk.

Winterdijk

Zie bandijk

Zomerdijk/zomerkade

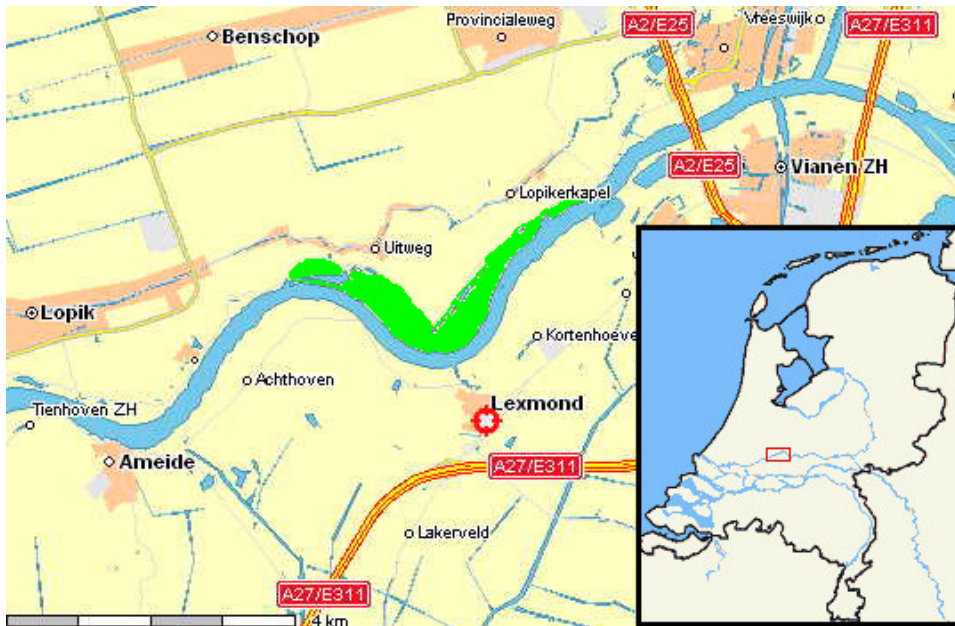
Kade die een deel van de uiterwaard beschermt tegen frequente inundaties.

Afkortingenlijst

15.000 golf	Hoogwatergolf met een top van 15.000 m ³ /s bij Lobith. Zie voor de vorm van de 15.000 golf figuur B2.5.
16.000 golf	Hoogwatergolf met een top van 16.000 m ³ /s bij Lobith.
EHS	Ecologische hoofdstructuur
HR 1996	Hydraulische randvoorwaarden 1996. Officiële waterstanden die de dijken moeten kunnen keren. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996)
HR 2001	Hydraulische randvoorwaarden 2001. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001)
MA	Maatgevende afvoer
MHW	Maatgevende hoogwaterstanden
OLR	Overeengekomen Laagste Rivierstand
RIZA	Rijksinstituut voor Zoet- en Afvalwaterbehandeling
RvR	Ruimte voor de Rivier

1. Inleiding

Dit onderzoeksrapport is het verslag van een hydraulische verkenning voor de Graafsche waard. De hydraulische verkenning bestaat uit het onderzoeken van een aantal mogelijke rivierverruimende (afvoercapaciteitverhogende) maatregelen en het doen van enkele inrichtingsvoorstellen. De Graafsche waard is een uiterwaard langs de Lek (rivierkilometer 953,3 t/m 959,1), enkele kilometers stroomafwaarts van Vianen (figuur 1.1). Een uitgebreide beschrijving van de Graafsche waard is gegeven in hoofdstuk 3.



Figuur 1.1: Locatie Graafsche waard (groen)

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding en het kader van deze hydraulische verkenning. Na de aanleiding, paragraaf 1.1, wordt de doelstelling van dit onderzoek geformuleerd in paragraaf 1.2. Paragraaf 1.3 geeft de afbakening van het onderzoek en tot slot beschrijft paragraaf 1.4 de onderzoeksopzet.

1.1 Aanleiding

In de Nederlandse wet is per dijkkring een aanvaarde inundatiekans vastgelegd (Wet op de Waterkering, 1996). Voor de dijkringen langs de grote rivieren is deze kans meestal 1/1250 per jaar. Voor de Rijntakken was de rivierafvoer behorend bij deze inundatiekans, de maatgevende afvoer (MA), 15.000 m³/s bij Lobith. Doordat de hoogwaters van 1993 en 1995 zijn meegenomen in de nieuwste statistische berekeningen is de MA sinds 2001 16.000 m³/s bij Lobith. In het kabinetsstandpunt 'Ruimte voor de Rivier' heeft het kabinet aangegeven dat de stijging van de MA niet mag leiden tot hogere waterstanden. Meer over de wetgeving en het beleid met betrekking tot hoogwaterbescherming is te vinden in hoofdstuk 2.

De Graafsche waard valt binnen het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland. Het verzoek een hydraulische verkenning uit te voeren kwam dan ook vanuit deze organisatie. Er is extra aandacht voor dijkverlegging gevraagd omdat de Graafsche waard een zeer geschikte locatie hiervoor is. Binnendijs staan weinig woningen en de bandijk maakt een scherpe knik zodat tijdens hoogwaterperiodes opstuwing ontstaat om het energieverlies als gevolg van de knik te compenseren. Eliminatie van de knik zou de energieverliezen verminderen waardoor de afvoercapaciteit van de rivier toeneemt.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze hydraulische verkenning is een aantal inrichtingsvoorstellen ontwerpen die voldoen aan de hydraulische taakstelling. De hydraulische taakstelling is de stijging van de waterstand als gevolg van de toegenomen MA op het riviertraject langs de Graafsche waard. Inrichtingsvoorstellen voldoen aan de hydraulische taakstelling als ze deze waterstandstijging weer ongedaan maken.

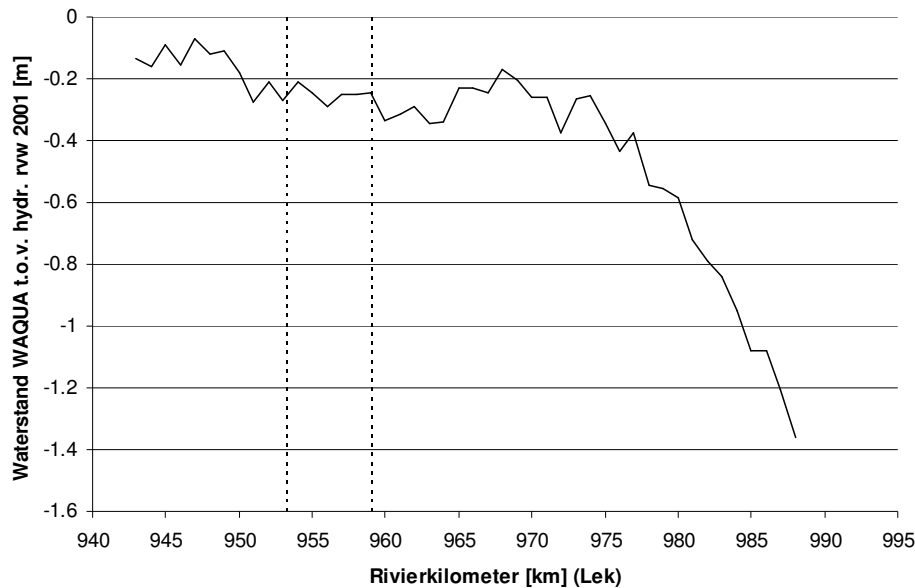
Voor de hydraulische verkenning zullen twee waterbewegingsmodellen gebruikt worden: Het ééndimensionale SOBEK en het tweedimensionale WAQUA. Het vergelijken van resultaten, betrouwbaarheid en toepassingsgebied van beide modellen is een neven doel van dit onderzoek. Deze vergelijking moet inzicht geven in de bruikbaarheid van 1D en 2D modellen bij het uitvoeren van een hydraulische verkenning op uiterwaardniveau.

1.3 Afbakening

In grote lijnen ziet de afbakening van het onderzoek er als volgt uit. Een toelichting op de opsomming is in de onderstaande alinea's gegeven.

- Alleen invloed rivierafvoer meenemen en niet van zeewaterstand en wind;
- Het onderzoek is gericht op waterstanden en niet op dijkhoogte/sterkte;
- Een kwantitatieve hydraulische toetsing van de resultaten, geen morfologische berekeningen;
- Er worden alleen maatregelen in de Graafsche waard voorgesteld;
- Maatregelen in het zomerbed worden wel onderzocht, maar niet in inrichtingsvoorstellen verwerkt.

In Nederland wordt de veiligheid van de dijken getoetst aan de hydraulische randvoorwaarden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001). Deze hydraulische randvoorwaarden geven voor elke dijkkring de waterstanden die de dijken veilig moeten kunnen keren. Voor het bovenstrooms deel van het rivierengebied worden de zogenaamde Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW) berekend op basis van de Maatgevende Afvoer (MA). Voor de waterstanden in het benedenstrooms deel van het rivierengebied, waar de Graafsche waard deel van uitmaakt, zijn zowel rivierafvoer, als zeewaterstand en windkracht/richting bepalend. In figuur 1.2 is het verschil te zien tussen de waterstanden berekend op basis van alleen de rivierafvoer, dus zonder invloed van extreme omstandigheden op zee en wind) en de officiële maatgevende hoogwaterstanden uit de hydraulische randvoorwaarden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001). Verder benedenstrooms, bij Krimpen aan de Lek (rivierkilometer 989), zorgen zeewaterstand en wind voor waterstanden bijna 1,4 m hoger dan op basis van alleen de MA verwacht mag worden. Ter hoogte van de Graafsche waard (tussen de stippellijnen, rivierkilometer 953,3-959,1) is het verschil kleiner dan 0,3 m. Dit is nog maar 20% van het verschil op de benedenstroomse modelrand. De windinvloed en de invloed van de zeewaterstand is dus al voor het grootste deel gereduceerd. In dit onderzoek worden twee modellen gebruikt waarin zee- en windinvloeden niet verwerkt zijn. Er wordt aangenomen dat de invloed van zee en wind buiten beschouwing gelaten kan worden zonder dat dit een groot effect heeft op de onderzoeksresultaten.



Figuur 1.2: Effect niet meenemen zee- en windinvloed op maatgevende waterstanden

Tijdens de hydraulische verkenning wordt naar de waterstand gekeken en niet naar de dijkhoogte. De reden hiervoor is de ligging van de Graafsche waard in het overgangsgebied tussen voornamelijk door rivierafvoer bepaalde waterstanden en voornamelijk door zeewaterstand bepaalde waterstanden. Deze ligging heeft tot gevolg dat de Graafsche waard onder de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' valt, waardoor stijging van de MA niet tot hogere waterstanden mag leiden (zie hoofdstuk 2). De MA is de afvoer die met een kans van 1/1250 jaar optreedt. Tegelijkertijd worden de MHW mede bepaald door de zeewaterstand en is de geaccepteerde inundatiekans 1/2000 per jaar. De dijkhoogte is dus hoger dan je op basis van de MA zou verwachten. De situatie samenvattend mogen de MHW niet stijgen, ondanks de aanwezige overhoogte van de dijken. Omdat dit onderzoek in het kader van 'Ruimte voor de Rivier' wordt uitgevoerd is besloten om alleen de MHW te beschouwen en niet de dijk(over)hoogte.

Bij het beoordelen van de resultaten wordt vooral naar de waterstanden gekeken. Morfologische berekeningen zouden veel tijd kosten en het onderzoek te groot maken voor de beschikbare tijd. Het voorkomen van sedimentatie in de hoofdgeul krijgt wel kwalitatief aandacht bij het ontwerpen van de inrichtingsvoorstellen.

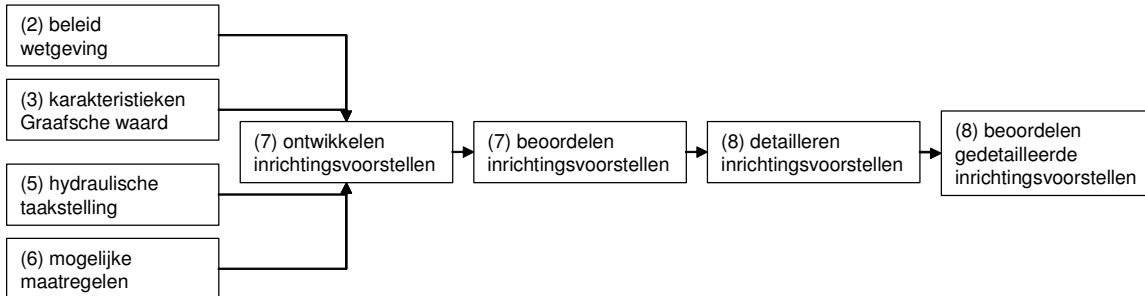
De beoordeling van de resultaten is gebaseerd op het rivierkundig beoordelingskader uit 1999 (Team ANS / van Alphen, 1999). Gedurende het onderzoek is een nieuw rivierkundig beoordelingskader uitgebracht. Dit kon echter niet meer worden meegenomen in dit onderzoek omdat een aantal essentiële stappen al volgens de oude beoordelingsmethode waren uitgevoerd. In de discussie wordt kort ingegaan op het effect van het beoordelingskader op de resultaten.

Tijdens de hydraulische verkenning worden alleen maatregelen in de Graafsche waard onderzocht. Als blijkt dat de hydraulische taakstelling niet met maatregelen in de Graafsche waard gerealiseerd kan worden, wordt dit als onderzoeksresultaat gepresenteerd. Er worden dus geen maatregelen buiten de Graafsche waard onderzocht.

Maatregelen in het zomerbed langs de Graafsche waard worden wel verkend, maar niet in de inrichtingsvoorstellen verwerkt. Het vigerende beleid (hoofdstuk 2) is er namelijk op gericht zomerbedmaatregelen alleen toe te passen als er geen andere opties zijn.

1.4 Onderzoeksopzet

Het onderzoek bestaat grofweg uit twee delen: een voorgrondonderzoek en het ontwerpen van de inrichtingsvoorstellen. Een schematische weergave van de onderzoeksopzet is te vinden in figuur 1.3. Tussen de haakjes staan de hoofdstuknummers.



Figuur 1.3: Schematische weergave onderzoeksopzet

Het vooronderzoek bestaat eerst uit een samenvatting van het vigerende beleid (hoofdstuk 2) en een gebiedsverkenning van de Graafsche waarde (hoofdstuk 3). Daarna worden in hoofdstuk 4 de modellen besproken waarmee de berekeningen van hoofdstuk 5, 6, 7 en 8 uitgevoerd gaan worden. Vervolgens wordt de hydraulische taakstelling berekend (hoofdstuk 5). De resultaten van hoofdstuk 2 en 3 geven een indicatie van de mogelijke maatregelen: welke maatregelen passen het best in het vigerende beleid? En welke maatregelen zijn er mogelijk gezien de karakteristieken van de Graafsche waarde? De effecten van de mogelijke maatregelen op de waterstanden worden vervolgens berekend in hoofdstuk 6.

Het tweede deel van dit onderzoek bestaat uit het ontwerpen en beoordelen van inrichtingsvoorstellen voor de Graafsche waarde. In hoofdstuk 7 worden er een aantal inrichtingsvoorstellen ontwikkeld op basis van een thema (natuur of huidig landgebruik) en een set uitgangspunten. Het combineren van uitgangspunten en de resultaten uit hoofdstuk 5 en 6 leidt tot de inrichtingsvoorstellen, die vervolgens kort beoordeeld worden. De beste inrichtingsvoorstellen worden daarna in hoofdstuk 8 gedetailleerder uitgewerkt.

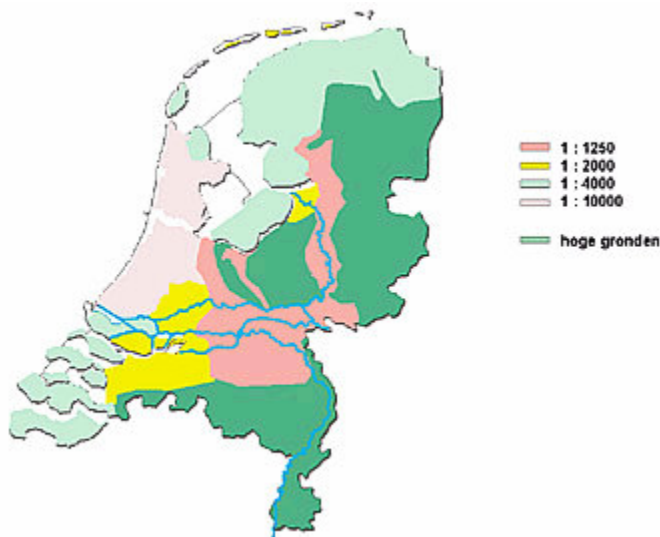
2. Beleid

In dit hoofdstuk wordt het vigerende rivierbeleid geanalyseerd. Het beleid geeft de globale richting aan die de inrichtingsvoorstellen in latere hoofdstukken volgen. Het vigerende beleid wordt verwoord in de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier'. Het richt zich op rivierverruiming en indien mogelijk natuurontwikkeling.

Hoofdstuk 2 bestaat uit twee delen: Paragraaf 2.1 beschrijft hoe de hoogwaterbescherming in Nederland wettelijk is geregeld. De concrete toepassing van de Wet op de Waterkering is beschreven in paragraaf 2.2.

2.1 Wetgeving hoogwaterbescherming

De Wet op de waterkering (1996), die in 1996 van kracht is geworden, geeft een samenhangend beeld van veiligheid, bestuur en beheer van de primaire waterkeringen. De Wet op de Waterkering verdeelt de overstroombare delen van Nederland in dijkkringgebieden. De veiligheidsnormen (geaccepteerde overstromingskans) van de dijkkringgebieden zijn afhankelijk van de economische waarde in de dijkkringgebieden (figuur 2.1).



Figuur 2.1: Veiligheidsnormen

De Wet op de waterkering legt de dagelijkse verantwoording voor aanleg en onderhoud van de waterkeringen bij de waterschappen. Het rijk beheert de keringen zonder achterland (bijv. de Afsluitdijk) en enkele primaire waterkeringen langs rivieren en kust die om uiteenlopende redenen beter bij het Rijk in beheer kunnen blijven. Daarnaast is het Rijk verantwoordelijk voor de handhaving van de kustlijn. De provincies hebben het toezicht op alle primaire waterkeringen en rapporteren daarover elke 5 jaar per dijkkring aan de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. Die geeft op basis daarvan een rapportage aan de Tweede Kamer.

De Wet op de waterkering verplicht de beheerders hun primaire waterkeringen iedere vijf jaar te toetsen op veiligheid. Hiertoe is de Leidraad Toetsen op Veiligheid opgesteld door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW, een adviescollege van de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat). Voor de toetsing worden iedere vijf jaar de geactualiseerde hydraulische randvoorwaarden (basisgegevens betreffende waterstanden en golven) berekend en vastgesteld door Rijkswaterstaat. Indien een dijkvak bij toetsing niet als veilig (voldoende hoog en voldoende sterk) beoordeeld wordt moet de beheerder verbeteringen aanbrengen.

2.2 Ruimte voor de rivier

De hoogwaters in december 1993 en januari 1995 hebben de aandacht voor hoogwaterbescherming en waterbeheer in het algemeen vergroot. De regering heeft naar aanleiding van de hoogwaters een commissie Waterbeheer 21^e eeuw ingesteld die adviseert over het waterbeheer van de toekomst (Commissie waterbeheer 21^e eeuw, 2000). Er zal een meer vooruitdenkende aanpak worden gehanteerd dan in de afgelopen eeuwen. Kort samengevat moet er meer geanticipeerd worden in plaats van gereageerd en het waterbeleid zal meer gericht zijn op waterbeheer dan op waterbeheersing.

In 1996 is de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' opgestart. In het kader van deze beleidslijn is voor de lange termijn de projectgroep Spankrachtstudie opgericht. In het eindrapport van deze projectgroep (Projectgroep Spankrachtstudie, 2002) blijkt dat Nederland de komende eeuw een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith mag verwachten. Het is mogelijk om deze afvoer veilig naar zee te loodsen, maar daarvoor zijn buitendijkse en ingrijpende binnendijkse maatregelen (retentie, groene rivieren en dijkverleggingen) nodig.

Voor de korte termijn loopt er een planstudie 'Ruimte voor de Rivier' die in 2006 moet resulteren in een planologische kernbeslissing (PKB) met voor elk stuk rivier de geplande maatregelen. De planstudie is opgestart naar aanleiding van een drietal ontwikkelingen:

- *Een verhoging van de MA (paragraaf 1.1) naar 16.000 m³/s (was 15.000 m³/s).*
Omdat de hoogwaters van 1993 en 1995 zijn meegenomen in de nieuwste statistische analyse is de MA verhoogd.
- *Landschappelijk en technische problemen bij dijkverhoging.*
Een hogere afvoer zal in een niet veranderend rivierprofiel hogere waterstanden tot gevolg hebben. Door hierop te reageren met dijkverhoging zal bij een eventuele overstroming, vanwege de grotere inundatiediepte, meer schade optreden. Bij gelijkblijvende overstromingskans neemt het risico (kans maal gevolg) dus toe. Bovendien passen hoge dijken niet in het landschap en is verdere dijkverhoging op de relatief slappe ondergrond niet altijd technisch mogelijk.
- *Wens tot natuurontwikkeling in en langs de rivier.*
De rapporten Plan Ooievaar (Bruin et al., 1987), Nadere Uitwerking Rivierengebied (Stuurgroep Rivierengebied, 1991) en Levende Rivieren (WNF, 1992) wijzen rond 1990 op de mogelijkheden tot het gedeeltelijk herstellen van natuurwaarden in en langs de rivieren. Inmiddels zijn de uiterwaarden langs de grote Nederlandse rivieren geheel aangewezen als onderdeel van de ecologische hoofdstructuur (EHS). Natuurontwikkeling krijgt dus bij elk uiterwaardinrichtingsplan aandacht.

De planstudie 'Ruimte voor de Rivier' moet dus leiden tot een inrichtingsplan voor het gehele rivierengebied. In dit plan moet voldoende ruimte zijn voor natuurontwikkeling en de hogere MA moet worden afgevoerd bij gelijkblijvende waterstanden. De afvoercapaciteit van de rivier zal vergroot moeten worden om de hogere afvoer en de natuurontwikkeling (vaak ruwheidverhoging) te compenseren. De mogelijke maatregelen die 'Ruimte voor de Rivier' hiervoor aandraagt zijn te vinden in hoofdstuk 6.

Op dit moment zijn er in het kader van 'Ruimte voor de Rivier' voor elke uiterwaard één of meerdere inrichtingsvoorstellen gemaakt. Met behulp van de blokkendoos, een programma dat ervan uitgaat dat de waterstanddaling van verschillende projecten kan worden gesommeerd, wordt nu het effect van maatregelen op de waterstand langs het gehele Rijnakkenstelsel beschouwd. De waterstandveranderingen in de blokkendoos zijn per inrichtingsvoorstel berekend met het 2-dimensionale model WAQUA.

Voor het traject langs de Graafsche waard zijn voorlopig vier opties in de blokkendoos opgenomen: een zomerbedverdieping en drie inrichtingsvoorstellen voor de Graafsche waard (zie hoofdstuk 7).

3. Gebiedsbeschrijving

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de Graafsche waard en het omringende gebied. Afhankelijk van de gebiedskenmerken kunnen in latere hoofdstukken de mogelijke maatregelen worden gedefinieerd.

Dit hoofdstuk bestaat uit vier paragrafen. Paragraaf 3.1 is een algemene paragraaf over de ligging van de Graafsche waard langs de Boven-Lek en de inrichting van de Graafsche waard. Paragraaf 3.2 gaat kort in op de waardering voor de Graafsche waard en paragraaf 3.3 behandelt de omliggende uiterwaarden. Aangezien dijkverlegging een van de mogelijke maatregelen is wordt tot slot het binnendijkse terrein langs de Graafsche waard beschreven in paragraaf 3.4.

3.1 Inleiding

De Graafsche waard ligt langs de rechteroever van de Boven-Lek even stroomafwaarts van Vianen. De Boven-Lek is de overgang van het boven- naar het benedenrivierengebied. De uiterwaarden worden hier smaller en de dijken hoger. Er is een lichte invloed van het getij merkbaar. Het verschil tussen eb en vloed is bij Schoonhoven (rivierkilometer 971), bij gemiddelde afvoer, nog ongeveer 1 m (www.actuelewaterdata.nl). Benedenstrooms van stuw Hagestein (rivierkilometer 947) is het verschil tussen eb en vloed 1 à 1,5 m. Er kan hier echter sprake zijn van extra opstuwing tegen de stuw. De invloed van het getij ter hoogte van de Graafsche waard wordt geschat op ongeveer 1 m. Als de afvoer hoger wordt, wordt de invloed van het getij echter kleiner. De Boven-Lek is een vrij naar zee afstromende rivier. Er is echter, vooral tijdens periodes met een lage afvoer, een stuwende werking van de zeewaterstand merkbaar (Wolters et al. 2001).

Figuur 3.1 is een luchtfoto van de Graafsche waard. Er is een bijna haakse hoek in de winterdijk te zien. Het verschil in schittering aan het wateroppervlak links en rechts op de afbeelding wordt veroorzaakt doordat figuur 3.1 uit twee aan elkaar geplakte foto's bestaat. De meest recente verandering in de uiterwaard is de aanleg van de strang, links op de foto, geweest in 1989 (zie bijlage B1.3.1).



Figuur 3.1: Luchtfoto Graafsche waard

De Graafsche waard heeft een oppervlak van 188 ha en een oeverlijn van 5314 m (IVR-DSS versie 3.16). Het grootste deel van de uiterwaard is in gebruik voor de landbouw, als grasland of akker (zie bijlage B1.1). Een zomerkade beschermt het grootste deel van de Graafsche waard tegen inundaties. Deze zomerkade is zo hoog dat er vrijwel nooit water in de uiterwaard staat (ongeveer eens in de 7 jaar).

Recreatie is alleen in het meest oostelijke deel van de Graafsche waard te vinden. Hier ligt op hooggelegen terrein een camping, met daarbij een jachthaven. De rest van de Graafsche waard is niet toegankelijk voor recreatief gebruik.

Natuurlijke ecotopen zijn vooral langs de winterdijk te vinden (zie figuur B1.1, de ecotopenkaart). Deze natuur bestaat uit: bos, moeras, ruigte en ondiep water. In 't Horde, geheel Westelijk in de Graafsche waard ligt een aangekoppelde strang met op de oever een zachthoutoibosje.

De logische relatie tussen landgebruik en bodemhoogte is heel duidelijk zichtbaar in de Graafsche waard. Als de ecotopenkaart en de hoogtekaart (figuren B1.1 en B1.2) naast elkaar worden gelegd blijken natuurlijke ecotopen voornamelijk op de voor landbouw te natte, laaggelegen locaties te liggen. De camping bevindt zich juist op hooggelegen terrein.

3.2 Waardering

Op de waardevolle gebiedenkaart (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002) staan geen locaties in de Graafsche waard aangegeven. Er kan dus geconcludeerd worden dat voor het project 'Ruimte voor de Rivier' de Graafsche waard geen bijzondere waarden binnen de uiterwaardgrenzen heeft.

De Graafsche waard is met de huidige inrichting een typische Lek-uiterwaard. Het landschap is open. Ten noorden van de Graafsche waard is lintbebouwing te zien langs de weg Uitweg-Lopikerkapel (figuur 3.1) Lintbebouwing is typerend voor het rivierenlandschap langs de Lek. In IVR-DSS versie 3.16 (1999) wordt het landschap van de Graafsche waard gewaardeerd met een 2 (op een schaal van 3). IVR-DSS is een, op SOBEK gebaseerd, beslissings ondersteunend systeem met een grote database uiterwaardgegevens.

De natuur van de Graafsche waard wordt in IVR-DSS versie 3.16 met een 3 gewaardeerd, de hoogste score. Dit ondanks het feit dat slechts een klein deel van de uiterwaard uit natuurlijke ecotopen bestaat. De Graafsche waard is niet aangewezen in het kader van de vogel- of habitatrichtlijn (LNV, 2001), zodat geconcludeerd mag worden dat de natuurwaarden niet bijzonder hoog zijn.

Ook wat cultuurhistorische waarden betreft zijn de meningen verdeeld. In IVR-DSS (1999) worden deze met een 1 gewaardeerd, de laagst mogelijke score. Het rapport 'alternatieven voor inrichting rijntakken' (WL delft, 1999b) heeft het daarentegen over hoge cultuurhistorische landschapswaarden vanwege de percelering, die het patroon van strangen volgt. Op de luchtfoto, figuur 3.1, is echter niet te zien dat de percelering de strangen volgt. In de figuur is echter wel de percelering in stroken te zien die typisch is voor het Nederlandse laagveengebied. Deze percelering loopt binnendijs door.

De LNC-waarden (landschap, natuur en cultuurhistorie) samenvattend, scoort de Graafsche waard gemiddeld. De belevingswaarde is niet zo hoog dat iedere verandering in de uiterwaard geblokkeerd moet worden. Anderzijds zijn vooral de weidsheid en de percelering bijzonder en is het aan te raden om hier bij een eventuele herinrichting rekening mee te houden. Er zijn in het kader van het project Ruimte voor de Rivier drie mogelijkheden:

- huidig landgebruik, de huidige waardering voor het gebied verandert niet;
- natuur, met zo goed mogelijk behoud van de huidige waarden zoals de percelering;
- natuur, zonder behoud van de huidige waarden.

De inrichtingsvoorstellen die nu bij het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' in beeld zijn gaan vooral uit van de tweede optie; natuur met zo goed mogelijk behoud huidige waarden. Tijdens deze hydraulische verkenning worden een aantal nieuwe inrichtingsvoorstellen ontwikkeld die uitgaan van huidig landgebruik en natuur natuur, zonder behoud van de huidige waarden.

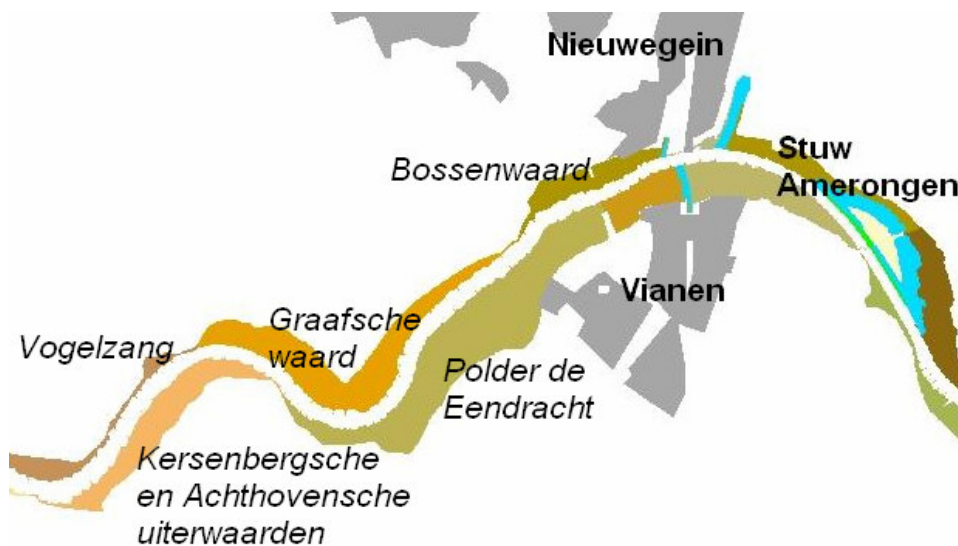
Het is daarna aan het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' om een keuze tussen deze opties te maken op basis van politieke voorkeuren, budget, inspraak van belangengroepen etc.

3.3 Omliggende uiterwaarden

De Graafsche waard loopt van rivierkilometer 953,3 tot rivierkilometer 959,1. In figuur 3.2 zijn de omliggende uiterwaarden te zien. Tot rivierkilometer 957.6 ligt tegenover de Graafsche waard de Polder de Eendragt. Vanaf rivierkilometer 957.8 bevinden zich aan de overkant van de Lek de Kersenbergse en Achthovensche uiterwaarden.

In het kader van het project Ruimte voor de Rivier loopt er ook voor deze uiterwaarden projecten die de doorvoercapaciteit moeten vergroten. In dit project wordt er van uit gegaan dat in elke uiterwaard de taakstelling wordt behaald.

Een project dat zeker uitgevoerd wordt is het deel Lexmond-West van project 'Inrichting Zuidelijke Lekuiterwaarden' (paragraaf B1.3.2). Dit project, een strang in het Westelijke deel van Polder de Eendracht, levert een waterstanddaling van 0,25 cm. Deze waterstanddaling is niet meegenomen in de berekening van de taakstelling omdat de schematisering hiervan veel tijd zou kosten. Bovendien is het een zeer kleine waterstanddaling verwaarloosbaar ten opzichte van de taakstelling voor de Graafsche waard.



Figuur 3.2: Indeling uiterwaarden

3.4 Binnendijks

Aangezien een binnendijkse dijkverlegging ook één van de mogelijke maatregelen is hoort ook een deel van het binnendijkse gebied ten noorden van de Graafsche waard tot het projectgebied. Het binnendijkse landgebruik bestaat voornamelijk uit landbouw. Het donkergroene perceel in figuur 3.1 is een boomkwekerij. Het gebied is relatief dun bevolkt. Er staan slechts drie boerderijen onder de lijn strang-camping.

De bodemhoogte binnendijks is ongeveer 0,6 m +NAP. Dit is laag vergeleken met de bodemhoogte buitendijks (paragraaf B1.2) die gemiddeld ongeveer 2 m +NAP bedraagt.

Helemaal rechtsboven in de foto is nog de bossage te zien op het terrein van een militair depot. In een van de inrichtingsvarianten uit het maatregelenboek wordt dit depot verwijderd (zie paragraaf 7.1)

4. Verantwoording modelkeuze

Dit hoofdstuk is de verantwoording voor het modelgebruik in de volgende hoofdstukken. In paragraaf 4.1 worden de beschikbare modellen gepresenteerd. Paragraaf 4.2 identificeert de eisen en wensen die voor deze hydraulische verkenning aan een model gesteld worden. Op basis van die informatie wordt beslist hoe de beschikbare modellen in dit onderzoek gebruikt worden.

4.1 Beschikbare modellen

In principe kunnen de berekeningen voor dit onderzoek met elk hydraulisch model uitgevoerd worden. Omdat het maken en calibreren van een schematisatie veel tijd kost is het van groot belang dat in het model al een complete schematisatie van de Graafsche waard en omgeving aanwezig is. Hierdoor vallen de meeste modellen af. Er zijn twee modellen beschikbaar met kant en klare schematisatie van de Graafsche waard en omgeving: het 1-dimensionale SOBEK en het 2-dimensionale WAQUA. Een uitgebreide beschrijving van deze modellen en de onderlinge verschillen is te vinden in bijlage B2.

Zowel SOBEK als WAQUA zijn numerieke modellen gebaseerd op de continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijkingen. Deze vergelijkingen zijn uitgewerkt tot de ondiepwatervergelijkingen en gediscrètiseerd.

SOBEK is ontworpen voor het simuleren en evalueren van grootschalige maatregelen in een rivierstelsel. Het model berekent de gemiddelde waarde van een aantal parameters over de gehele breedte (zomerbed, kribvakken en uiterwaarden) van de rivier. Per 500 meter rivier, in lengterichting, wordt een gemiddelde waarde uitgerekend. 500 meter rivier wordt dus in één punt samengevat voor een aantal parameters, zoals stroomvoerende dwarsdoorsnede, gemiddelde ruwheid, hydraulische straal, etc. De schematisatie van een rivier is een rij opeenvolgende punten. WAQUA daarentegen schematiseert de rivier als een rooster van rekenpunten. Het bevat de bovengenoemde parameters op veel meer plaatsen in de rivier (het model heeft een hoge resolutie). De beschikbare WAQUA-schematisatie is gebaseerd op rekenpunten om de 100 m (lengterichting) en 50 à 100 m (dwarsrichting), maar er bestaan al schematisaties met een fijner rooster. WAQUA is een dieptegemiddeld 2-dimensionaal model en rekent ook met dwarsstromingen. Omdat WAQUA een hoge resolutie heeft en 2-dimensionaal rekent kan dit model ook stromingspatronen in de uiterwaard, snelheidspatronen en lokale opstuwingen berekenen. Vanwege het grotere aantal rekenpunten per rivierkilometer is de rekentijd van een WAQUA-model in het algemeen langer dan de rekentijd van een SOBEK-model. Dit is afhankelijk van modelgrootte en randvoorwaarden.

Zowel SOBEK als WAQUA kunnen de werkelijkheid benaderen. Voorspellingen tot in de perfectie zijn echter niet mogelijk: SOBEK en WAQUA kunnen allebei de absolute waterstanden tot op 10 à 20 cm nauwkeurig voorspellen (Veen et al., 2002 en Ubels, 1986). Deze onnauwkeurigheid wordt deels veroorzaakt door modelaannames (1D/2D stroming) en de werking van het model, maar ook voor een groot deel door de kwaliteit van de schematisatie.

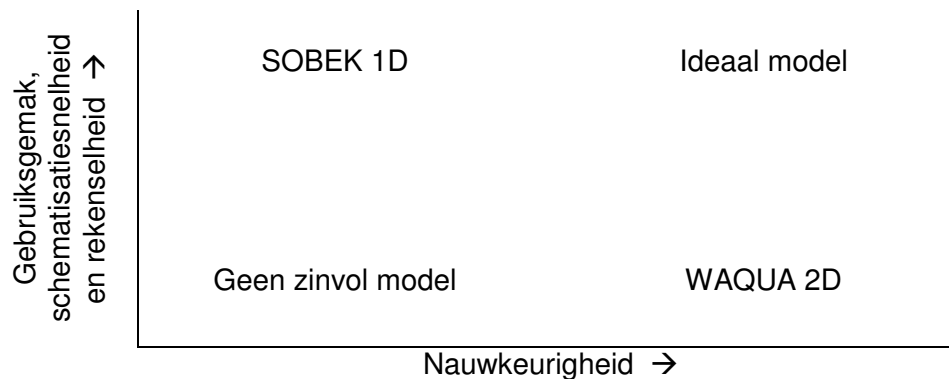
In dit onderzoek wordt vooral gekeken naar effecten van maatregelen op de waterstand. Over de nauwkeurigheid van WAQUA en SOBEK bij het berekenen van deze effecten is praktisch niets bekend, maar waarschijnlijk is deze nauwkeurigheid een stuk hoger dan bij de absolute waterstanden omdat slechts wordt gekeken naar waterstandeffecten als gevolg van een verandering in de schematisatie. De kwaliteit van de oorspronkelijke schematisatie is dan van minder belang.

De nauwkeurigheid van WAQUA bij het berekenen van effecten van maatregelen op de waterstand is naar alle waarschijnlijkheid groter dan de nauwkeurigheid van SOBEK, gezien het grotere aantal rekenpunten van WAQUA en het in rekening brengen van 2-dimensionale stromingen.

4.2 Keuze modelgebruik voor dit onderzoek

Het meest ideale model voor het simuleren van een riviersysteem zou snel de exacte waterstand en stroomsnelheid moeten berekenen. Verder zou dit model ook het sedimenttransport in elk 3-dimensionaal punt van een rivierprofiel moeten kunnen berekenen. Tenslotte zou men met behulp van dit model snel en eenvoudig een rivier moeten kunnen schematiseren. Maar dit model is echter niet operationeel beschikbaar. De modellen die beschikbaar zijn, zijn slechts een benadering van de werkelijkheid en hebben elk andere voor- en nadelen. Een model is nooit perfect, maar kan wel bruikbaar zijn als het in de juiste situatie gebruikt wordt.

In figuur 4.1 is schematisch de verhouding te zien tussen de beschikbare modellen, SOBEK en WAQUA, en een ideaal model. Met SOBEK is het mogelijk om snel te rekenen en schematiseren, terwijl WAQUA een hogere nauwkeurigheid bij het berekenen van waterstandeffecten van maatregelen heeft. Een model dat beide eigenschappen combineert zou ideaal zijn, maar bestaat niet.



Figuur 4.1: Schematische weergave positie beschikbare modellen t.o.v. ideaal model

Voor deze hydraulische verkenning moet een model voldoende nauwkeurig en voldoende gebruiksvriendelijk zijn. Verder moet het de resultaten in de gewenste vorm kunnen weergeven.

Met name voor gedetailleerde berekeningen voor de Graafsche waard lijkt het van belang, dat het model 2-dimensionaal is. De Graafsche waard ligt namelijk in de bocht van een rivier en de bandijk is een scherpe hoek is. De geometrie van de rivier is hier sterk 2-dimensionaal. Hierdoor wordt de stroming waarschijnlijk voor een groot deel bepaald door 2-dimensionale processen. Een 2-dimensionaal model houdt rekening met deze 2-dimensionale stromingsprocessen en levert daarom waarschijnlijk een meer nauwkeurig resultaat dan een 1-dimensionaal model. Daarentegen is een 1-dimensionaal model waarschijnlijk wel geschikt voor het doorrekenen van de mogelijke maatregelen en globale inrichtingsvoorstellen, omdat nauwkeurigheid hierbij minder belangrijk is.

In dit onderzoek worden vier typen berekeningen uitgevoerd (zie paragraaf 1.4): berekening van de hydraulische taakstelling, doorrekenen van de mogelijke maatregelen, het doorrekenen van de inrichtingsvoorstellen en het doorrekenen van de gedetailleerde inrichtingsvoorstellen. In tabel 4.1 is per type berekening kort aangegeven welk model gebruikt zal worden.

Berekening	Model		Gewenste output	Toelichting
	SOBEK 1D	WAQUA 2D		
<i>Hydraulische taakstelling</i>	x	x	Waterstand op rivieras	belangrijk onderdeel onderzoek
<i>Mogelijke maatregelen</i>	x		Waterstand op rivieras	- Indicatie effect op waterstand - Veel, snelle berekeningen - Nauwkeurigheid minder belangrijk
<i>Globale inrichtingsvoorstellen</i>	x		Waterstand op rivieras	- Indicatie effect op waterstand - Grove beoordeling
<i>Gedetailleerde inrichtingsvoorstellen</i>		x	- Waterstand op rivieras 2D-kaart stroomsnelheid 2D-kaart waterstand	- Einddoel onderzoek - Nauwkeurigheid belangrijk

Tabel 4.1: Modelgebruik per type berekening

Een uitgebreide beschrijving van de gegevens in tabel 4.1 wordt gegeven in de onderstaande opsomming:

- Berekening hydraulische taakstelling**
 De hydraulische taakstelling is één van de belangrijkste onderdelen van de hydraulische verkenning. Het is daarom belangrijk dat de berekening zo nauwkeurig mogelijk is. De benodigde reken- en schematisatietijd is van ondergeschikt belang. De gewenste output is de waterstand langs de rivieras. De hydraulische taakstelling wordt zowel met SOBEK als met WAQUA berekend.
- Doorrekenen van de mogelijke maatregelen**
 Doel van deze stap is om inzicht te krijgen in het waterstandeffect dat met een bepaalde maatregel te behalen is. De uitkomst hoeft niet bijzonder nauwkeurig te zijn. Het is belangrijker dat het model snel een overzicht van het effect op de waterstand kan geven en dat het schematiseren van maatregelen eenvoudig en snel gebeuren kan. De gewenste output is de waterstand op de rivieras. Deze berekeningen worden met SOBEK uitgevoerd omdat er dan snel veel berekeningen uit te voeren zijn. De berekende waterstandeffecten van maatregelen zullen maximaal 50% afwijken van de (meer nauwkeurige) WAQUA resultaten, maar vaak zal deze afwijking kleiner zijn (WL delft hydraulics, 1999a). Er wordt aangenomen dat dit voldoende nauwkeurig is.
- Doorrekenen globale inrichtingsvoorstellen**
 Hiervoor geldt hetzelfde als voor het doorrekenen van de mogelijke maatregelen. Er moet snel en eenvoudig een selectie van een aantal mogelijke inrichtingsvoorstellen gemaakt kunnen worden.
- Doorrekenen gedetailleerde inrichtingsvoorstellen**
 De gedetailleerde inrichtingsvoorstellen zijn het uiteindelijke doel van de hydraulische verkenning. Het is dus van belang dat de resultaten zo nauwkeurig mogelijk zijn. Als output is de waterstand op de rivieras nodig om te zien of de waterstandstijging als gevolg van de toenemende Maatgevende Afvoer (MA) gecompenseerd wordt. Daarnaast zijn 2-dimensionale kaarten van stroomsnelheid en waterstand gewenst. Een 2-dimensionale kaart met stroomsnelheden kan behulpzaam zijn bij het identificeren van locaties waar erosie of sedimentatie kan optreden. Een 2-dimensionale kaart van de waterstand laat zien of er lokale opstuwing ontstaat.

Het vergelijken van de gebruikte modellen is een neven doel van dit onderzoek. In de discussie, hoofdstuk 9, en in bijlage B2 is aandacht voor de verschillen tussen SOBEK en WAQUA. Ook de onzekerheden in de uitkomsten van de modellen komen hierbij aan bod.

5. Hydraulische taakstelling

In dit hoofdstuk wordt de hydraulische taakstelling (ook wel alleen 'taakstelling' genoemd) voor deze hydraulische verkenning berekend. De hydraulische taakstelling is het verschil in waterstand langs de rivieras tussen de situatie met 15.000 m³/s en 16.000 m³/s (afvoer bij Lobith), bij gelijkblijvende benedenstroomse waterstand en rivierprofiel. De inrichtingsvoorstellen moeten dit verschil minimaal teniet doen, in elk geval op de bovenstroomse projectrand.

Dit hoofdstuk bestaat uit vier paragrafen: Paragraaf 5.1 is een algemene inleiding van de hydraulische taakstelling. Paragrafen 5.2 en 5.3 beschrijven de berekening van de taakstelling met respectievelijk SOBEK en WAQUA. Een vergelijking tussen de SOBEK- en de WAQUA-taakstelling en de conclusies zijn te vinden in paragraaf 5.4.

5.1 Inleiding

Het verschil tussen de maximale waterstand gedurende een afvoergolf met een piek van 15.000 m³/s (in het vervolg de '15.000 golf' genoemd) en een afvoergolf met een piek van 16.000 m³/s (in het vervolg de '16.000 golf' genoemd) is de taakstelling voor het gehele Rijntakkenstelsel in Nederland. Op de Neder-Rijn/Lek nemen de waterstanden met ongeveer 20 cm toe als de afvoer stijgt van 15.000 m³/s tot 16.000 m³/s (Silva et al., 2000). Op een klein traject is de waterstandstijging veel minder doordat de benedenstroomse waterstand de waterstanden sterk beïnvloedt. Bij de berekening van de hydraulische taakstelling, volgens het rivierkundig beoordelingskader (Team ANS / van Alphen, 1999), is een gelijkblijvende benedenstroomse waterstand één van de uitgangspunten. Dit betekend aangenomen wordt dat alle noodzakelijke rivierverruimingen benedenstrooms al uitgevoerd zijn.

De hydraulische taakstelling voor dit onderzoek is alleen het neutraliseren van de waterstandstijging die op het traject langs de Graafsche waard veroorzaakt wordt.

De hydraulische taakstelling geldt in principe voor een riviertraject met linker- en rechteruiterwaard. In dit onderzoek wordt alleen de Graafsche waard, een rechteruiterwaard, in beschouwing genomen. Omdat de plannen voor de omliggende uiterwaarden nog niet bekend zijn wordt als uitgangspunt gehanteerd dat de hydraulische taakstelling volledig in de Graafsche waard gerealiseerd dient te worden.

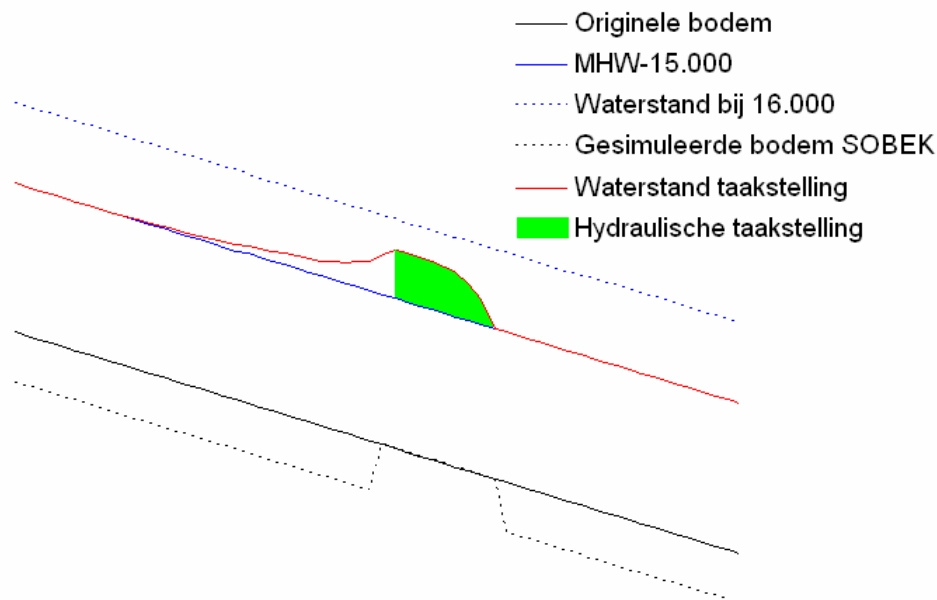
Alleen als een project al uitgevoerd is, of zeker uitgevoerd gaat worden kan dit meegenomen worden in de berekening van de hydraulische taakstelling. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de strang in het kader van het project 'Inrichting Zuidelijke Lekuiterwaarden' (paragraaf 3.3). Omdat het hier slechts een klein effect betreft en schematiseren van de maatregel veel tijd zou kosten is dit project toch niet meegenomen in de berekening van de hydraulische taakstelling.

5.2 Berekening met SOBEK

Het RIZA (Rolf van der Veen) heeft een eenvoudig model ontwikkeld in excel dat door aanpassing van het zomerbedniveau en de benedenstroomse Q-h relaties het realiseren van de hydraulische taakstelling in het studiegebied 'Ruimte voor Rijntakken' simuleert. Door nu het zomerbedniveau langs de Graafsche waard terug te zetten op de werkelijke waarde is een schematisatie gecreëerd die simuleert dat langs het gehele rijntakkenstelsel de taakstelling is gerealiseerd behalve langs de Graafsche waard. Dit is schematisch weergegeven in figuur 5.1:

- De zwarte lijn is het werkelijke bodemniveau en de blauwe lijn de waterstand bij de oude MA 15.000 m³/s bij Lobith;
- De waterstand bij de nieuwe MA (16.000 m³/s) in een ongewijzigd dwarsprofiel is weergegeven als blauw gestippelde lijn;
- Door nu in SOBEK het bodemniveau in het zomerbed te verlagen komt de 16.000-waterstand op hetzelfde niveau als de 15.000-waterstand in ongewijzigd dwarsprofiel. Dit betekent dat de benedenstroomse waterstand dus gelijk blijft (rode lijn). Alleen het bodemniveau van het zomerbed langs de Graafsche waard blijft ongewijzigd;

- Door in SOBEK ook bovenstrooms van de Graafsche waard het bodemniveau van het zomerbed te verlagen blijft de waterstand verder bovenstrooms gelijk en verandert de procentuele afvoerverdeling over de Rijntakken niet of nauwelijks;
- Het groene vlak is de hydraulische taakstelling. Voor de Graafsche waard is de hydraulische taakstelling weergegeven in figuur 5.2.



Figuur 5.1: Schematische weergave SOBEK-berekening taakstelling

Beleidsmatig is afgesproken dat de procentuele afvoerverdeling over de Rijntakken gelijk blijft na verhoging van de MA. Dit betekent dat de Neder-Rijn/Lek 211 m³/s meer moet afvoeren (tabel 5.1).

Lobith	15.000 m ³ /s	16.000 m ³ /s
Begin Waal (63,5 %)	9.530 m ³ /s	10.165 m ³ /s
Begin Nederrijn (21,1 %)	3.165 m ³ /s	3.376 m ³ /s
Begin IJssel (15,4 %)	2.305 m ³ /s	2.459 m ³ /s

Tabel 5.1: voorgeschreven afvoerverdeling

Het SOBEK model, dat het hele Nederlandse Rijntakkenstelsel beslaat berekent echter lagere piekafvoeren voor de Neder-Rijn/Lek: 3075 m³/s (15.000 golf) en 3277 m³/s (16.000 golf). De berekende waarden aan het begin van de Neder-Rijn/Lek wijken tot wel 100 m³/s af van de voorgeschreven waarden (Tabel 5.1). Hoewel de absolute waterstanden daardoor niet overeenkomen wordt de berekening van de hydraulische taakstelling toch als voldoende nauwkeurig beschouwd. De berekende debiettoename als gevolg van de grotere MA ligt namelijk minder dan 5% af van het beleidsmatig voorgeschreven extra debiet. De beleidsmatig voorgeschreven extra afvoer bedraagt 211 m³/s. De SOBEK-berekeningen resulteren in 202 m³/s extra debiet.

Voor de berekening van de hydraulische taakstelling met SOBEK is de bovenstroomse randvoorwaarden een afvoergolf (zie bijlage B2). Doordat een afvoergolf gebruikt wordt is het maximale debiet ter hoogte van de Graafsche waard kleiner dan bij de IJsselkop: 3037 m³/s (15.000 golf) en 3236 m³/s (16.000 golf). Het verschil tussen het debiet aan het begin van de Neder-Rijn/Lek en het debiet ter hoogte van de Graafsche waard wordt voornamelijk veroorzaakt door topvervlakking. Laterale toestroming en –onttrekking en kwel door de winterdijk spelen waarschijnlijk ook een kleine rol.

5.3 Berekening met WAQUA

De hydraulische taakstelling voor het WAQUA-deel van dit onderzoek is berekend met het WAQUA-model MHL93989. De hydraulische taakstelling is het verschil tussen de waterstanden berekend door WAQUA met de originele schematisatie en randvoorwaarden en de waterstanden berekend door WAQUA met de volgende aanpassingen:

- Het stationaire debiet op de bovenstroomse rand wordt verhoogd van $3165 \text{ m}^3/\text{s}$ (overeenkomend met een Bovenrijn afvoer van $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$) naar $3376 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bovenrijn afvoer $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Op de benedenstroomse rand van het model wordt de waterstand (randvoorwaarde) verlaagd tot de waterstand ter hoogte van de benedenstroomse grens van de Graafsche waard (rivierkilometer 959,1) gelijk is aan de oorspronkelijke waterstand op dat punt bij $Q = 3165 \text{ m}^3/\text{s}$.

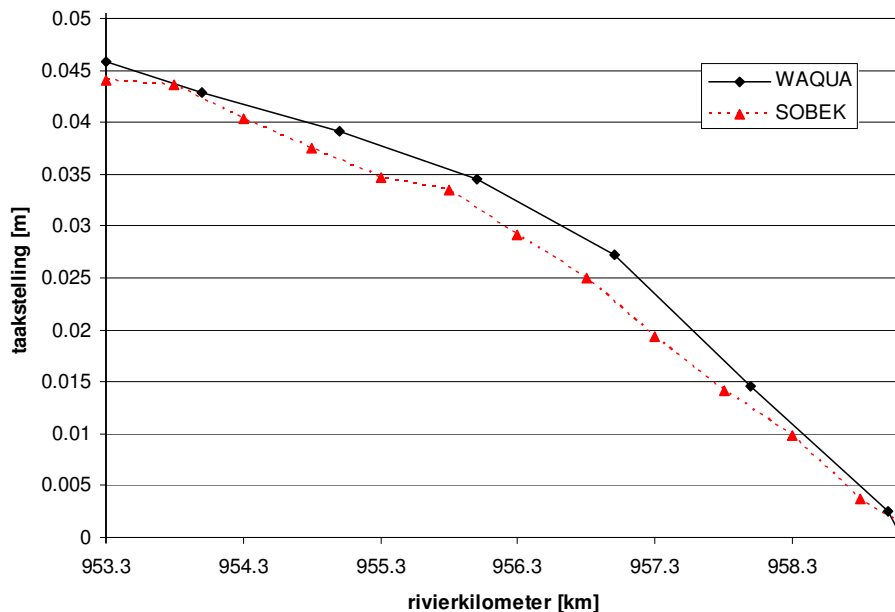
Omdat de strang in 't Horde (zie bijlage B1.3.1) nog niet in de bestaande schematisatie van WAQUA zat is deze eerst ingevoerd. De hydraulische taakstelling is dus berekend met een schematisatie waarin de strang is verwerkt. De hydraulische taakstelling berekend met WAQUA is te zien in figuur 5.2.

5.4 Conclusie

In figuur 5.2 is de hydraulische taakstelling te zien, berekend met SOBEK en WAQUA. In de figuur is de taakstelling, de waterstandverandering die optreedt bij toenemende MA, zonder veranderingen in het rivierprofiel te zien. Een maatregel of inrichtingsvoorstel voldoet aan de taakstelling als het waterstandeffect onder de 0-lijn uit figuur 5.2 blijft. Een maatregel of inrichtingsvoorstel die een waterstandeffect tussen de 0-lijn en de taakstelling-lijn realiseert voldoet dus niet aan de taakstelling.

De hydraulische taakstelling voor het traject langs de Graafsche waard is ongeveer 4,5 cm. Dit is iets meer dan 10% van het huidige verval (ongeveer 40 cm) over de Graafsche waard.

Vaak wordt ook naar de taakstelling verwezen als één enkel getal. Zo ook in dit rapport. Het betreft in dat geval de taakstelling op de bovenstroomse projectrand (ongeveer 4,5 cm).



Figuur 5.2: Hydraulische taakstelling

De taakstellingen zijn in de twee modellen verschillend berekend. Samenvattend uit paragrafen 5.2 en 5.3:

- SOBEK: afvoer is golf, toename maximale debiet $202 \text{ m}^3/\text{s}$, manipulatie waterstand benedenstroomse projectrand door middel van veranderingen in bodemligging.
- WAQUA: stationaire afvoer, toename maximale debiet $211 \text{ m}^3/\text{s}$, manipulatie waterstand benedenstroomse door middel van aanpassen waterstand benedenstroomse modelrand.

Ondanks de verschillen in berekeningsmethode is het verschil tussen het SOBEK- en het WAQUA-resultaat opvallend klein. De SOBEK hydraulische taakstelling wordt alleen gebruikt ter vergelijking met SOBEK resultaten en de WAQUA hydraulische taakstelling alleen ter vergelijking met WAQUA resultaten. Gezien het kleine verschil in berekende hydraulische taakstelling is deze scheiding echter niet nodig.

Opvallend is het grote verschil in debiet dat door de Lek stroomt ter hoogte van de Graafsche waard in WAQUA en SOBEK. Het gebruikte WAQUA-model beslaat slechts een 50 km lang traject op de Neder-Rijn/Lek. Hier wordt de beleidsmatig bepaalde afvoer, stationair, op de bovenstroomse modelrand gelegd als randvoorwaarde. Het gebruikte SOBEK-model beslaat het gehele Nederlandse Rijntakkenstelsel inclusief de splitsingspunten. De debietverdeling wordt hier door de modelschematisatie bepaald. SOBEK berekent $3037 \text{ m}^3/\text{s}$ (15.000 golf) en $3236 \text{ m}^3/\text{s}$ (16.000 golf), terwijl WAQUA met $3165 \text{ m}^3/\text{s}$ respectievelijk $3376 \text{ m}^3/\text{s}$ rekt. Dit verschil wordt veroorzaakt door topvervlakking en debietverdeling op de splitsingspunten in SOBEK. Ondanks dit verschil berekenen beide modellen ongeveer dezelfde taakstelling, omdat de debiettoename in beide modellen ongeveer gelijk is. Er wordt aangenomen dat het afwijkende debiet in SOBEK geen extra onnauwkeurigheid in de taakstelling heeft gebracht.

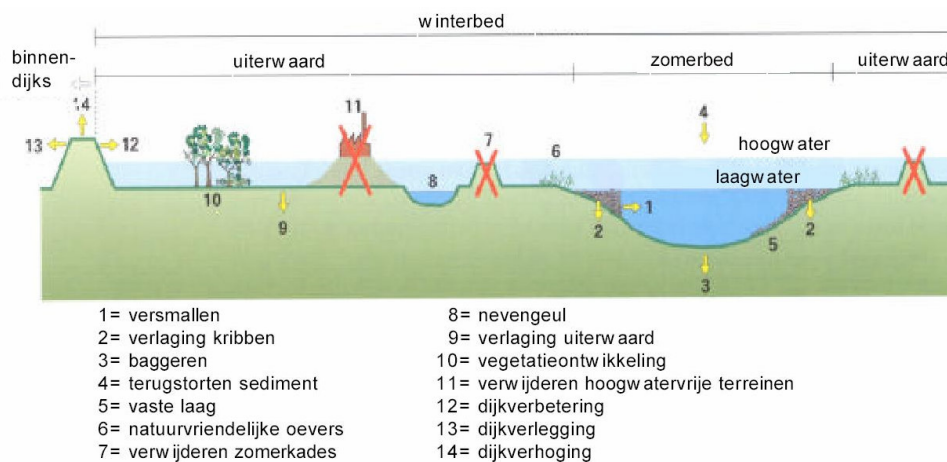
6. Mogelijke stroomverruimende maatregelen

In dit hoofdstuk worden de maatregelen verkend die genomen kunnen worden om de taakstelling te realiseren of een verandering van landgebruik te bewerkstelligen. Een selectie van deze maatregelen vormt de basis voor de latere inrichtingsvoorstellen.

Paragraaf 6.1 begint met een overzicht van de mogelijke maatregelen. De daaropvolgende paragrafen behandelen elk één maatregel. Tot slot vat paragraaf 6.10 alle resultaten samen in een staafdiagram. In dit hoofdstuk staan alleen de belangrijkste conclusies over de mogelijke maatregelen. In bijlage B3 zijn de maatregelen uitgebreider beschreven en is ook informatie te vinden over schematisatie van de maatregelen in SOBEK of WAQUA.

6.1 Inleiding

De eerste selectie maatregelen die in beschouwing genomen zal worden is de lijst maatregelen zoals die in de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' behandeld wordt (figuur 6.1):



Figuur 6.1: Mogelijke maatregelen in het kader van 'Ruimte voor de Rivier' (bron: Silva et al., 2000)

Winterbedmaatregelen hebben in principe de voorkeur (Silva et al., 2000). Maatregelen in het winterbed kunnen namelijk goed gecombineerd worden met de ontwikkeling van de EHS, vaak één van de nevendoelen bij uiterwaardherinrichting (hoofdstuk 2). Zomerbedmaatregelen; zomerbedverdieping en kribverlaging, worden voorlopig achter de hand gehouden voor het geval de MA boven de 16.000 m³/s stijgt.

Retentie wordt hier niet als maatregel in beschouwing genomen omdat het een maatregel is die op het niveau van een riviertak uitgevoerd moet worden en zo ver mogelijk bovenstrooms moet plaatsvinden.

De mogelijke maatregelen worden in de volgende paragrafen doorgerekend om het effect ervan op de waterstand te beoordelen. Op basis van deze kennis kunnen later de inrichtingsvarianten samengesteld worden. De effecten van de maatregelen op de waterstanden zijn zoveel mogelijk met SOBEK doorgerekend. SOBEK (beschreven in bijlage B2) is een 1-dimensionaal model en heeft daardoor een relatief korte rekentijd. Bovendien zijn veel maatregelen snel en gemakkelijk te schematiseren.

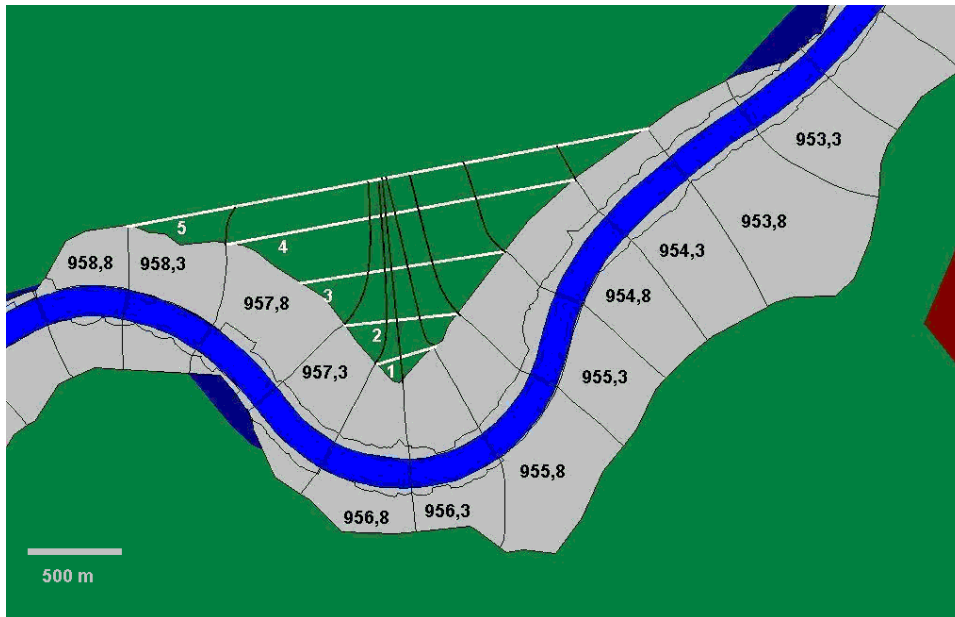
Maatregelen aan de zomerkade zijn echter in het 2-dimensionale model WAQUA (bijlage B2) geschematiseerd, aangezien SOBEK de linker- en rechter zomerkade middelt. Hierdoor is het moeilijker om een maatregel aan alleen de rechterzomerkade goed weer te geven. Ook de aanleg van een geul is in WAQUA doorgerekend, omdat het effect van een geul sterk locatieafhankelijk is.

6.2 Dijkverlegging

Bij een dijkverlegging wordt de winterdijk verder van de rivier gelegd. De uiterwaard wordt breder zodat de afvoercapaciteit van de rivier toeneemt. Dijkverlegging zou een geschikte maatregel in de Graafsche waard kunnen zijn: Binnendijs staan weinig woningen en de banddijk maakt een scherpe knik zodat tijdens hoogwaterperiodes dwarsstromingen en opstuwing ontstaat. Eliminatie van de knik zou dwarsstromingen en opstuwing verminderen waardoor de afvoercapaciteit van de rivier toeneemt.

Het effect van een dijkverlegging op de waterstanden ter hoogte van de Graafsche waard is berekend met SOBEK. De doorgerekende dijkverleggingen zijn te vinden in figuur 6.2. In figuur 6.3 staan de resultaten kort samengevat. Dijkverlegging 4 (975 m) realiseert een waterstanddaling van 14 cm op de bovenstroomse projectrand. Dijkverlegging 5 is eigenlijk geen optie omdat er in dat geval meer dan 20 huizen verplaatst moeten worden.

Met een dijkverlegging is de taakstelling op de bovenstroomse projectrand relatief eenvoudig te halen. Als de dijkverlegging op het verste punt 500 m of minder bedraagt (ergens tussen dijkverlegging 2 à 3) zijn aanvullende maatregelen nodig.



Figuur 6.2: Doorgerekende dijkverleggingen

6.3 Verwijderen knelpunten

Knelpunten zijn constructies in de rivier die voor opstuwing zorgen. Knelpunten kunnen heel divers zijn. Voorbeelden zijn: veerstoeppen, kades, landhoofden, aardebannen, campings, havens, steenfabrieken, RWZI's en ook onbebouwd hooggelegen terrein.

Het rivierkundige effect van knelpuntverwijdering is meestal klein, omdat het vaak kleinschalige knelpunten zijn met alleen een lokaal effect op de waterstand.

De Graafsche waard is een vrij uniform ingerichte uiterwaard met weinig hoogwatervrij terrein. De aanwezige dwarskades maken deel uit van de zomerdijk en komen niet als verwijderbaar knelpunt in aanmerking.

Ter hoogte van rivierkilometer 954 bevindt zich een camping. Hier staan verschillende loodsen en andere bebouwing. Bovendien is het maaiveld hoog; 3 à 5 m +NAP. De rest van de Graafsche waard heeft een maaiveldniveau van ongeveer 2 m +NAP. Dit is het enige knelpunt in de Graafsche waard dat voor verwijdering in aanmerking komt.

Het effect van campingverwijdering op de waterstand is klein en vooral stroomopwaarts van de Graafsche waard merkbaar. De maximaal behaalde waterstanddaling is ongeveer 0,5 cm (figuur 6.3).

6.4 Verlaging van de kribben

De kribben in de Nederlandse Rijntakken zijn aangelegd om de vaargeul op diepte te houden. Door de autonome daling van de zomerbedbodem hebben veel kribben een overhoogte. In de Boven-Lek is deze overhoogte echter klein vergeleken met de overhoogte in het bovenstroomse deel van de Rijntakken.

Een nadere beschouwing van de kribben langs de Graafsche waard (bijlage B3.3) laat zien dat er misschien toch ruimte is voor kribverlaging. Het effect van kribverlaging met 0,7 of 1,4 m op de waterstand bij MHW-condities is te zien in figuur 6.3. Kribverlaging met 0,7 m resulteert in 0,8 cm lagere waterstanden. Als de kribben 1,4 m verlaagd worden is een waterstanddaling van 1,6 cm te behalen. Er moet hierbij worden opgemerkt dat ook de kribben op de zuidoever van de rivier in de schematisatie verlaagd zijn.

Voorlopig wordt kribverlaging niet als optie beschouwd omdat maatregelen in het zomerbed niet de voorkeur hebben (Silva et al., 2000).

6.5 Zomerbedverdieping

Met zomerbedverdieping kan een relatief grote waterstanddaling behaald worden, zonder grote nadelige gevolgen voor de gebruiksfuncties van het riviereengebied. Één van de direct merkbare nadelen van een lagere zomerbedbodem is een lagere waterstand. Hierdoor worden de gronden langs de rivier sterker ontwaterd wat tot droogteschade voor de landbouw kan leiden.

In het bovenriviereengebied is zomerbedverdieping zeker geen optie vanwege de ongewenste autonome bodemdaling. Meer benedenstrooms, onder andere in de Boven-Lek wordt zomerbedverdieping wel als een mogelijkheid gezien door het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier'. Ter hoogte van de Graafsche waard is het zomerbedniveau tussen 1933 en 1996 al met gemiddeld 0,8 m gedaald, waarschijnlijk is dit veroorzaakt door baggerwerkzaamheden om de diepgang voor de scheepvaart te vergroten.

Zomerbedverdieping heeft één groot nadeel: Het is geen structurele maatregel. Na een verdieping zal de ontstane kuil versneld sedimenteren vanwege de lagere stroomsnelheid op het verdiepte traject. Dankzij de kleine, gestuwde, afvoer door de Neder-Rijn/Lek gaat het sedimenteren op de Lek (vergeleken met bijvoorbeeld de Waal) relatief langzaam. Toch zal ook hier zomerbedverdieping periodiek moeten plaatsvinden. Het risico is dat dit verwaarloosd wordt als er bezuinigd moet worden en de hoogwaterproblematiek minder actueel is.

Het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' heeft wel een variant met zomerbedverdieping. In deze variant wordt de zomerbedbodem van de Lek over een lengte van 40 km met 1 m verlaagd. De exacte overwegingen voor dit alternatief zijn onbekend, maar waarschijnlijk zijn er drie redenen:

- *Gunstig voor de scheepvaart.* Langs de Lek zijn een aantal knelpunten waar de vereiste vaardiepte niet altijd aanwezig is. Zomerbedverdieping zou dit probleem oplossen;
- *Behoud landschap.* Door een maatregel in het zomerbed toe te passen kan het huidige uiterwaardlandschap behouden blijven;
- *Relatief duurzaam.* In vergelijking met zomerbedverdieping op de Waal en IJssel is zomerbedverdieping op de Neder-Rijn/Lek duurzaam. Dankzij de stuwen is het debiet relatief klein en duurt het lang voor de zomerbedverdieping herhaald moet worden.

Er zijn drie redenen om geen berekeningen met zomerbedverdieping uit te voeren:

- Zomerbedverdieping is niet duurzaam. Zomerbedverdieping is in de Boven-Lek wel duurzamer dan langs de overige Rijntakken, maar uiteindelijk zal ook hier de maatregel herhaald moeten worden;

- Er bestaat al een alternatief zomerbedverdieping;
- Er worden bij voorkeur geen zomerbedmaatregelen toegepast in het kader van 'Ruimte voor de Rivier'.

6.6 Verlaging van het winterbed

Met verlaging van het winterbed wordt hier bedoeld: het over een groot oppervlak afgraven, zonder dat hierbij open water ontstaat. Bij verlaging van het winterbed, neemt de afvoercapaciteit van de rivier in de uiterwaard toe.

Door versmalling van het rivierbed met bandijken zijn de uiterwaarden de afgelopen eeuwen versneld opgeslibd. Uiterwaardverlaging brengt de uiterwaarden een beetje terug in de oorspronkelijke staat en is dus een logische maatregel, die veelvuldig toegepast wordt.

Uiterwaardverlaging heeft als nadeel dat het vrij duur is, zeker als er vervuilde grond in de uiterwaard aanwezig is.

Uiterwaardverlaging is vooral effectief in het bovenrivierengebied omdat hier de uiterwaarden relatief hoog liggen. Bovendien zijn de uiterwaarden in het bovenrivierengebied breder dan in het benedenrivierengebied. Meer benedenstrooms is de maximaal haalbare waterstanddaling kleiner. Uiterwaardverlaging in de Graafsche waard is een optie, maar de gebruikswaarde van de landbouwgrond daalt sterk (tabel 6.1). De gemiddelde gebruikswaarde van de grond in de gehele Graafsche waard zal hoger zijn dan in de tabel doordat in een strook van 100 m langs de winterdijk in principe niet afgegraven mag worden. Deze locaties behouden een hogere gebruikswaarde.

In het kader van natuurontwikkeling is tijdens het project Integrale Verkenning Rijntakken (IVR) een streefbeeld opgesteld van de ecotopenverdeling in het rivierengebied. Dit streefbeeld is vastgesteld op basis van een natuurlijk rivierecosysteem (referentiebeeld), aangepast aan de eisen van scheepvaart en hoogwaterafvoer. (Pedroli en Rademaker, 1995). Als natuurontwikkeling plaatsvindt, resulteert niet afgraven in de beste kansen voor het streefbeeld. Natuurontwikkeling in een verlaagde Graafsche waard zal tot een 'te natte' ecotopenverdeling leiden. (Klijn en de Vries, 1997)

	huidig	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m
Met huidige zomerkade	68	45	21	6	1
Zonder zomerkade	62	36	14	3	0

Tabel 6.1: Gebruikswaarde landbouwgrond Graafsche waard na verlaging in % van de maximaal mogelijke opbrengst. (Klijn en de Vries, 1997)

Desondanks is uiterwaardverlaging een reële optie. Rivierverruiming is immers het hoofddoel van deze studie en niet landbouw of natuurontwikkeling. Met SOBEK is een eerste inschatting gemaakt van het effect van uiterwaardverlaging op de maximale waterstanden. Het resultaat is kort samengevat te zien in figuur 6.3. Een integrale uiterwaardverlaging van 1,5 m of meer is voldoende om de taakstelling op de bovenstroomse projectrand te realiseren.

Om zo effectief mogelijk (veel waterstanddaling voor weinig grondverzet) te verlagen is het dq-criterium ontwikkeld. Dit criterium (zie bijlage B1.5.1) wijst de locatie aan waar verlaging het meest effectief is. In de Graafsche waard kan uiterwaardverlaging het best plaatsvinden ter hoogte van rivierkilometer 956,8 (de knik in de bandijk) en verder benedenstrooms.

Om hoge kosten voor grondverwerking bij het verlagen te vermijden is een belemmeringenkaart opgesteld door de projectorganisatie 'Ruimte voor de Rivier' (bijlage B1.6). Op deze kaart is te zien of de grond op een locatie vervuild is of relatief schoon.

Omdat in deze berekeningen de Graafsche waard integraal verlaagd is zijn beide kaarten niet gebruikt. Bij meer gedetailleerde inrichtingsvoorstellen kunnen ze wel goed gebruikt worden.

6.7 Aanleg open water

De aanleg van open water is een plaatselijk extreme uiterwaardverlaging. In figuur 6.1 staat alleen een nevengeul aangegeven, maar ook strangen en geïsoleerde plassen zijn mogelijk. Met alle soorten open water kan in het algemeen vrij veel waterstanddaling bereikt worden.

Door een nevengeul stroomt in principe altijd water. Hierdoor is het debiet in de hoofdgeul kleiner en daalt hier de stroomsnelheid. Hierdoor kan sedimentatie optreden waardoor de vereiste diepgang voor de scheepvaart in gevaar komt. Nevengeulen langs de Boven-Lek worden afgeraden omdat ze vanwege de geringe rivierdynamiek weinig aan de ecologie toevoegen, maar wel een knelpunt voor de scheepvaart kunnen opleveren. De aanleg van geïsoleerde plassen is wel een geschikte maatregel. (Wolters et al., 2001) Ook een strang kan de MHW omlaag brengen en tegelijkertijd natuurwaarden toevoegen doordat de getijdynamiek van de Boven-Lek in de strang doorwerkt.

De aanleg van open water is summier met WAQUA onderzocht. Open water is in WAQUA makkelijker te schematiseren dan in SOBEK. Met de strang is de waterstand bijna 0,5 cm lager dan zonder de strang.

Het effect van deze maatregel is echter niet in figuur 6.3 te vinden, aangezien het effect van open water sterk afhankelijk is van locatie, afmeting en vorm en er moeilijk algemene uitspraken over te doen zijn. Vaak kan op basis van gezond verstand ingezien worden wanneer de aanleg van open water veel waterstanddaling oplevert. Het dq-criterium (bijlage B1.5.1) is een meer objectieve manier om te bepalen waar de aanleg van open water het meest effectief is. Een locatie met een hoge dq-waarde (grote toename in specifiek debiet per meter verlaging) is geschikt voor de aanleg van open water. In de Graafsche waard is de hoogste dq-waarde ter hoogte van rivierkilometer 956,8 (de knik in de bandijk) en verder benedenstrooms. Dit is de meeste geschikte locatie voor de aanleg van open water. Ook een verruiming van de bestaande strang is een mogelijkheid.

In bijlage B3.5 wordt het effect van de oever zichtbaar. Een steile oever geeft energieverlies en dus hogere waterstanden. Oevers met flauwe taluds kunnen de waterstanden verder omlaag brengen. In bijlage B3.5 komt nog een ander probleem naar voren. De WAQUA berekening laat zien dat een dun strookje ooibos al voor 1 mm waterstandstijging kan zorgen. Vooral wilgen kiemen snel op de oevers van strangen en nevengeulen. Dit zal voor opstuwing zorgen waar bij het ontwerp en tijdens het beheer rekening mee gehouden moet worden.

6.8 Vegetatieontwikkeling in het winterbed

In de huidige situatie wordt het grootste deel van de Nederlandse uiterwaarden gebruikt als landbouwgrond. Alle uiterwaarden zijn echter door het Natuurbeleidsplan (LNV, 1990) aangewezen als onderdeel van de Ecologische HoofdStructuur (EHS). Natuur wordt dus steeds meer een hoofd- of nevenfunctie in de uiterwaarden.

Deze natuurontwikkeling betekent dat de graslanden die nu nog bijna overal in de uiterwaarden te vinden zijn vervangen zullen worden door bijvoorbeeld hoger grasland, ruigte, struikgewas of bos. Dit brengt hogere stromingsweerstand met zich mee.

In SOBEK is de Nikuradse-ruwheid (k) van de Graafsche waard in de uitgangssituatie 0,24 m. Deze wordt veranderd tot 0,1 m (water), 0,5 m (lang gras), 1 m (mix gras/ruigte), 2 m (ruigte) en 10 m (bos). De effecten op de waterstand zijn te zien in figuur 6.3. De ontwikkeling van bos in de gehele Graafsche waard zal leiden tot 11 cm hogere waterstanden op de bovenstroomse projectrand. Vermindering van de uiterwaardruwheid tot $k = 0,1$ m leidt wel tot lagere waterstanden, maar de taakstelling wordt niet gehaald.

Alle vegetatieontwikkeling zorgt voor hogere waterstanden. Hoeveel de waterstanden toenemen is sterk afhankelijk van de ecotopenverdeling. De ecotopenverdeling wordt voor een groot deel door inrichtingsontwerp en beheerkeuzes bepaald. De werkelijke ruwheid wordt ook nog beïnvloed door seizoensvariatie, groei en successie.

Een hulpmiddel bij de ruimtelijke planning van ecotopen is het q-criterium (bijlage B1.5.2) De q-kaart geeft de locaties aan die relatief weinig bijdragen aan de afvoercapaciteit. Vegetatieontwikkeling op deze locaties heeft de minste waterstandstijging tot gevolg. Vooral langs de bandijk en op hooggelegen locaties is het specifiek debiet klein. Hier zou goed vegetatieontwikkeling kunnen plaatsvinden. Bij het q-criterium moet echter een kanttekening geplaatst worden: Locaties met veel vegetatie hebben veel weerstand en dus een klein specifiek debiet. Hierdoor lijkt het alsof de vegetatie goed gesitueerd is, terwijl de locatie zonder vegetatie best een groot specifiek debiet kan hebben. Het is dus mogelijk dat de locatie eigenlijk ongeschikt is voor vegetatieontwikkeling, ondanks dat het q-criterium dit wel aangeeft.

6.9 Veranderingen aan zomerkade

Zomerkades zijn in de afgelopen eeuwen aangelegd om de inundatiefrequentie van de uiterwaard te verminderen en zo de gebruikswaarde van de landbouwgrond te verhogen. Tijdens hoogwaterperiodes hinderen zomerkades het meestromen van de uiterwaard en zorgen ze voor opstuwung. Het verwijderen of verlagen van zomerkades vergroot de afvoercapaciteit en biedt kansen voor natuurontwikkeling door de toenemende rivierdynamiek in de uiterwaard. Als de zomerkade in de Graafse waard verwijderd wordt daalt de gebruikswaarde van de landbouwgrond 'slechts' met 6% (tabel 6.1).

Her verlagen of verwijderen van de zomerkade heeft tot gevolg dat de rivier vaker de uiterwaard inundeert. Het achterblijvende sediment zal zorgen voor een versnelde opslibbing van de uiterwaard.

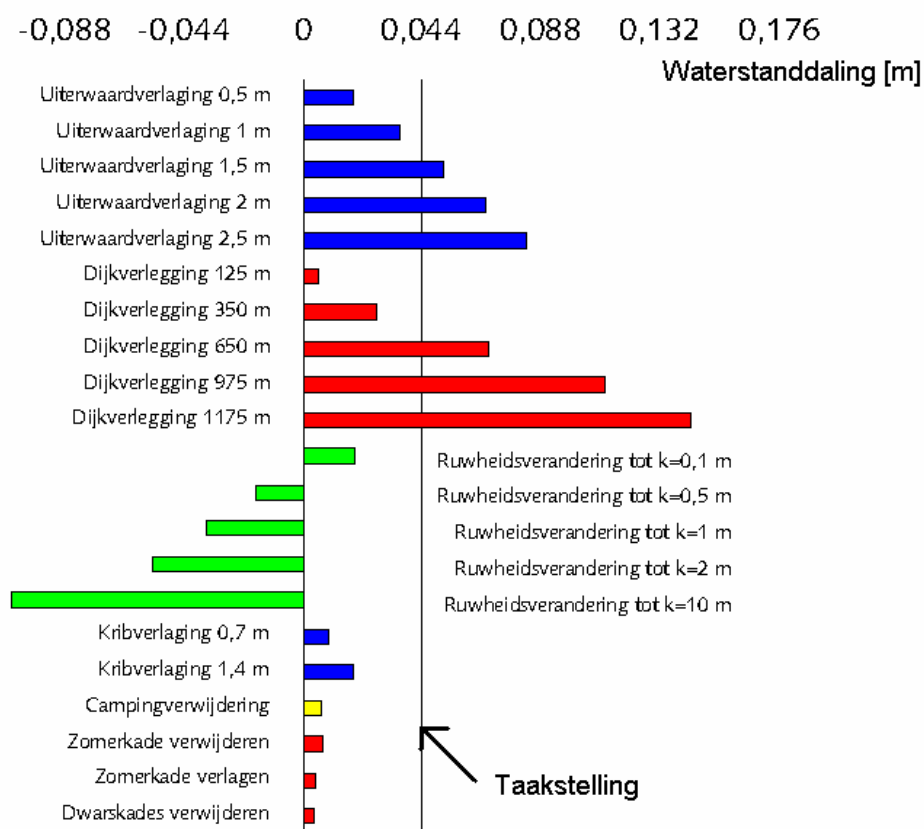
Het geheel verwijderen van de zomerkade leidt tot maximaal 0,8 cm waterstanddaling. Het verwijderen van het zomerkadedeel dwars op de stroomrichting of het met 1 m verlagen van de gehele zomerkade heeft een waterstanddaling tot gevolg die ongeveer half zo groot is (figuur 6.3).

6.10 Conclusies

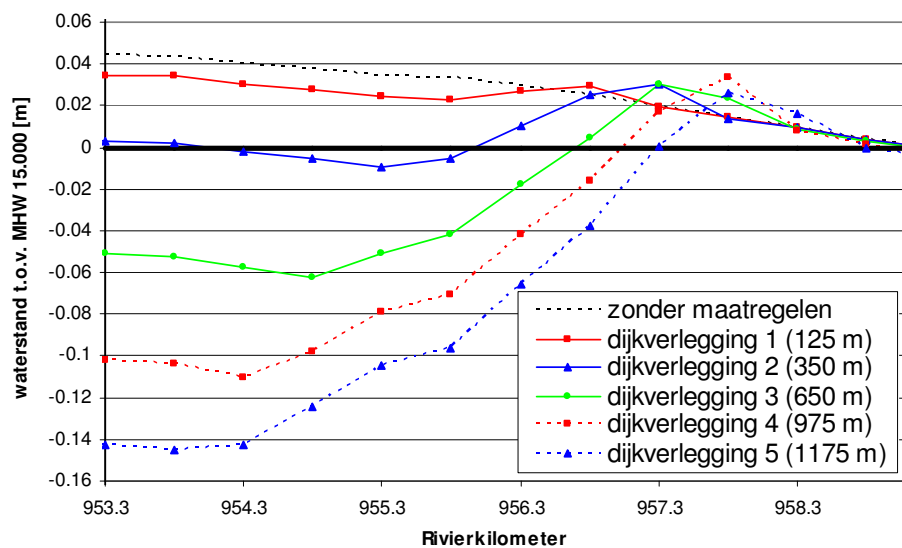
De maximale waterstandverandering die met de mogelijke maatregelen bereikt kan worden zijn te vinden in figuur 6.3 (waterstanddaling is hier positief). De zwarte lijn op 0,044 m stelt de taakstelling op de bovenstroomse projectrand voor. Er zijn twee maatregelen die de taakstelling kunnen realiseren: dijkverlegging met meer dan 500 m en integrale uiterwaardverlaging met 1,5 m of meer. Uiterwaardverlaging heeft echter minder gunstige omstandigheden voor landbouw en natuur tot gevolg. De overige maatregelen kunnen alleen in combinatie met elkaar aan de taakstelling voldoen. Vegetatieontwikkeling kan de waterstand sterk laten stijgen.

In figuur 6.3 staan alleen de maximale waterstandveranderingen. Lokaal kan het beeld minder gunstig zijn, zoals figuur 6.4 illustreert. In deze figuur geeft de taakstellingslijn de waterstandverandering aan zonder maatregel. Om aan de taakstelling te voldoen moet een maatregel een waterstandverandering realiseren die overal onder de 0-lijn uitkomt. Dit is bij geen enkele maatregel het geval. Vanaf ongeveer rivierkilometer 957 tot de benedenstroomse projectrand is waterstandstijging haast onvermijdelijk. Dit komt deels doordat hier vanwege de smalle uiterwaard weinig mogelijkheden zijn om maatregelen toe te passen. Anderzijds wordt een kleine waterstandstijging rond de benedenstroomse projectrand bij bijna alle herinrichtingprojecten gevonden. Het extra debiet door de uiterwaard stroomt hier weer in de hoofdgeul en zorgt door het creëren van turbulentie en dus energieverlies voor opstuwung. Dit probleem kan verminderd worden met verruiming in 't Horde, maar een deel zal benedenstrooms gecompenseerd moeten worden.

Een punt van aandacht bij het ontwerpen van de inrichtingsvoorstellen is ook de debietverdeling over zomer en winterbed. Overmatige uiterwaardverruiming heeft tot gevolg dat het debiet door de uiterwaard toeneemt en het debiet in de hoofdgeul afneemt. Als gevolg hiervan daalt de stroomsnelheid in het zomerbed en neemt het sedimenttransporterende vermogen van de rivier af. Het overtollige sediment zandt aan in de hoofdgeul en kan zo de vaardiepte voor de scheepvaart verminderen.



Figuur 6.3: Waterstanddaling [m] a.g.v. mogelijke maatregelen



Figuur 6.4: Waterstandeffect dijkverlegging

7. Inrichtingsvoorstellen

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van een aantal mogelijke inrichtingsvoorstellen voor de Graafsche waard. Paragraaf 7.1 laat zien welke inrichtingsvoorstellen bij 'Ruimte voor de Rivier' en de samenwerkende lokale overheden in beeld zijn.

Om een meer gevarieerd aanbod van mogelijke inrichtingsvoorstellen te verkrijgen worden er in paragraaf 7.2 vier inrichtingsvoorstellen ontwikkeld. Dit gebeurt op basis van het huidige landgebruik (landbouw) of natuurontwikkeling. De ontwikkelde inrichtingsvoorstellen worden geschematiseerd in SOBEK en SOBEK berekent vervolgens het effect op de waterstanden.

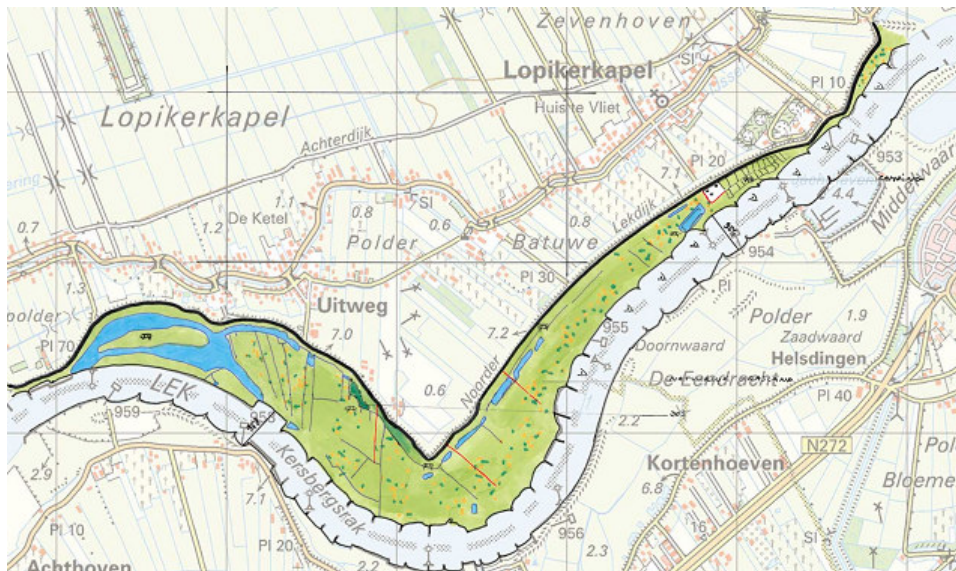
In paragraaf 7.3 worden de beste inrichtingsvoorstellen geselecteerd. Deze worden vervolgens gedetailleerder uitgewerkt in hoofdstuk 8.

7.1 Bestaande inrichtingsvoorstellen

In het kader van de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' zijn drie nog nader uit te werken inrichtingsvoorstellen gedaan voor de Graafsche waard (RIZA, 2003). Daarnaast heeft het landschapsarchitectenbureau H+N+S een gebiedsvisie opgesteld voor de Buitendijkse Terreinen langs de Lek (Nieuwenhuijze et al., 1994). Deze gebiedsvisie heeft een zeer laag detailniveau.

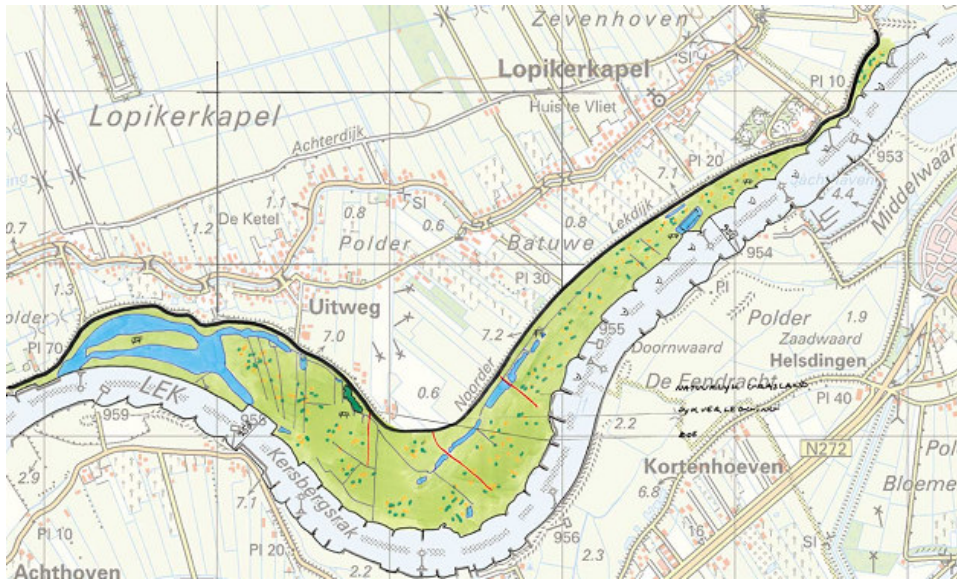
De inrichtingsvoorstellen van het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' zijn gepresenteerd in het maatregelenboek (RIZA, 2003). Alle drie voorstellen zijn gebaseerd op uiterwaardverlaging (klei afgraven tot 1 m boven veenpakket) en het ontwikkelen van natuurlijk grasland met behoud van karakteristieke verkaveling. Het verwijderen van dwarskades en het verlagen van de zomerkade komt ook in alle plannen voor. Om opstuwing ter hoogte van 't Horde te voorkomen wordt de strang verruimd door de lage delen in 't Horde te verdiepen.

Het onderscheid tussen de inrichtingsvoorstellen wordt voornamelijk gevormd door de dijkverleggingen. In inrichtingsvoorstel R52-1 verandert de dijkligging niet en blijft de camping in het oostelijke deel van de Graafsche waard bestaan (figuur 7.1). De maximale waterstanddaling, berekend door het projectbureau, is vrij klein; 0,9 cm.



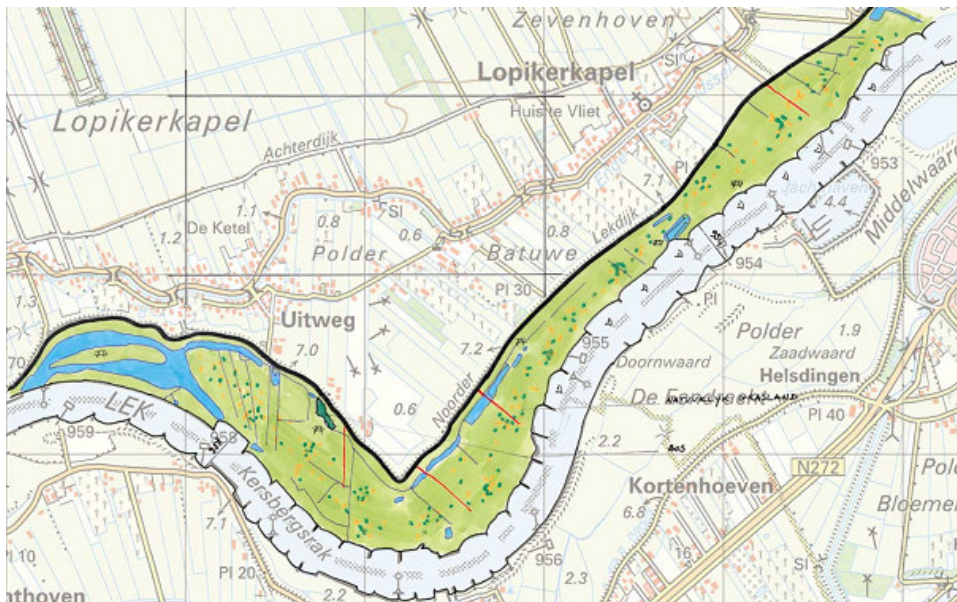
Figuur 7.1: Inrichtingsvoorstel R52-1 (RIZA, 2003)

Inrichtingsvoorstel R52-2 is bijna gelijk aan inrichtingsvoorstel R52-1. Er is alleen een kleine dijkverlegging rond rivierkilometer 956,8 en de camping wordt verwijderd (figuur 7.2). De maximale waterstanddaling, berekend door het projectbureau, als gevolg van dit inrichtingsvoorstel is 4,9 cm.



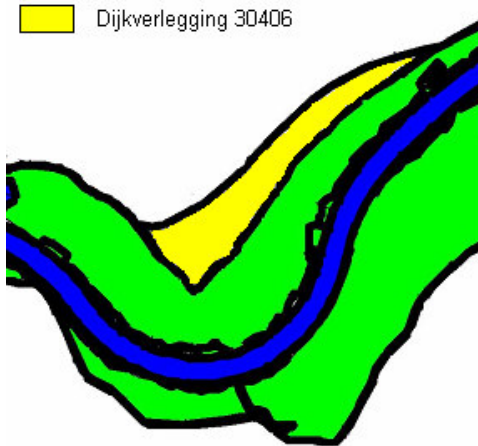
Figuur 7.2: Inrichtingsvoorstel R52-2 (RIZA, 2003)

Ook bij inrichtingsvoorstel R52-3 wordt de camping verwijderd. De maximale waterstanddaling, berekend door het projectbureau, is 2,4 cm, maar een groot deel hiervan wordt veroorzaakt door dijkverlegging R52-dvl (rond rivierkilometer 953,3) die in het inrichtingsvoorstel verwerkt is (figuur 7.3). Voor deze dijkverlegging moet een militair depot, zichtbaar rechtsonder op de foto op de omslag, verwijderd worden



Figuur 7.3: Inrichtingsvoorstel R52-3 (RIZA, 2003)

Tot voorjaar 2003 is ook een grootschalige dijkverlegging in beeld geweest bij het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier'. Deze dijkverlegging (Ruimte voor de Rivier-code 30406, figuur 7.4) is echter geschrapt omdat het projectbureau heeft besloten geen grootschalige dijkverleggingen uit te voeren langs de Lek. Kleine dijkverleggingen zijn nog wel in beeld. De maximale waterstanddaling die met deze grootschalige dijkverlegging bereikt zou kunnen worden is 5,4 cm.



Figuur 7.4: Dijkverlegging 30406

Landschapsarchitectenbureau H+N+S (Nieuwenhuijze et al., 1994) presenteert een gebiedsvisie voor de Graafsche waard met nevengeulen en gorzen met getijwerking. De hele Graafsche waard wordt 2 m verlaagd en op een groot deel van de Graafsche waard is grasland met struweel/bosjes gepland. Als dit inrichtingsvoorstel hydraulisch met SOBEK doorgerekend wordt (Bijlage B4.1) blijkt het (in ieder geval op de bovenstroomse projectrand) aan de taakstelling te kunnen voldoen. De nevengeul en gorzen onttrekken waarschijnlijk veel debiet aan de hoofdgeul, waardoor de stroomsnelheid in de hoofdgeul daalt en aanzanding het gevolg is. Deze aanzanding vermindert de vaardiepte voor de scheepvaart.

Dit plan is niet als een volwaardig alternatief beschouwd, omdat het nog in een primitieve fase zit, het waarschijnlijk aanzanding in de hoofdgeul veroorzaakt en 2 m verlaging waarschijnlijk resulteert in een vrij drassige uiterwaard met moeras en niet in grasland met struweel.

7.2 Nieuwe inrichtingsvoorstellen

Uit paragraaf 7.1 blijkt dat de bestaande inrichtingsvoorstellen waarschijnlijk niet haalbaar zijn (gebiedsvisie H+N+S) of gericht op het ontwikkelen van natuurlijk grasland. Het aanbod van inrichtingsvoorstellen is dus vrij beperkt. Om dit aanbod uit te breiden worden vier nieuwe inrichtingsvoorstellen ontwikkeld. Twee met natuurontwikkeling als thema en twee met het huidige landgebruik (landbouw en veeteelt) als thema. Het thema natuurontwikkeling is gekozen omdat natuurontwikkeling conform het vigerende beleid is. Wel moeten de natuurinrichtingsvoorstellen iets toevoegen en dus duidelijk anders zijn dan de door 'Ruimte voor de Rivier' voorgestelde inrichtingsvoorstellen. Het thema huidig landgebruik is gekozen omdat er een kans is dat natuurontwikkeling te duur is of dat de gebruikers van de Graafsche waard hun rechten niet willen opgeven/verkoopen.

Uit hoofdstuk 6 blijkt dat alleen met uiterwaardverlaging of dijkverlegging de taakstelling te realiseren is. Overige maatregelen kunnen alleen in combinatie met andere maatregelen de taakstelling realiseren. De hoofdmaatregel voor de inrichtingsvoorstellen is dan ook uiterwaardverlaging of dijkverlegging.

De vier inrichtingsvoorstellen (figuur 7.5) zijn: huidig landgebruik met alleen buitendijkse maatregelen (HLbuiten), huidig landgebruik met ook binnendijkse maatregelen (HLbinnen), natuurontwikkeling met alleen buitendijkse maatregelen (NATbuiten) en natuurontwikkeling met ook binnendijkse maatregelen (NATbinnen). De effecten van de inrichtingsvoorstellen op de waterstanden worden berekend met SOBEK en worden besproken in paragraaf 7.3. De schematisatie is vrij grof uitgevoerd. Dit om tijd te besparen en omdat gedetailleerd schematiseren in SOBEK niet mogelijk is. Daarna worden de inrichtingsvoorstellen kwantitatief beoordeeld op het voldoen aan de taakstelling en kwalitatief op de morfologische effecten van de inrichtingsvoorstellen.

		Thema	
		Huidig landgebruik	Natuurontwikkeling
Maatregelen	Alleen buitendijks (zonder dijkverlegging)	HLbuiten (Paragraaf 7.2.1)	NATbuiten (Paragraaf 7.2.3)
	Ook binnendijks (met dijkverlegging)	HLbinnen (Paragraaf 7.2.2)	NATbinnen (Paragraaf 7.2.4)

Figuur 7.5: Nieuwe inrichtingsvoorstellen

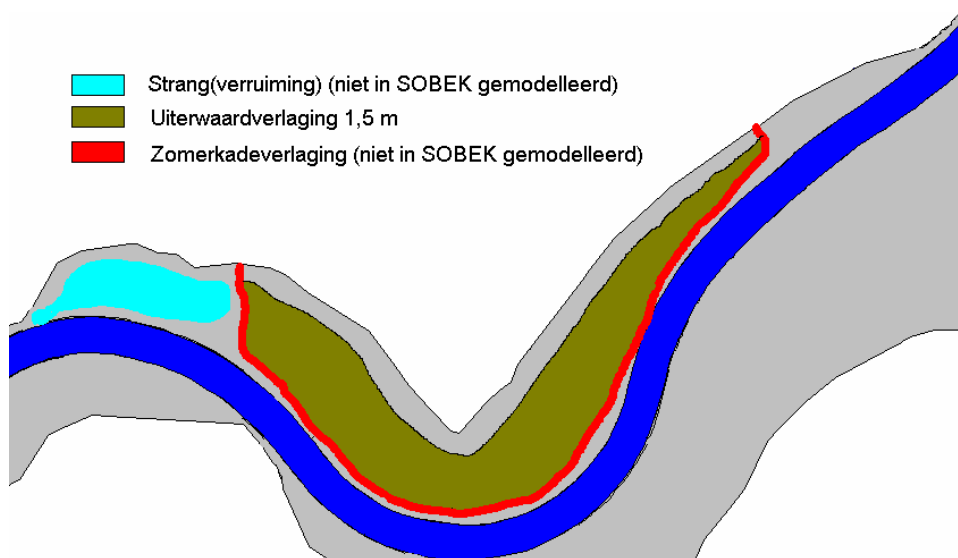
7.2.1 Huidig landgebruik buitendijkse maatregelen (HLbuiten)

Een uitgebreide beschrijving van het inrichtingsvoorstel HLbuiten en de schematisatie in SOBEK is te vinden in Bijlage B4.2. Uitgangspunten bij dit inrichtingsvoorstel zijn:

- Zo goed mogelijk behoud huidig landgebruik;
- Zo goed mogelijk voldoen aan taakstelling;
- Geen veranderingen aan bandijk;
- Geen aanpassingen in zomerbed.

De taakstelling wordt voor het grootste deel gerealiseerd door middel van uiterwaardverlaging. De overige mogelijke maatregelen (figuur 6.3) passen niet bij de uitgangspunten (dijkverlegging) of hebben relatief weinig waterstandverlagend effect.

Het inrichtingsvoorstel 'huidig landgebruik buitendijkse maatregelen' bestaat uit een integrale uiterwaardafraving van 1,5 m. Om de stabiliteit van de bandijk te behouden wordt een strook van 100 m langs de bandijk niet afgegraven. Daarnaast wordt de strang in 't Horde verruimd om opstuwing tegen te gaan en vindt zomerkadeverlaging plaats met ongeveer 1 m (figuur 7.6).



Figuur 7.6: Inrichtingsvoorstel HLbuiten

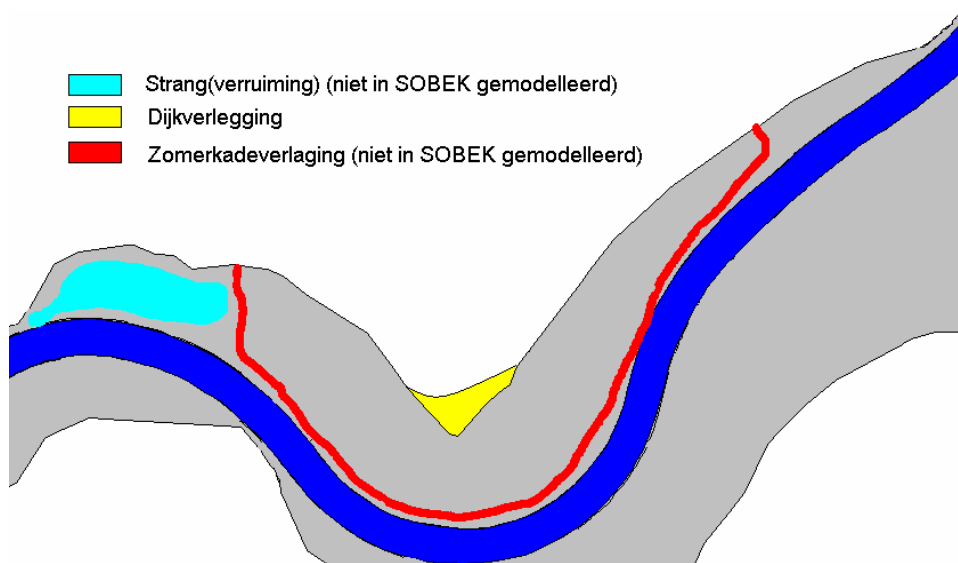
Het effect van dit inrichtingsvoorstel op de waterstand is berekend met SOBEK. In de schematisatie zijn de verlaging van de zomerkade en de strangverruiming niet meegenomen. Het schematiseren hiervan in SOBEK is bewerkelijk en daardoor kunnen er makkelijk fouten geïntroduceerd worden. Bovendien is het effect van deze twee maatregelen op de waterstand klein vergeleken met het effect van uiterwaardverlaging. Voor het verkrijgen van een eerste indicatie van het effect van dit inrichtingsvoorstel is het simuleren van uiterwaardverlaging voldoende.

7.2.2 Huidig landgebruik ook binnendijkse maatregelen (HLbinnen)

Een uitgebreide beschrijving van het inrichtingsvoorstel HLbuiten en de schematisatie in SOBEK is te vinden in Bijlage B4.3. Uitgangspunten bij dit inrichtingsvoorstel zijn:

- Zo goed mogelijk behoud huidig landgebruik;
- Zo goed mogelijk voldoen aan taakstelling;
- Geen aanpassingen in zomerbed.

Aangezien uiterwaardverlaging de landbouwfunctie aantast wordt deze maatregel niet meegenomen. De taakstelling zal gerealiseerd moeten worden met een kleine dijkverlegging, zomerkadeverlaging en strangverruiming. Om het huidige landgebruik zo min mogelijk aan te tasten worden er bij de dijkverlegging geen woningen betrokken en is een grote dijkverlegging geen optie. Een plattegrond van dit inrichtingsvoorstel is te vinden in figuur 7.7. Dit inrichtingsvoorstel lijkt sterk op R52-2 (paragraaf 7.1). De dijkverlegging is ongeveer gelijk van vorm en omvang. Het belangrijkste verschil is het landgebruik: natuurlijk grasland bij inrichtingsvoorstel R52-2 en agrarisch- en recreatief gebruik (camping) bij HLbuiten.



Figuur 7.7: Inrichtingsvoorstel HLbinnen

De strangverruiming en zomerkadeverlaging zijn niet in SOBEK geschematiseerd omdat dit vrij veel tijd kost en niet nodig is voor het verkrijgen van een eerste indicatie van het effect van dit inrichtingsvoorstel. Het simuleren van dijkverlegging is hiervoor voldoende.

7.2.3 Natuurontwikkeling buitendijkse maatregelen (NATbuiten)

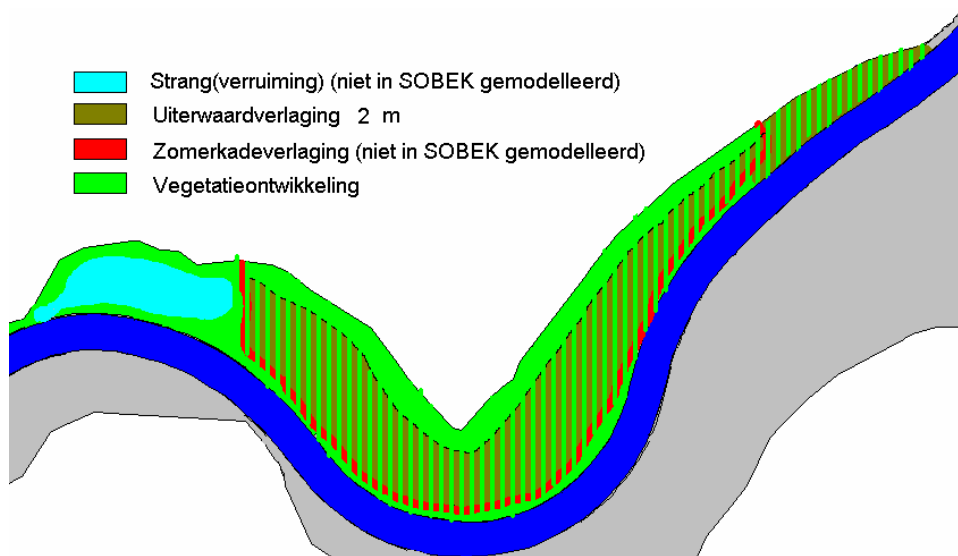
Een uitgebreide beschrijving van het inrichtingsvoorstel HLbuiten en de schematisatie in SOBEK is te vinden in Bijlage B4.4. Uitgangspunten bij dit inrichtingsvoorstel zijn:

- Zo goed mogelijk natuurontwikkeling;
- Zo goed mogelijk voldoen aan taakstelling;
- Geen veranderingen aan banddijk;

- Geen aanpassingen in zomerbed.

Pedroli en Rademakers (1995) hebben een streefbeeld opgesteld voor een op natuur gerichte ecotopenverdeling langs de Boven-Lek. Ze vonden een ecotopenverdeling met ongeveer 18% grasland ($k = 0,3$ m), 11% open water ($k = 0,1$ m) en 71% ruigte en overige natuur, waaronder een verwaarloosbaar klein percentage bos ($k = 2$ m). Er wordt aangenomen dat de ecotopen willekeurig verspreid liggen. De resulterende k -waarde voor de Graafsche waard; $k = 1,2$ m, is berekend met de methode gepresenteerd in IVR-DSS (zie bijlage B4.4). Om de ruwheidsstijging te compenseren wordt de uiterwaard gemiddeld 2 m verlaagd, met uitzondering van een 100 m brede strook langs de bandijk. De uiterwaardverlaging kan echter betekenen dat er een verschuiving richting moeras en andere natte ecotopen plaatsvindt. Deze nieuwe ecotopenverdeling lijkt dan minder op het streefbeeld.

Het inrichtingsvoorstel bestaat verder uit strangverruiming en zomerkadeverlaging. Ook wordt de camping verwijderd en het terrein verlaagd (figuur 7.8).



Figuur 7.8: Inrichtingsvoorstel NATbuiten

De schematisatie in SOBEK bestaat alleen uit uiterwaardverlaging, campingverwijdering en een verandering van k -waarde. De strangverruiming en zomerkaderverlaging zijn niet in SOBEK geschematiseerd omdat dit vrij veel tijd kost en niet nodig is voor het verkrijgen van een eerste indicatie van het effect van dit inrichtingsvoorstel. Het simuleren van uiterwaardverlaging, vegetatieontwikkeling en campingverwijderen is hiervoor voldoende.

7.2.4 Natuurontwikkeling ook binnendijkse maatregelen (NATbinnen)

Een uitgebreide beschrijving van het inrichtingsvoorstel HLbuiten en de schematisatie in SOBEK is te vinden in Bijlage B4.5. Uitgangspunten bij dit inrichtingsvoorstel zijn:

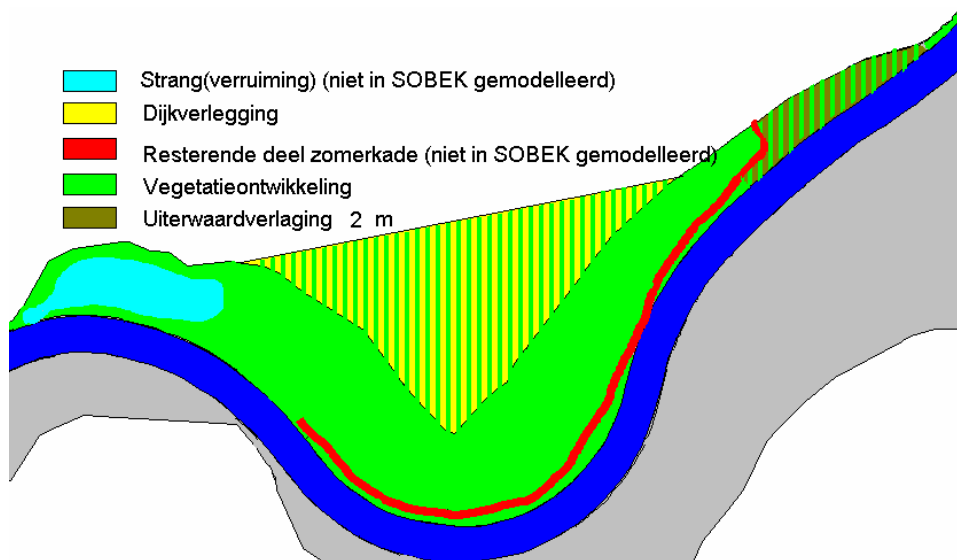
- Zo veel mogelijk voldoen aan natuurlijk streefbeeld;
- Veel waterstanddaling;
- Geen aanpassingen in zomerbed.

De dijkverlegging in dit inrichtingsvoorstel wordt zo groot mogelijk uitgevoerd. Er zijn drie agrarische bedrijven bij betrokken. Als de dijkverlegging nog groter uitgevoerd wordt neemt het aantal betrokken boerderijen/woningen sterk toe. Door de grote dijkverlegging levert dit inrichtingsvoorstel veel waterstanddaling op. Deze 'extra' waterstanddaling kan gebruikt worden:

- Als in de toekomst MHW nog verder stijgen;
- Om bovenstrooms maatregelen uit te sparen;
- Om meer vegetatieontwikkeling toe te laten.

Naast een grote dijkverlegging bestaat dit inrichtingsvoorstel uit gedeeltelijke zomerkadeverwijdering, de aanleg van een tweede strang en het verruimen van de bestaande strang in 't Horde.

De vegetatieontwikkeling wordt relatief vrij gelaten. Een ecotopenverdeling is moeilijk te schatten. Er wordt uitgegaan van 25% bos ($k = 10$ m), 15% open water ($k = 0,1$ m), 30% grasland ($k = 0,3$ m) en 30% ruigte en overige natuur ($k = 10$ m). Vooral de bosontwikkeling zal beperkt worden tot stroken parallel aan de stromingsrichting en in stromingsluwe gedeelten. De IVR-DSS methode voor het bepalen van de resulterende nikradse-ruwheid is daarom iets aangepast (zie bijlage B4.5). Uiteindelijk is $k = 1,9$ m als representatief voor de gehele Graafsche waard aangenomen. Een plattegrond van het inrichtingsvoorstel is te vinden in figuur 7.9.



Figuur 7.9: Inrichtingsvoorstel NATbinnen

De schematisatie in SOBEK bestaat alleen uit dijkverlegging, campingverwijdering en een verandering van k -waarde. De strangverruiming en gedeeltelijke zomerkadeverwijdering zijn niet in SOBEK geschematiseerd omdat dit vrij veel tijd kost en niet nodig is voor het verkrijgen van een eerste indicatie van het effect van dit inrichtingsvoorstel. Het simuleren van dijkverlegging, vegetatieontwikkeling en campingverwijderen is hiervoor voldoende.

7.3 Selectie beste inrichtingsvoorstellen

In deze paragraaf worden alleen de in dit onderzoek ontworpen inrichtingsvoorstellen (paragraaf 7.2) beoordeeld. Hierbij worden twee criteria gebruikt: het rivierkundig functioneren en het voldoen aan de uitgangspunten.

Bij het voldoen aan de uitgangspunten is het belangrijkste criterium of het gewenste landgebruik (huidig landgebruik of natuur) gerealiseerd wordt/blijft.

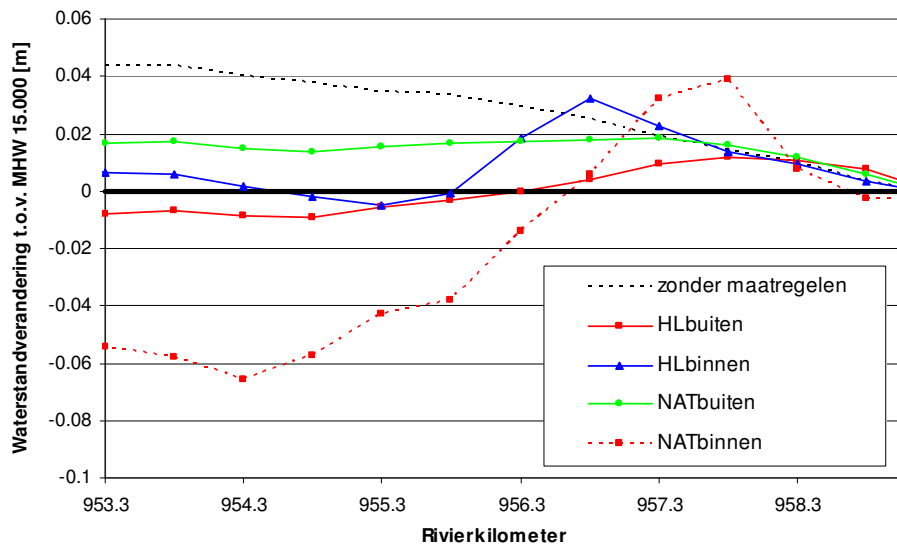
Voor het rivierkundig functioneren is gebruik gemaakt van het 'Rivierkundig Kader voor de Beoordeling van Uiterwaardingsrepen op waterstanden en afvoerverdeling' (Team ANS / van Alphen, 1999). Rivierkundig functioneren kan in dit geval worden opgesplitst in drie deelcriteria:

- Op de bovenstroomse projectgrens 0 mm opstuwing (Op de bovenstroomse projectgrens voldoen aan de taakstelling. Een inrichtingsvoorstel voldoet op een bepaalde locatie aan de taakstelling als de waterstandverandering zich onder de 0-lijn bevindt.);
- Binnen de projectgrenzen is lokale opstuwing toegestaan, maar dit moet zoveel mogelijk gereduceerd worden;
- De afvoerverdeling over de Rijntakken mag niet meer dan $5 \text{ m}^3/\text{s}$ veranderen;

De waterstanden bij de 16.000-golf en de verschillende inrichtingsvoorstellen ten opzichte van de waterstanden bij de 15.000-golf en de huidige schematisatie zijn te zien in figuur 7.10. Op de bovenstroomse projectrand veroorzaken de inrichtingsvoorstellen HLbinnen en NATbuiten meer dan 0 mm opstuwing. De inrichtingsvoorstellen HLbuiten en NATbinnen voldoen wel aan criterium a).

Alle vier de inrichtingsvoorstellen vertonen lokaal opstuwing, criterium b), vooral in het benedenstroomse deel van het projectgebied, soms zelfs tot 4 cm. Bij het uitwerken van de inrichtingsvoorstellen moet geprobeerd worden deze opstuwing zoveel mogelijk te beperken.

De afvoerverdeling verandert niet meer dan 5 m³/s. Het inrichtingsvoorstel NATbinnen heeft een debietverandering van 2 m³/s tot gevolg. Bij de overige inrichtingsvarianten is de debietsverandering minder. Ondanks dat de Graafsche waard 75 km van het splitsingspunt verwijderd is, is er dus wel degelijk (een kleine) invloed op de debietverdeling. Alle inrichtingsvoorstellen voldoen aan criterium c).



Figuur 7.10: Waterstandeffect nieuwe inrichtingsplannen

Het inrichtingsvoorstel HLbuiten voldoet niet aan de uitgangspunten wat betreft gewenst landgebruik. Door de uiterwaardverlaging daalt de gebruikswaarde van de landbouwgrond, met uitzondering van een 100 m brede strook langs de bandijk, tot 3-6% van de maximale opbrengst (tabel 6.1). Voortzetten van de landbouw is niet rendabel. Het inrichtingsvoorstel HLbinnen voldoet wel. Waarschijnlijk daalt de gebruikswaarde van de landbouwgrond wel iets door de zomerkadeverlaging, maar zelfs zonder zomerkade blijft nog 62 van de oorspronkelijke 68% van de maximale gebruikswaarde behouden.

In de inrichtingsvarianten NATbinnen en NATbuiten kan natuur ontwikkeld worden. Vanwege de uiterwaaardafraving zal de natuur in het inrichtingsvoorstel NATbuiten moeilijk aan het streefbeeld kunnen voldoen. Een nattere ecotopenverdeling is echter goed mogelijk.

Een samenvatting van de alinea's hierboven is te vinden in tabel 7.2. HLbinnen en NATbinnen zijn de beste inrichtingsvoorstellen en worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 8.

Ook het inrichtingsvoorstel R52-2 voldoet aan de rivierkundige eisen. Dit inrichtingsvoorstel wordt hier niet uitgewerkt omdat dit al in het maatregelenboek (RIZA, 2003) gebeurd is. Dijkverlegging 30406 is ook niet verder uitgewerkt omdat dit slechts een losse maatregel is en geen concept-inrichtingsvoorstel.

Inrichtingsvoorstel	Rivierkundig functioneren	Voldoen aan de uitgangspunten	Verder detailleren
HLbuiten	+	-	Nee
HLbinnen	+/- ¹	+	Ja
NATbuiten	-	+/-	Nee
NATbinnen	+	+	Ja

Tabel 7.2: Beoordeling inrichtingsvoorstellen

1. HLbinnen voldoet net niet aan de rivierkundige criteria. Op basis van de waterstanddaling, zoals berekend in hoofdstuk 6, voor zomerkadeverlaging en strangverruiming (samen bijna 1 cm) wordt verwacht dat dit inrichtingsvoorstel na verdere uitwerking de taakstelling wel kan realiseren.

8. Uitwerking inrichtingsvoorstellen

In hoofdstuk 7 is een viertal inrichtingsvoorstellen ontwikkeld en daarna is met SOBEK een verkennende berekening uitgevoerd. De twee beste inrichtingsvoorstellen worden in dit hoofdstuk gedetailleerder uitgewerkt en met WAQUA doorgerekend. WAQUA is een tweedimensionaal model waarmee ook kleinere ruimtelijke ingrepen goed geschematiseerd kunnen worden (zie hoofdstuk 4 en bijlage B2).

In paragraaf 8.1 wordt het inrichtingsvoorstel HLbinnen uitgewerkt en doorgerekend en in paragraaf 8.2 gebeurt dit voor het inrichtingsvoorstel NATbinnen.

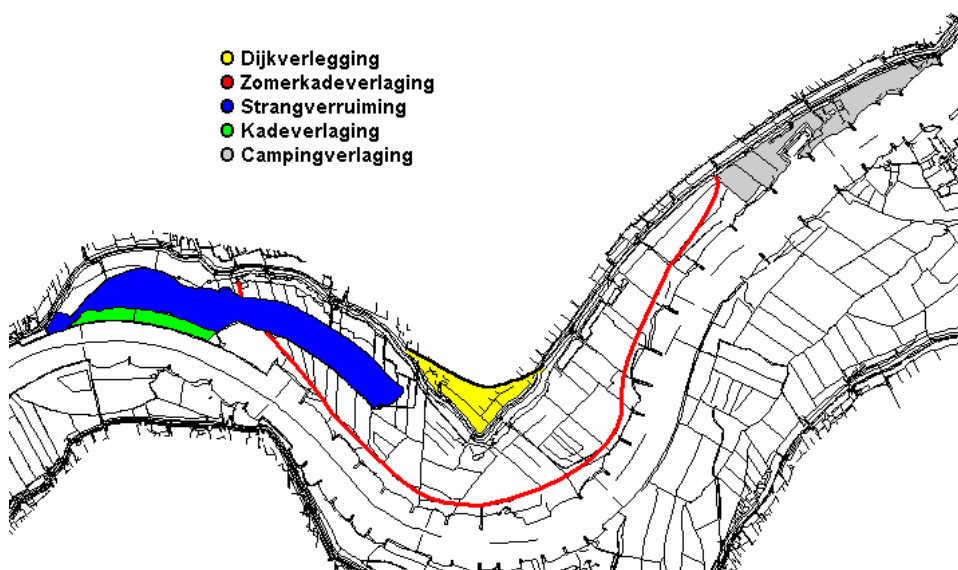
8.1 Huidig landgebruik binnendijs (HLbinnen)

Het inrichtingsvoorstel huidig landgebruik binnendijs haalde de taakstelling niet in de SOBEK-berekening. Maar hierin was de strangverruiming en de zomerkadeverlaging niet verwerkt. In deze paragraaf wordt het inrichtingsvoorstel opnieuw doorgerekend met WAQUA, en is er dus meer detail mogelijk bij het schematiseren.

Naast de al in paragraaf 7.2.1 genoemde maatregelen wordt ook het maaiveld van de camping verlaagd tot 2 m +NAP. De camping ligt nu op ongeveer 4 m +NAP. Ongeveer eens in de 7 jaar overschrijdt de waterstand de 4 m +NAP en komt de camping blank te staan. Om zomerinundaties te voorkomen moet er wel een zomerkade van ongeveer 4 m +NAP worden aangelegd.

Het inrichtingsvoorstel is te zien in figuur 8.1 en bestaat uit:

- een kleine dijkverlegging;
- zomerkadeverlaging;
- strangverruiming;
- campingverlaging.



Figuur 8.1: Inrichtingsvoorstel HLbinnen

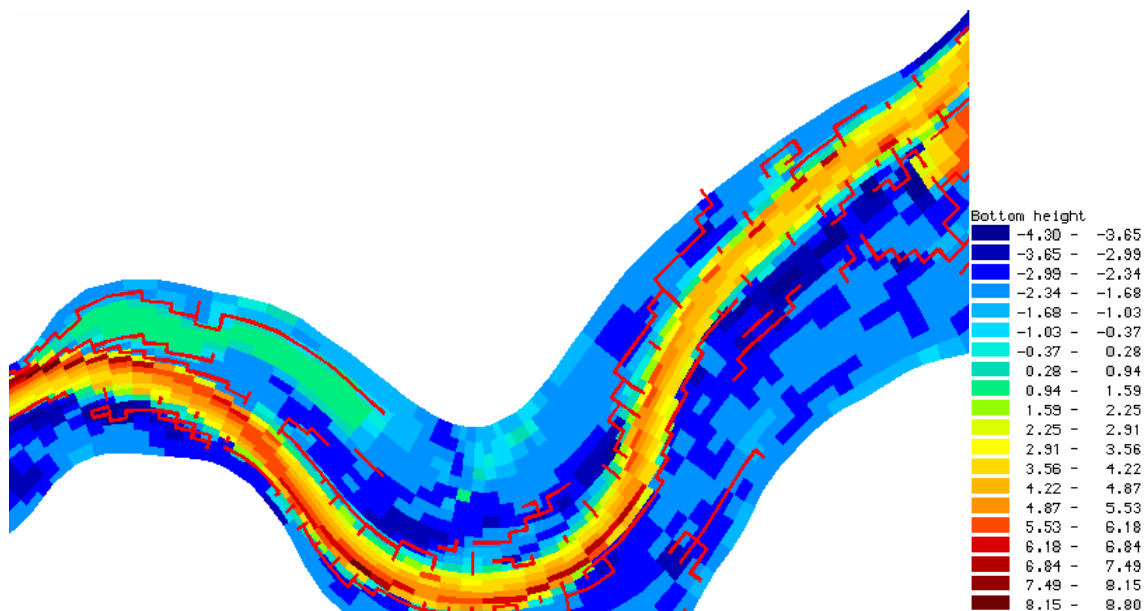
De dijkverlegging wijkt iets af van de dijkverlegging doorgerekend in hoofdstuk 7. Dit in verband met de afmetingen van het WAQUA-rooster. Het totale oppervlak van de dijkverleggingen is echter ongeveer gelijk.

De nieuwe zomerkadehoogte is berekend met behulp van betrekkinglijnen (Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland afd. informatie (ANIC), 1996). In de huidige situatie is de zomerkade in de Graafsche waard vrij hoog. Het terrein achter de zomerkade inundeert ongeveer eens in de 7 jaar. Volgens ervaringsdeskundigen kan een uiterwaard ongeveer 1 keer per jaar ('s winters) inunderen zonder grote negatieve gevolgen voor de landbouwopbrengst. De zomerkade kan dus

verlaagd worden. De waterhoogte behorende bij een inundatiefrequentie van 1 keer per jaar ligt tussen de 2,2 m +NAP (benedenstroomse deel) en 2,5 m +NAP (bovenstroomse deel). Dit wordt ook de nieuwe hoogte van de zomerkade. Waar het bodemniveau hoger is dan toekomstige zomerkadehoogte verdwijnt de zomerkade helemaal. Dit is goed te zien in figuur 8.2: op de hogere (donkerblauwe) oeverwal is de zomerkade, de rode lijn, niet altijd aanwezig.

Rond 't Horde is de taakstelling moeilijk te realiseren. De strang in 't Horde wordt verbreed tot 100 m van de bandijk en verlengd. Deze grote strangverruiming moet voor maximale rivierverruiming zorgen ter hoogte van 't Horde. De kade tussen hoofdgeul en strang wordt verlaagd tot 2 m+NAP zodat het water hier de uiterwaard tijdens hoogwater makkelijker kan verlaten. Bij lagere waterstanden fungeert de kade nog steeds als stroomgeleiding.

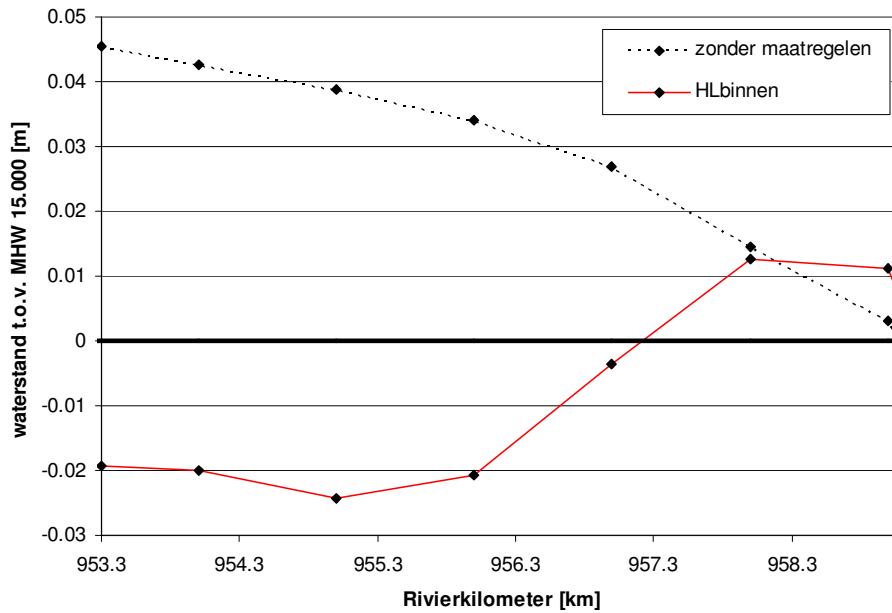
De schematisatie (bodemhoogte en overlaten) van dit inrichtingsvoorstel is te zien in figuur 8.2.



Figuur 8.2: Schematisatie (bodem en overlaten) HLbinnen

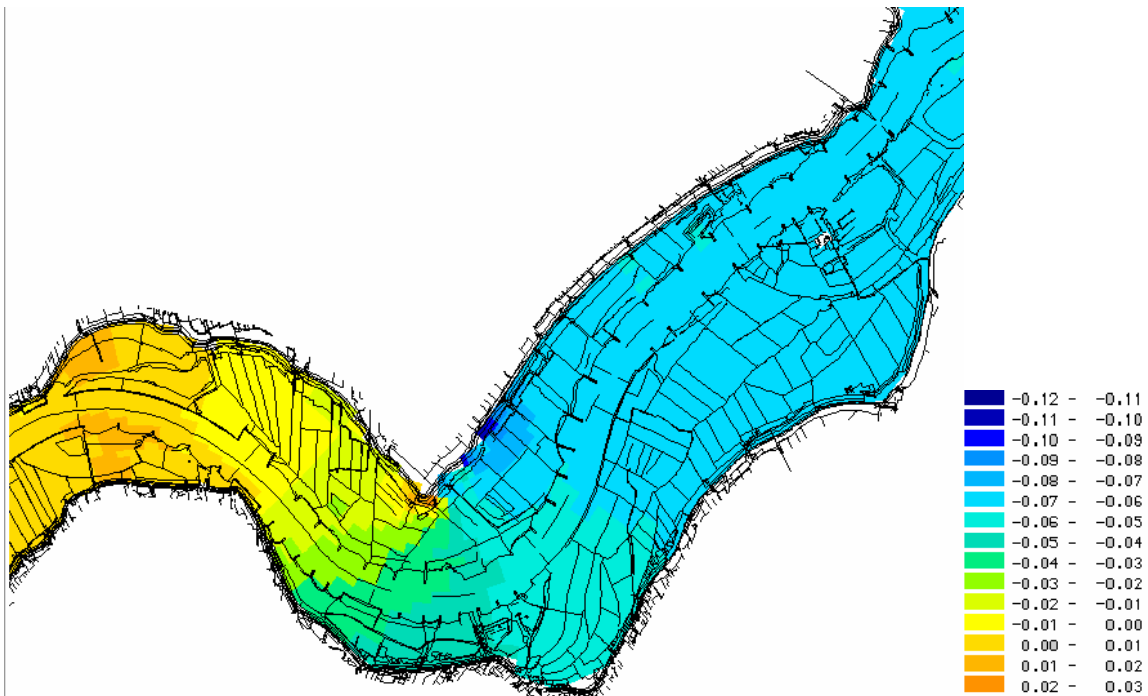
De taakstelling en de waterstandverandering als gevolg van het inrichtingsvoorstel HLbinnen zijn te zien in figuur 8.3. De taakstelling geeft de waterstandstijging aan als gevolg van de toenemende MA in onveranderd rivierprofiel. Het inrichtingsvoorstel HLbinnen voldoet aan de taakstelling als de waterstandverandering onder de 0-lijn blijft. Dit is niet het geval vanaf rivierkilometer 957,3 tot de benedenstroomse projectrand. Wel is de relatief grote opstuwing die door SOBEK berekend werd (3 cm) rond rivierkilometer 957 verminderd tot iets meer dan 1 cm. Dit is te danken aan de strangverruiming en kadeverlaging. Om op dit traject toch aan de taakstelling te voldoen zullen er benedenstrooms of in de linkeruiterwaard maatregelen genomen moeten worden.

De waterstand op de bovenstroomse rand is 2 cm lager dan de taakstelling vereist. Deze extra waterstanddaling kan gebruikt worden om een deel van de taakstelling bovenstrooms te realiseren. Ook zou de strang kleiner uitgevoerd kunnen worden. Zo blijft er bovendien meer landbouwgrond (huidig landgebruik) over.



Figuur 8.3: Waterstandeffect HLbinnen

Een plaatselijke MHW-verhoging langs de dijk tot 2,5 cm wordt geaccepteerd, hoewel dit geen officieel beleid is (Team ANS / van Alphen, 1999). De maximale plaatselijke verhoging, zichtbaar in figuur 8.4 is 1 à 2 cm. Er hoeven dus geen maatregelen genomen te worden om lokale opstuwing tegen te gaan.



Figuur 8.4: Waterstandeffect HLbinnen 2-dimensionaal

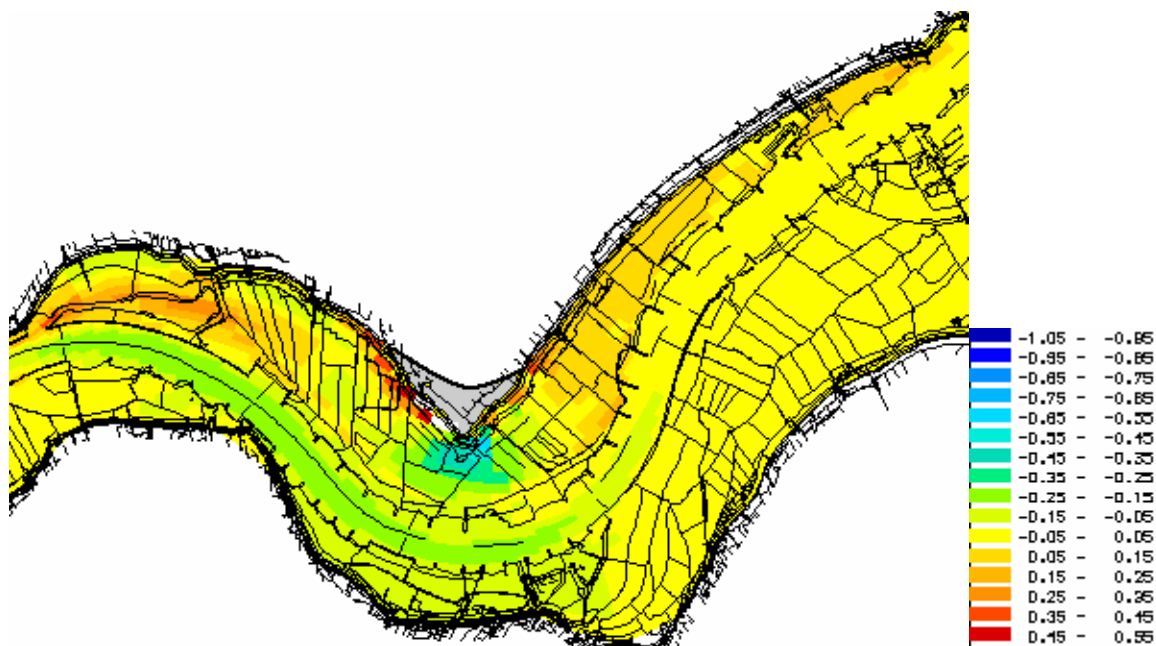
Hoewel WAQUA geen morfologische module bevat kunnen er wel kwalitatieve uitspraken gedaan worden over de morfologische gevolgen van het inrichtingsvoorstel. In figuur 8.5 is de verandering in dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens MHW-condities te zien als gevolg van

het inrichtingsvoorstel HLbinnen. De absolute stroomsnelheden met en zonder inrichtingsvoorstel HLbinnen zijn te vinden in bijlage B5.1. Hoewel MHW-condities weinig voorkomen kunnen er uit figuur 8.5 toch conclusies getrokken worden over de locatie waar de stroomsnelheden in het algemeen zullen toenemen of afnemen.

Ter hoogte van de camping en de instroom van de Graafsche waard neemt de stroomsnelheid toe met ongeveer 0,1 m/s. Ook in de strang neemt de stroomsnelheid toe (met ongeveer 0,3 m/s) doordat er meer water door de uiterwaard stroomt en de strang verruimd is. Deze hogere stroomsnelheid zal erosie veroorzaken aan de strangbodem. De omvang hiervan en of deze aanvaarbaar is zal met een morfologische berekening moeten worden ingeschat.

Uiteraard verandert het stromingspatroon rond de dijkverlegging (grijze vlak). Ter plaatse van de 'knik' in de oude dijk daalt de stroomsnelheid met ongeveer 0,6 m/s. Dit zal de eroderende werking van het snel stromende water rond de knik verminderen. Het is niet duidelijk of deze eroderende werking ook de dijk aantast, maar in figuur 3.1 is direct zuidelijk van de knik een plas te zien die waarschijnlijk door erosie ontstaan is. Na dijkverlegging zal de erosie in ieder geval minder zijn.

De belangrijkste morfologische processen spelen zich af in de hoofdgeul. In verband met de vaardiepte voor de scheepvaart zijn aanzandingen hier ongewenst. Tussen rivierkilometer 956 en 959 daalt de stroomsnelheid met maximaal 0,25 m/s. Dit is een vermindering van maximaal 20%. Door deze verminderde stroomsnelheid neemt het sedimenttransporterende vermogen van de rivier af en wordt er sediment afgezet. Hierdoor vermindert de vaardiepte. Bij minder extreme hoogwaters, tot de 1/jaar-afvoer behoudt de zomerkade haar stroomgeleidende functie zodat het stromingspatroon (en dus de morfologie) in de hoofdgeul weinig verandert. Een morfologische berekening zal uitsluitend moeten geven over het uiteindelijke effect van inrichtingsvoorstel HLbinnen op de morfologie en de vaardiepte.



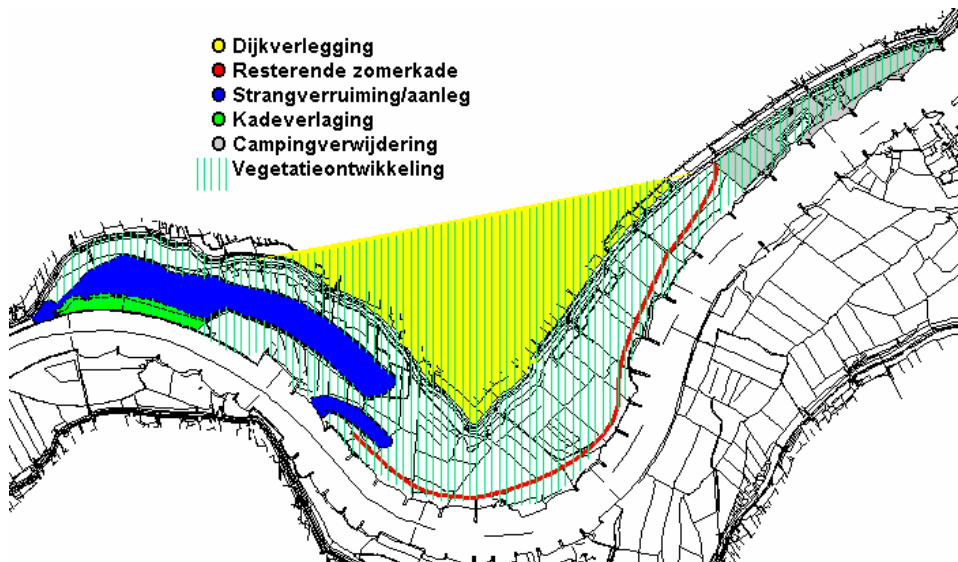
Figuur 8.5: Verandering stroomsnelheid HLbinnen

8.2 Natuurontwikkeling binnendijks (NATbinnen)

Het inrichtingsvoorstel NATbinnen haalde de taakstelling op de bovenstroomse projectrand ruim in de SOBEK-berekening. Vanaf rivierkilometer 956,5 tot de benedenstroomse projectrand wordt de taakstelling niet gehaald. Er is plaatselijk zelfs 4 cm opstuwing. De SOBEK-berekening kent echter een laag detailniveau en de strangverruiming/aanleg en gedeeltelijke zomerkadeverwijdering zijn niet meegenomen. De WAQUA-berekening die in deze paragraaf beschreven wordt is completer en gedetailleerder.

Het inrichtingsvoorstel is te zien in figuur 8.6 en bestaat uit:

- een grote dijkverlegging;
- gedeeltelijke zomerkadeverwijdering;
- strangverruiming en stranganleg;
- campingverwijdering;
- vegetatieontwikkeling.



Figuur 8.6: Inrichtingsvoorstel NATbinnen

De dijkverlegging valt buiten de grenzen van het gebruikte WAQUA-rooster. Er is dus een roosteruitbreiding gemaakt om dit inrichtingsvoorstel door te rekenen. Het bleek niet mogelijk het rooster te laten voldoen aan alle technische eisen die aan een WAQUA-rooster gesteld worden. De gebrekkige nauwkeurigheid bij het handmatig plaatsen van roosterpunten en het ruimtegebrek in de binnenbocht zijn daar de oorzaak van. Er is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Het effect van de roosteruitbreiding op de waterstand bleef ongeveer constant als de roostereigenschappen varieerden. Er is dus geconcludeerd dat de roosteruitbreiding voldoende nauwkeurig is, ook al voldoet deze niet aan de technische eisen. Meer over de roosteruitbreiding is te vinden in bijlage B2.2.3.

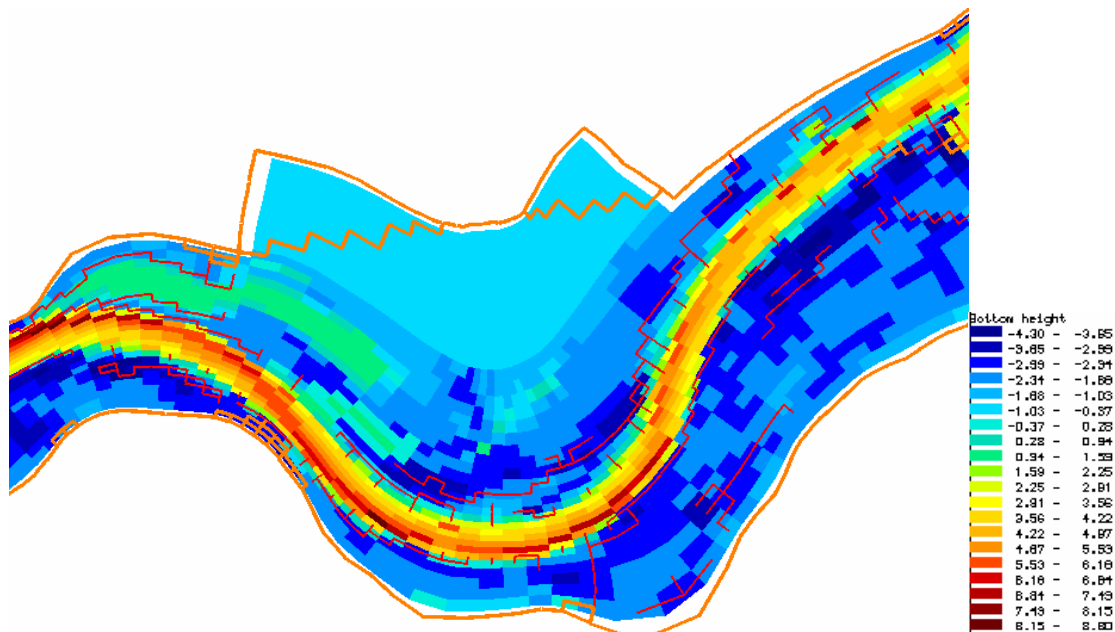
De zomerkade wordt verwijderd vanaf rivierkilometer 957,5 en verder stroomafwaarts. Het resterende deel zomerkade behoudt de huidige hoogte. Door deze maatregel stroomt de Graafsche waard niet te vaak mee, maar dringen waterstandveranderingen (door getij en/of afvoergolven) wel door in de uiterwaard. Er is niet gekozen voor zomerkadeverlaging omdat er door de dijkverlegging een veel bredere uiterwaard is ontstaan. Door de brede uiterwaard zal er meer debiet door de uiterwaard stromen en minder door de hoofdgeul. Hierdoor daalt het sedimenttransporterende vermogen in de hoofdgeul waardoor sediment neerslaat en ondiepten ontstaan. Deze ondiepten zijn nadelig voor de scheepvaart. Door de zomerkade hoog te houden wordt voorkomen dat de uiterwaard vaak meestroomt.

Rond 't Horde is de taakstelling moeilijk te realiseren. De strang in 't Horde wordt verbreed tot 100 m van de bandijk en verlengd. Deze grote strangverruiming moet voor maximale rivierverruiming zorgen ter hoogte van 't Horde. De kade tussen hoofdgeul en strang wordt verlaagd tot 2 m+NAP zodat het water hier de uiterwaard tijdens hoogwater makkelijker kan verlaten. Bij lagere waterstanden fungeert de kade nog steeds als stroomgeleiding. Om ecologische redenen wordt een tweede kleinere strang aangelegd.

De camping in het oostelijke deel van de Graafsche waard wordt verwijderd en vervangen door natuur. Het terrein wordt afgegraven tot 2 m +NAP om de instroom van de Graafsche waard te verbeteren. Een verdere afgraving brengt waarschijnlijk de stabiliteit van de bandijk in gevaar. Eigenlijk mag er helemaal niet afgegraven worden binnen 100 m van de bandijk, tenzij er extra kwelbeperkende en stabiliteitverhogende maatregelen worden genomen. Er wordt aangenomen dat het afgraven zorgvuldig genoeg gebeurt om het toe te staan.

De vegetatieontwikkeling in de Graafsche waard wordt relatief vrij gelaten en gestuurd door middel van begrazing. In deze situatie bepaalt de natuur 'zelf' hoe de ecotopen zich over de Graafsche waard verspreiden. Er kan echter worden ingegrepen als vegetatie zich op ongewenste locaties ontwikkelt. Zoals al uitgelegd in paragraaf 7.2.4 wordt uitgegaan van 25% bos, 15% open water, 30% grasland en 30% ruigte/overige natuur. De resulterende k-waarde is afgerond 2 m. Deze waarde wordt voor de hele Graafsche waard gehanteerd met uitzondering van de strangen.

De schematisatie (bodemhoogte en overlaten) van dit inrichtingsvoorstel is te zien in figuur 8.7. Het bij de dijkverlegging betrokken terrein heeft een maaiveldhoogte van 0,6 m +NAP. Het nieuwe buitendijkse terrein ligt dus een meter of meer lager dan de bestaande uiterwaard. Na een hoogwaterperiode zal hier dus een laag water blijven staan die langzaam in de bodem infiltreert. Het is een ecologische keuze om eventueel de strang tot in dit gebied te verlengen zodat er vaker water in komt te staan, maar het water na een hoogwaterperiode dit gebied ook weer sneller kan verlaten.

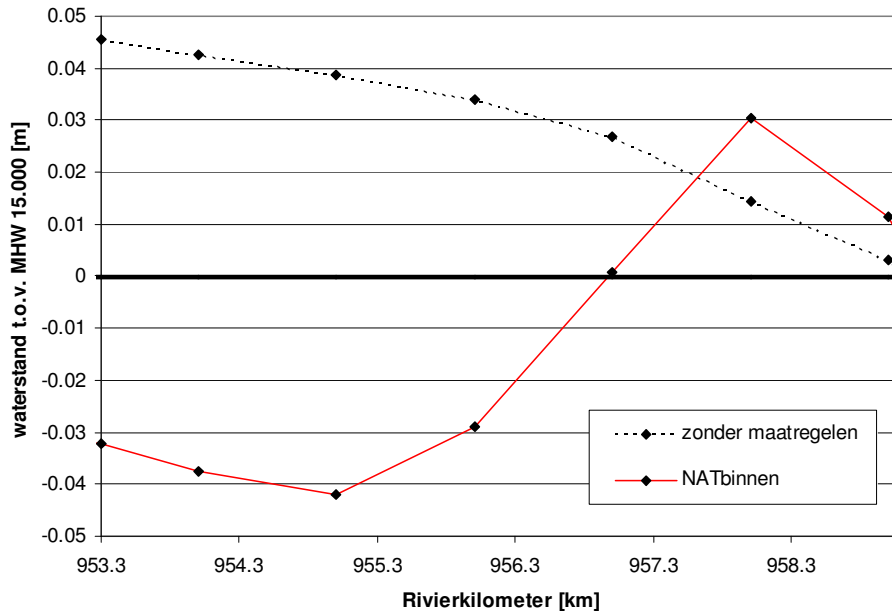


Figuur 8.7: Schematisatie (bodem en overlaten) NATbinnen

De taakstelling en het effect op de waterstand van het inrichtingsvoorstel HLbinnen zijn te zien in figuur 8.8. De taakstelling geeft de waterstandstijging aan als gevolg van de toenemende MA in onveranderd rivierprofiel. Het inrichtingsvoorstel HLbinnen voldoet aan de taakstelling als de waterstandverandering onder de 0-lijn blijft.

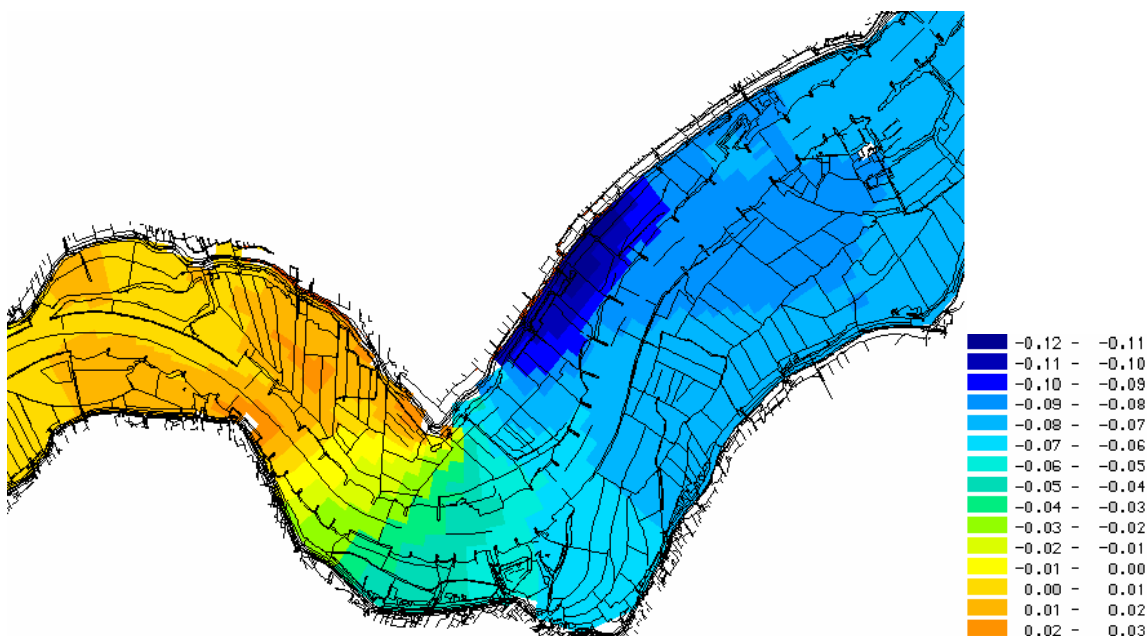
Vanaf rivierkilometer 957 tot de bovenstroomse projectrand wordt ruim aan de taakstelling voldaan. In het benedenstroomse deel van het projectgebied komt echter opstuwning voor tot wel 3 cm boven de taakstelling. Om op dit traject toch aan de taakstelling te voldoen zullen er benedenstrooms of in de linkeruiterwaard maatregelen genomen moeten worden. De extra waterstanddaling op de bovenstroomse projectrand kan gebruikt worden als in de toekomst MHW nog verder stijgt, om bovenstrooms maatregelen uit te sparen of om meer vegetatieontwikkeling

toe te laten. Als voor extra vegetatieontwikkeling gekozen wordt kan de Nikuradse ruwheid van de Graafsche waard toenemen tot $k = 5$ m zonder dat de taakstelling in gevaar komt (zie bijlage B5.2). Dit betekent dat er een voor de Lek uniek gebied met grote delen bos en ruigte kan worden gerealiseerd.



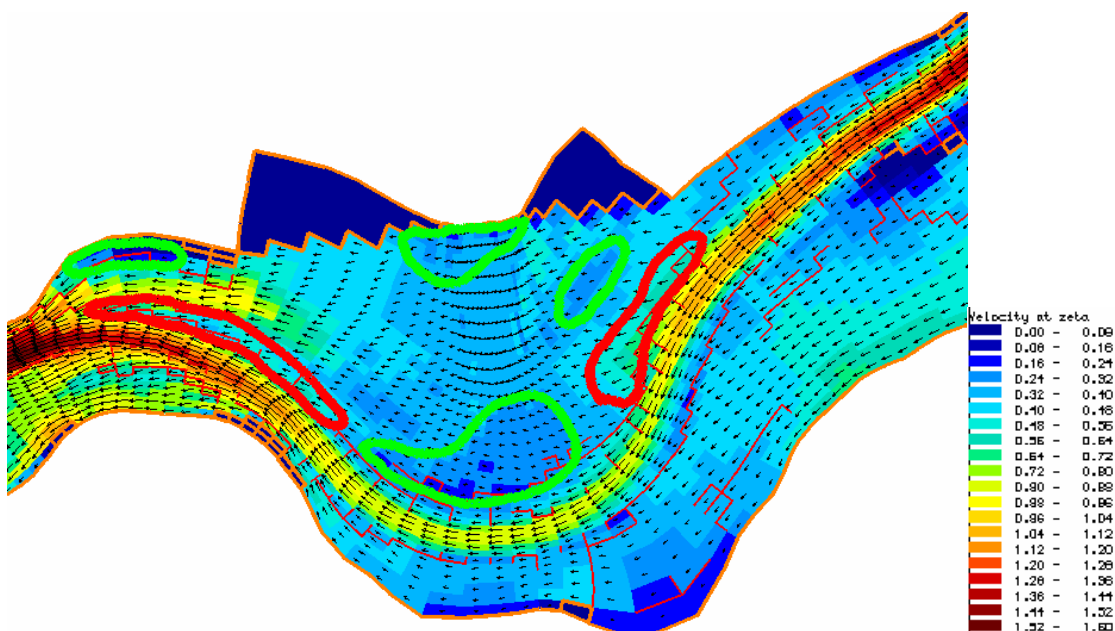
Figuur 8.8: Waterstandeffect NATbinnen

In figuur 8.9 is het waterstandeffect van inrichtingsvoorstel NATbinnen op een 2-dimensionale kaart te zien. Een plaatselijke MHW-verhoging langs de dijk tot 2,5 cm wordt geaccepteerd, hoewel dit geen officieel beleid is (Team ANS / van Alphen, 1999). De maximale plaatselijke verhoging, zichtbaar in figuur 8.9 is 2 à 3 cm. De waterstandverhoging is dus kritiek. Als dit inrichtingsvoorstel gekozen wordt zullen nog extra maatregelen nodig zijn. In figuur 8.9 is mooi het waterstandverlagende effect van de dijkverlegging.



Figuur 8.9: Waterstandeffect NATbinnen 2-dimensionaal

Als de vegetatieontwikkeling intensiever beheerd wordt, bijvoorbeeld omdat de extra waterstanddaling stroomopwaarts nodig is, kan figuur 8.10 behulpzaam zijn bij het wel of niet toestaan van vegetatieontwikkeling. Figuur 8.10 geeft de stroomsnelheden na uitvoering van het inrichtingsvoorstel NATbinnen. Na de aanname dat een hoge stroomsnelheid ook een hoog specifiek debiet betekent kan figuur 8.10 gebruikt worden als variant op het q-criterium (bijlage B1.5.2). De rood omcirkelde locaties kennen een relatief grote stroomsnelheid en zijn daarom van relatief groot belang voor de rivierafvoer. Hier moet vegetatieontwikkeling bestreden worden. De groen omcirkelde locaties dragen weinig bij aan de totale rivierafvoer en veel weerstand (bos) levert hier weinig problemen op.



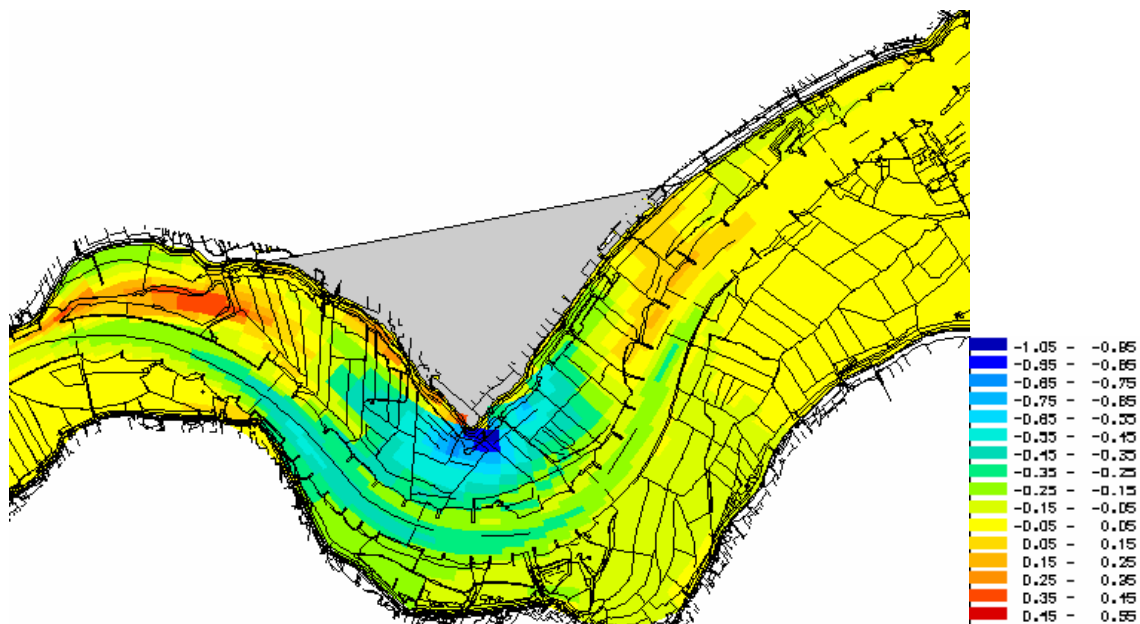
Figuur 8.10: Stroomsnelheden NATbinnen

Kwalitatieve uitspraken over de morfologische gevolgen van het inrichtingsvoorstel NATbinnen kunnen gedaan worden aan de hand van figuur 8.11. In deze figuur is de verandering in dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens MHW-condities te zien als gevolg van het inrichtingsvoorstel NATbinnen. Hoewel MHW-condities weinig voorkomen kunnen er uit figuur 8.11 toch conclusies getrokken worden over de locatie waar de stroomsnelheden toenemen of afnemen.

Ter hoogte van de camping en de instroom van de Graafsche waard neemt de stroomsnelheid toe met ongeveer 0,2 m/s. Ook in de strang neemt de stroomsnelheid toe (met ongeveer 0,4 m/s) doordat er veel meer water door de uiterwaard stroomt en de strang verruimd is. Dit is bijna een verdubbeling van de stroomsnelheid. Als er een planstudie voor dit inrichtingsvoorstel komt zal zeker onderzocht moeten worden wat hiervan de gevolgen zijn voor de strangbodem.

Uiteraard verandert het stromingspatroon rond de dijkverlegging (grijze vlak). Ter plaatse van de 'knik' in de oude dijk daalt de stroomsnelheid met ongeveer 1,0 m/s. Dit zal de eroderende werking ter plekke verminderen.

In de hoofdgeul levert een verandering van de stroomsnelheid vaak problemen op omdat snelheidsveranderingen erosie en sedimentatie veroorzaken. Dit kan de vaardiepte voor de scheepvaart in gevaar brengen. Tussen rivierkilometer 955 en 959 daalt de stroomsnelheid. Plaatselijk zelfs met 0,55 m/s. Vergeleken met de oude stroomsnelheid van ongeveer 1,4 m/s is dit een daling van 40%. Aangezien het sedimenttransport evenredig is met de stroomsnelheid tot de derde à vijfde macht neemt de sedimenttransportcapaciteit van de rivier onder MHW-condities af met 80 à 90%. Dit zal zeker aanzanding tot gevolg hebben. MHW-condities zijn echter zeldzaam. Tijdens minder extreme hoogwaters zal de daling van de stroomsnelheid kleiner zijn en de dus ook aanzanding minder. Een morfologische berekening zal de vraag moeten beantwoorden of er ondiepten in de hoofdgeul te verwachten zijn.



Figuur 8.11: Verandering stroomsnelheid NATbinnen

De waterstand voldoet in het grootste deel van het projectgebied aan de taakstelling, maar er is veel opstuwing rond rivierkilometer 958. Morfologisch kan dit inrichtingsvoorstel voor problemen zorgen. Er is aanzanding te verwachten tussen rivierkilometer 955 en 959. Dit kan verminderd worden door de zomerkade ook benedenstrooms van rivierkilometer 957,5 te laten bestaan. Een deel van de aanzanding is echter onvermijdelijk.

9. Discussie

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksmethoden en de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken kritisch bekeken. Paragraaf 9.1 behandelt de gevolgde onderzoeksmethode. Paragraaf 9.2 gaat in op de uiteindelijke inrichtingsvoorstellen.

9.1 Onderzoeksmethode

9.1.1 Rivierkundig beoordelingskader

Enkele maanden na de start van dit afstudeeronderzoek is een nieuw rivierkundig beoordelingskader uitgebracht (Onderafdeling rivierkunde et al., 2004). Dit onderzoek, is dus gebaseerd op een inmiddels verouderd rivierkundig beoordelingskader (Team ANS et al., 1999). De belangrijkste veranderingen ten opzichte van het oude beoordelingskader zijn de nieuwe berekeningsmethode voor de taakstelling en de regels voor lokale opstuwing:

De taakstelling wordt voortaan berekend op basis van de Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW) uit de 'Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996), afgekort HR1996, en een berekening met $MA\ 16.000\ m^3/s$ (zie voor beschrijving van de rekenmethode (Onderafdeling rivierkunde et al., 2004). In het oude beoordelingskader wordt de taakstelling berekend zoals beschreven in paragraaf 5.1. In het nieuwe beoordelingskader is de autonome bodemdaling in de nieuwste schematisatie verwerkt. Hierdoor is het rivierprofiel ruimer dan bij de bepaling van de HR1996. Dit ruimere rivierprofiel leidt waarschijnlijk tot een lagere taakstelling, maar zeker is dat niet omdat hier nog geen onderzoek naar gedaan is.

In het oude beoordelingskader waren lokale opstuwingen tot 2,5 cm toegestaan. In het nieuwe beoordelingskader moet overal voldoende waterstanddaling gerealiseerd worden en elke vorm van opstuwing moet voorkomen worden. Als de opstuwing niet met planaanpassingen en/of maatregelen benedenstrooms te voorkomen is kan in overleg met de dijkbeheerder besloten worden om de eventuele overhoogte van de dijk te gebruiken. Als er geen overhoogte beschikbaar is moet het inrichtingsvoorstel worden afgeblazen en moet een geheel nieuw inrichtingsvoorstel ontwikkeld worden.

De verwachting is dat als het nieuwe beoordelingskader gebruikt wordt dit niet zal leiden tot sterk veranderde inrichtingsvoorstellen. Wel is de opstuwing in het benedenstroomse deel van de Graafsche waard een probleem. Voorstellen om dit probleem op te lossen zijn te vinden in paragraaf 9.2.2.

In de inleiding (hoofdstuk 1) is besloten om zee- en windinvloeden buiten beschouwing te laten. In het nieuwe beoordelingskader wordt eveneens voorgeschreven om de stijging van de MHW voor het traject langs de Graafsche waard puur op de rivierinvloed te baseren. Het nieuwe beoordelingskader bevestigt dus de afbakening van dit onderzoek.

9.1.2 Onzekerheden modelresultaten en modelgebruik

De waterstandeffecten berekend in dit onderzoek zijn gepresenteerd als harde, zekere, getallen. Het werkelijke waterstandeffect wijkt waarschijnlijk af van deze berekende waarde. Deze afwijking (de onzekerheid) kan voor het grootste deel door twee factoren verklaard worden: door onnauwkeurigheden in het model en de schematisatie en door onzekerheden in de ontwikkeling van het rivierprofiel (erosie, sedimentatie, vegetatieontwikkeling etc.).

Over de nauwkeurigheid van SOBEK en WAQUA bij het berekenen van absolute waterstand is het één en ander bekend (zie paragraaf 4.1 en bijlage B2). In dit onderzoek is echter vooral met waterstandeffecten gerekend en over de nauwkeurigheid van SOBEK en WAQUA bij het berekenen van waterstandeffecten is veel minder bekend. Het is dan ook moeilijk om hier iets over te zeggen. Dat zowel SOBEK als WAQUA bij het berekenen van de taakstelling ongeveer dezelfde waterstandstijging berekenen is een indicatie voor een vrij grote nauwkeurigheid van

beide modellen bij het berekenen van de hydraulische taakstelling. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de afvoerdeling tussen zomer- en winterbed in SOBEK is afgeleid van resultaten uit WAQUA en dat dus de SOBEK berekening niet geheel onafhankelijk is van WAQUA.

Als de schematisatie aangepast wordt is WAQUA waarschijnlijk het meest nauwkeurig van de twee modellen omdat het een veel groter aantal rekenpunten per kilometer heeft en ook 2D-stromingsprocessen in rekening brengt. De nauwkeurigheid van WAQUA wordt op ongeveer 0,5 tot 1 cm geschat, maar dit kan niet met berekeningen of data worden onderbouwd. Omdat SOBEK een 1-dimensionaal model is met minder rekenpunten worden veranderingen in de schematisatie minder nauwkeurig ingebracht. Uit literatuur blijkt dat waterstandveranderingen die berekend zijn met SOBEK maximaal 50% afwijken van waterstandveranderingen berekend met WAQUA (WL delft hydraulics, 1999a). In deze hydraulische verkenning is het verschil in de berekende waterstandveranderingen meestal veel kleiner dan 50% (zie bijlage B2.3).

Naast de onnauwkeurigheid van het model kan ook de kwaliteit van de schematisatie bijdragen aan de onzekerheid. De uiterwaardschematisatie van WAQUA stamt bijvoorbeeld uit begin jaren tachtig (de hoofdgeulschematisatie is van 1991). Sindsdien zal er door vegetatie en aanslibbing zeker het een en ander veranderd zijn. Het effect hiervan is echter vooral bij de berekening van de absolute waterstanden merkbaar. In dit onderzoek is vooral het effect van maatregelen bepaald. Dit zijn verschilberekeningen waardoor de kwaliteit van de originele schematisatie minder van belang is.

Tot slot zijn er ook inherente onzekerheden zoals variatie in bodemhoogte, variatie in vegetatieontwikkeling etc. Als de vegetatieontwikkeling bijvoorbeeld niet verloopt zoals aangegeven in het inrichtingsplan zal dit de waterstand zeker beïnvloeden. In hoofdstuk 6, figuur 6.3, is te zien dat veranderingen in afgravingsdiepte of vegetatieruwheid enkele centimeters verschil in waterstandeffect opleveren. Bij kleine veranderingen in deze parameters wordt de onzekerheid geschat op maximaal 1 cm.

Samenvattend wordt de onzekerheid in met WAQUA berekende waterstandeffecten geschat op ongeveer 1 cm. Wetenschappelijk bewijs hiervoor is er echter niet. De onzekerheid in waterstandeffecten berekend met SOBEK is waarschijnlijk groter.

Als gevolg van de onzekerheden in de berekende waterstandeffecten kan bijvoorbeeld de hydraulische taakstelling van 4,5 cm eigenlijk beter omschreven worden als een hydraulische taakstelling van ongeveer 4 à 5 cm. Omdat het projectbureau 'Ruimte voor de Rivier' de waterstandeffecten ook altijd op de mm 'nauwkeurig' geeft zijn ook in dit rapport de berekende waterstandeffecten met deze (schijn)nauwkeurigheid weergegeven.

Er rest de vraag of met één model dezelfde resultaten geboekt hadden kunnen worden. Één model heeft als voordeel dat een modelleur zich niet in twee modellen hoeft te verdiepen.

Het was mogelijk geweest om alle berekeningen met WAQUA uit te voeren. Hoewel schematiseren in SOBEK sneller gaat dan in WAQUA, hadden de berekeningen in het vooronderzoek ook in WAQUA uitgevoerd kunnen worden. Dit had iets meer tijd gekost, maar dat was gecompenseerd door de tijdwinst die geboekt wordt bij het installeren en modelverkennen als maar één model gebruikt wordt. Als alleen WAQUA gebruikt was zouden de uiteindelijke inrichtingsvoorstellen niet afwijken van de nu voorgestelde inrichtingsvoorstellen.

Als alle berekeningen met SOBEK uitgevoerd zouden zijn waren de uiteindelijke resultaten minder nauwkeurig geweest, waardoor bijvoorbeeld te ingrijpende of onvoldoende maatregelen zouden zijn voorgesteld. In grote lijnen zouden de inrichtingsvoorstellen waarschijnlijk wel op de huidige inrichtingsvoorstellen lijken, maar het verkrijgen van lokale stromingsbeelden en opstuwingsbeelden is dan niet mogelijk. Hierdoor is het moeilijker om aanbevelingen te doen voor de detaillering van de inrichtingsvoorstellen, zoals het verlagen van de kade tussen strang en hoofdgeul.

Samenvattend was SOBEK niet noodzakelijk voor dit onderzoek en WAQUA wel. Deze conclusie was te verwachten, aangezien SOBEK bedoelt is voor berekeningen op het niveau van een rivierstelsel en WAQUA meer geschikt is voor berekeningen op uiterwaardsniveau.

9.2 Inrichtingsvoorstellen

9.2.1 Optimalisatie inrichtingsvoorstellen

De inrichtingsvoorstellen die tijdens deze hydraulische verkenning ontwikkeld zijn, zijn slechts concept-inrichtingsvoorstellen. Alvorens een definitief inrichtingsvoorstel te kiezen zal een inschatting van de kosten gemaakt moeten worden. Als er definitief een inrichtingsvoorstel is gekozen zal dat inrichtingsvoorstel nog verder uitgewerkt moeten worden door middel van een planstudie.

Zowel HLbinnen als NATbinnen realiseren meer waterstanddaling dan nodig op de bovenstroomse projectrand. De inrichtingsvoorstellen kunnen dus nog geoptimaliseerd worden door maatregelen minder groot uit te voeren en zo kosten te besparen. Een mogelijkheid is om de camping niet te verlagen of te verwijderen omdat dit waarschijnlijk vrij veel geld kost en het verschil in waterstand klein is.

Voor het inrichtingsvoorstel NATbinnen is het uitgangspunt dat er sprake is van een gemiddelde ecotopenverdeling over de gehele uiterwaard. Er kan ook voor gekozen worden om de locatie van de verschillende ecotopen meer gedetailleerd te plannen. Dit kan tot meer waterstanddaling leiden.

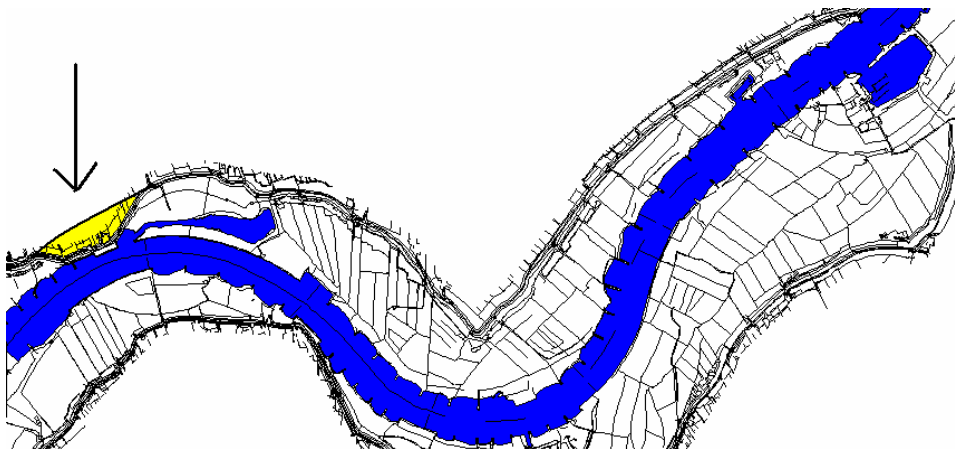
Ook op morfologisch gebied zijn er nog een aantal optimalisatiestappen nodig. In hoofdstuk 8 werd duidelijk dat met name het inrichtingsvoorstel NATbinnen voor grote veranderingen in de stroomsnelheid kan zorgen. De gevolgen hiervan op de morfologie zullen nader onderzocht moeten worden.

9.2.2 Benedenstroomse opstuwing

In het benedenstroomse deel van de Graafsche waard wordt voor geen enkel inrichtingsvoorstel voldaan aan de hydraulische taakstelling. Er is opstuwing aanwezig die zoveel mogelijk ongedaan gemaakt moet worden.

Er zijn hiervoor drie mogelijkheden:

- Benedenstrooms en/of op de linkeroever extra verruimen. Bijvoorbeeld met een kleine dijkverlegging zoals te zien in figuur 9.1;
- het maximaal verruimen van de strang in 't Horde (zie alinea onder figuur 9.1). De waterstanddaling berekend in hoofdstuk 8 laat echter zien dat hiermee waarschijnlijk niet voldoende waterstanddaling te behalen is. Strangverruiming kan wel een bijdrage leveren, maar kan de opstuwing niet alleen oplossen;
- als de twee vorige mogelijkheden niet uitgevoerd kunnen worden kan in overleg met de dijkbeheerder besloten worden om de overhoogte van de dijk te gebruiken. Deze overhoogte is aanwezig, maar mag alleen gebruikt worden als het echt niet anders kan.



Figuur 9.1: Voorstel kleine dijkverlegging stroomafwaarts van 't Horde

De inrichtingsvoorstellen uit het maatregelenboek (figuur 6.1 t/m 6.3) gaan alle drie uit van een stranguitbreiding met een eiland in het midden. Dit eiland wordt niet afgegraven omdat de grond hier voor een groot deel uit klasse 4 grond (zwaar verontreinigde grond) bestaat (figuur B1.16 en B1.18) De verwerking daarvan is duur. Nadeel is dat deze stranguitbreiding met eiland in het midden valt van een gebied met lage dq-waarde (figuur B1.14) zodat de afvoercapaciteit van de rivier relatief weinig toeneemt. Ook komt de strang dicht bij de bandijk te liggen waardoor de kwelsituatie binnendijs verandert en er dure maatregelen nodig kunnen zijn om dit te voorkomen. De strang van inrichtingsvoorstellen HLbinnen en NATbinnen ligt juist in een gebied met hoge dq-waarde en 100 m van de bandijk. De afvoercapaciteit neemt daardoor relatief sterk toe, terwijl de kwelsituatie niet sterk verandert. Daarentegen moet er wel een gebied met klasse 4 grond worden afgegraven. Welk alternatief het best is zal nader onderzoek moeten uitwijzen. In zo'n nader onderzoek zal naar de kosten gekeken moeten worden van grondverwerking en maatregelen tegen kwel voor een keuze gemaakt kan worden.

10. Conclusies

Het doel van deze hydraulische verkenning was een aantal inrichtingsvoorstellen presenteren die voldoende waterstanddaling realiseren (voldoen aan de hydraulische taakstelling).

Het vergelijken van resultaten, betrouwbaarheid en toepassingsgebied van SOBEK en WAQUA was een nevendoeel van dit onderzoek. Deze vergelijking moet inzicht geven in de toepasbaarheid van 1D en 2D modellen bij het uitvoeren van een hydraulische verkenning op uiterwaardniveau.

10.1 Inrichtingsvoorstellen

De hydraulische taakstelling is de stijging van de waterstand als gevolg van de toegenomen maatgevende afvoer (MA). De taakstelling voor het riviertraject langs de Graafsche waard is 4,5 cm waterstandstijging op de bovenstroomse projectrand. Inrichtingsvoorstellen voldoen aan de hydraulische taakstelling als ze deze waterstandstijging weer ongedaan maken.

Er bestaat reeds een inrichtingsvoorstel uit het maatregelenboek (a) dat voldoet aan de taakstelling. Daarnaast zijn tijdens dit afstudeeronderzoek twee nieuwe inrichtingsvoorstellen ontwikkeld (b en c) die ook aan de taakstelling voldoen:

- a) Het inrichtingsvoorstel R52-2 uit het Neder-Rijn/Lek Maatregelenboek (RIZA, 2003) bestaat uit een kleine dijkverlegging (waar geen bebouwing bij betrokken is), zomerkadeverlaging, strangverruiming, het integraal afgraven van de uiterwaard en het ontwikkelen van de uiterwaard tot natuurlijk grasland. Dit inrichtingsvoorstel realiseert een waterstanddaling van 4,9 cm op de bovenstroomse projectrand;
- b) Het inrichtingsvoorstel HLbinnen (huidig landgebruik met dijkverlegging) bestaat uit een kleine dijkverlegging (waar geen bebouwing bij betrokken is), zomerkadeverlaging, campingverlaging en strangverruiming. Dit inrichtingsvoorstel realiseert een waterstanddaling van 6,5 cm op de bovenstroomse projectrand. Alleen de dijkverlegging levert 2,8 cm waterstanddaling op;
- c) Het inrichtingsvoorstel NATbinnen (natuur met dijkverlegging) bestaat uit een grote dijkverlegging, campingverwijdering, vegetatieontwikkeling, gedeeltelijke zomerkadeverwijdering en strangverruiming. Dit inrichtingsvoorstel realiseert een waterstanddaling van 8 cm op de bovenstroomse projectrand. Het binnendijkse terrein wordt nu niet intensief gebruikt. Bij de dijkverlegging zijn 3 agrarische bedrijven betrokken.

Er zijn dus drie inrichtingsvoorstellen die aan de hydraulische taakstelling voldoen. In alle drie de voorstellen is sprake van dijkverlegging. De verschillen tussen de inrichtingsvoorstellen liggen voornamelijk in het landgebruik: natuurlijk grasland, agrarische productie of natuur met hogere vegetatietypen.

Zonder dijkverlegging is de taakstelling alleen met verregaande uiterwaardverlaging haalbaar. Als gevolg van uiterwaardverlaging daalt de productiewaarde van de landbouwgrond echter tot onder het niveau waarop rendabele landbouw mogelijk is en nemen de kansen voor het gewenste natuurontwikkeling af.

Als er geen concessies aan het landgebruik gedaan worden is dijkverlegging dus noodzakelijk om de taakstelling in de Graafsche waard te realiseren.

10.2 Gebruik SOBEK en WAQUA en onzekerheden

Een nevendoeel van dit afstudeeronderzoek was het vergelijken van de gebruikte modellen; het 1-dimensionale SOBEK en het 2-dimensionale WAQUA. Het blijkt moeilijk een zuivere vergelijking te maken aangezien beide modellen voor een ander doel gemaakt zijn.

Voor het uitvoeren van een hydraulische verkenning op uiterwaardniveau is WAQUA (2D) beter bruikbaar dan SOBEK (1D). In WAQUA is het namelijk mogelijk om een meer nauwkeurige schematisatie te maken. De onzekerheid in de berekende waterstandeffecten van maatregelen wordt voor de uitgevoerde berekeningen met WAQUA geschat op ongeveer 1 cm.

Voor het uitvoeren van een aantal snelle berekeningen in een vooronderzoek kan SOBEK echter goed gebruikt worden. In de uitgevoerde berekeningen wijken de met SOBEK en WAQUA berekende waterstandeffecten van de maatregelen veel minder dan 50% van elkaar af. Naarmate er, om de inrichtingsvoorstellen te simuleren, meer aanpassingen in de schematisatie van SOBEK gedaan worden wijken de met beide modellen berekende waterstandeffecten verder van elkaar af en is het dus meer gewenst om het 2D-model WAQUA te gebruiken.

De conclusies uit de vorige paragraaf kunnen doorgetrokken worden naar 1 en 2-dimensionale modellen in het algemeen:

- 2-Dimensionale modellen zijn nauwkeuriger en beter bruikbaar voor het uitvoeren van een hydraulische verkenning op uiterwaardniveau dan 1-dimensionale modellen;
- Met 1-dimensionale modellen berekende waterstandverschillen kunnen een goede indicatie zijn voor waterstandschillen berekend met 2-dimensionale modellen.

11. Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn twee inrichtingsvoorstellen voor de Graafsche waard ontwikkeld die kunnen worden toegevoegd aan het lijstje alternatieven van de projectorganisatie 'Ruimte voor de Rivier'. Het is nu aan deze projectorganisatie om een inrichtingsvoorstel voor de Graafsche waard te kiezen of om (een deel van) de hydraulische taakstelling op de linkeroever, in het zomerbed en/of verder benedenstrooms te realiseren.

Naar aanleiding van deze hydraulische verkenning is het aan te raden een dijkverlegging uit te voeren, ongeacht het geplande landgebruik. Dijkverlegging is een duurzame maatregel (in tegenstelling tot bijvoorbeeld zomerbedverdieping) die goed bij de Graafsche waard zou passen in verband met het extensieve gebruik van de binnendijkse gronden en de scherpe hoek in de huidige bandijk die opstuwing veroorzaakt.

Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland kan proberen de nieuwe inrichtingsvoorstellen op het lijstje alternatieven van de projectorganisatie 'Ruimte voor de Rivier' te krijgen. Of indien dit niet mogelijk is bij de projectorganisatie aandringen op het bestaande inrichtingsvoorstel R52-2 (met dijkverlegging). De overige inrichtingsvoorstellen van de projectorganisatie 'Ruimte voor de Rivier' voldoen niet aan de taakstelling, en kunnen alleen in combinatie met extra maatregelen op de linker oever of verder benedenstrooms uitgevoerd worden.

Als een inrichtingsvoorstel gekozen is en een planstudietraject in gang wordt gezet (uitgevoerd door Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland of een andere partij) zijn er twee aandachtspunten die nader onderzocht moeten worden:

1. *De morfologische ontwikkeling*

Waar in de Graafsche waard en het zomerbed is erosie en sedimentatie te verwachten en wat voor problemen kan dat opleveren?

2. *De stranguitbreiding in 't Horde*

Er zijn een tweetal mogelijke stranguitbreidingen getoond in dit rapport. Er zal een afweging gemaakt moeten worden in verband met de aanwezigheid van klasse 4 grond, te behalen extra afvoercapaciteit (dq-criterium) en de nieuwe kwelsituatie. Afhankelijk hiervan kan één van de twee stranguitbreidingen worden gekozen of kan een nieuwe stranguitbreiding ontwikkeld worden.

Als NATbinnen gekozen wordt zullen er ook op ecologisch terrein keuzes gemaakt moeten worden. In inrichtingsvoorstel NATbinnen is de vegetatie ontwikkeling 'vrij gelaten', een zeer natuurlijke situatie. Misschien dat op grond van andere overwegingen toch gekozen moet worden voor een meer geplande ecotopenverdeling.

Met betrekking tot de gebruikte modellen is de belangrijkste aanbeveling dat WAQUA zoals verwacht beter bruikbaar is voor het uitvoeren van een hydraulische verkenning op uiterwaardniveau langs de Nederlandse Rijntakken dan SOBEK. Dit betekent dat de huidige werkwijze voortgezet moet worden. Een onderzoek naar de onzekerheden en gevoeligheid van WAQUA resultaten zou nuttig zijn om beleidsmakers en modelleurs bewust te maken van de onzekerheden die spelen bij het rekenen met WAQUA. De conclusies uit dit onderzoek zouden een leidraad kunnen vormen voor het doorrekenen van inrichtingsvoorstellen met WAQUA.

Bronvermelding

Literatuur

Agtersloot, R.C., D. Dijkstra, L. Terwel en M. Zeeman, 1999. WAQUA-GIS analyse voor de herinrichting van uiterwaarden. Lek en Pannerdensch Kanaal. WLdelft hydraulics, Atlas/rapport Q2476

Alkyon, 2003. *Generatie fijne rekenroosters Rijntakken, 20 m rooster.*

Bruin, D. de, D. Hamhuis, L. van Nieuwenhuijzen, W. Overmars, D. Sijmons & F. Vera, 1987. *Ooievaar: de toekomst van het riviereengebied.* Stichting Gelderse Milieufederatie. Arnhem 128 p.

Buijsrogge, R.H., M.M. Laguzzi, R.L.J. Nieuwkamer, 1996. *IVR-rapport nr. 13, IVR-DSS Gebruikershandleiding en Systeemdocumentatie, Versie 2.00.* WL delft hydraulics.

Scopeformulier SNIP-PARTICIPATIE PROJECTEN, 2003. *Inrichting Zuidelijke Lek uiterwaarden: locaties Everdingen en Lexmond-West.* Versiedatum 13 augustus 2003

Commissie waterbeheer 21^e eeuw, 2000. *Waterbeleid voor de 21e eeuw.*

Duits M.T., H. Havinga, and J.M. van Noortwijk, 2000. *Nauwkeurighedsanalyse 'Ruimte voor Rijntakken'; Onzekerheden in waterstanden en kosten onderzocht.* Land + Water, 40(9):59-61, 2000.

Klijn, F., F. de Vries, 1997. *Uiterwaardverlaging. Gevolgen voor landbouw en natuurontwikkeling.* RvR-rapport 98.01

Langenheem, W. van de en H.E.J. Berger, 2002. *Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas.* Rijkswaterstaat RIZA Arnhem

LVN (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij) 1990. *Natuurbeleidsplan.* Regeringsbeslissing. Sdu, 's-Gravenhage

LVN (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij) 2001. *Structuurschema Groene Ruimte II.* Regeringsbeslissing Planologische Kernbeslissing. Sdu, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996. *Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.* Delft.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998. *Waterkader, vierde nota waterhuishouding.* Regeringsbeslissing.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001. *Hydraulische randvoorwaarden 2001, voor het toetsen van primaire waterkeringen.* Delft.

MX.Systems, 2002. *Simulatie MOdellen voor de NAtte waterstaat, User's Guide WAQUA.* Simona-report 92-10, Rijswijk

Nieuwenhuijze, L., J. Bakker en R. de Koning, 1994, *Gebiedsvisie Buitendijkse Terreinen Lek, hoofdrapport, H+N+S, Utrecht*

Onderafdeling Rivierkunde, ANSP (van Hezel, Tielen) en medewerkers WBR procedure (Huntelaar, Mannaerts en Slendebroek), 2004. *Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Rijntakken.* Intern memo Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, Arnhem. Januari 2004.

Pedroli, G.B.M., J.G.M. Rademakers, 1995. *IVR-rapport 5, Landschapsecologie*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Projectgroep Spankrachtstudie, 2002. *Spankrachtstudie*, RIZA Lelystad

Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002. *Kaartenatlas PKB Ruimte voor de Rivier, kaarten ten behoeve van de ontwerpessies, Rijntak Neder-Rijn en Lek schaal 1:25.000*. Versie 1.0 September 2002

Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland afd. informatie (ANIC), 1996. *Gemiddelde overschrijdingsfrequentie voor afvoertoppen op basis van Afvoerverdelling Rijntakken 1996.0 en Betrekkingslijnen Pann.Kan./Nederrijn/Lek 1996.0*

Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996. *Rivierkaart 218* ged. Lek 1991-06.043, opname april 1996, schaal 1:5000, km 953.9-959.9

RIZA hoofdafdeling IHL, Lelystad. *Neder-Rijn/Lek maatregelenboek*. RIZA-rapportnr. 2003.021

Silva, W., J. Dijkman en F. Klijn, 2000. *Ruimte voor Rijntakken: Wat het onderzoek ons heeft geleerd*. JB&A Grafische Communicatie (Wateringen) RIZA-nota 2000.026, WL-rapport R3294

Stuurgroep Rivierengebied 1991. *Nadere uitwerking Rivierengebied; eindrapport*. 's-Gravenhage

Team ANS / van Alphen, 1999. *Rivierkundig Kader voor de Beoordeling van Uiterwaardingsrepen op waterstanden en afvoerverdelling*. Intern Memo aan medewerkers ANS, Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, 1 november 1999.

Ubels, J. W., 1986. *MHW 16500*. Nota 86.35. Rijkswaterstaat dienst Binnenwateren/RIZA. Arnhem

Veen, R. van der, U. Pakes, L. Schutte, 2002. *Bouw en calibratie SOBEK-Rijn, Rapport + Bijlagen*, RIZA rapport 2002.039, Lelystad

Vriend, H.J. de, 2002. *Modelleren van Integrale Civieltechnische Systemen I*. Collegedictaat Universiteit Twente, code 221220.

WL delft hydraulics, 1994, *SOBEK, Technical reference guide*. Technical report. WL| delft Hydraulics

WL delft hydraulics, 1997, *SOBEK, user manual*. Technical report. Version 1.10. WL| delft Hydraulics

WL delft hydraulics, RIZA, RWS Directie Oost-Nederland, 1999a. *Screening van maatregelen*. RVR-rapport 99.04

WL delft hydraulics, RIZA, RWS Directie Oost-Nederland, 1999b. *Alternatieven voor inrichting rijntakken, Evaluatie van inrichtingsalternatieven*. RVR-rapport 99.06.

WNF, 1992. *Levende rivieren*. Wereld Natuur fonds, Zeist 28 p.

Wolters, H.A., M. Platteeuw, M.M. Schoor, 2001. *Richtlijnen voor de inrichting en beheer van uiterwaarden*, RIZA rapport 2001.059, Arnhem

Internet

Waterstanden

www.actuelewaterdata.nl (5 mei 2004)

Wet op de Waterkering (1996)

<http://www.recht4all.nl/wetten/> (10 oktober 2003)

Ecotopenkaart

www.ecotopenkaarten.nl (17 november 2003)

Modellen

IVR-DSS versie 3.16

SOBEK versie 2.52.003

WAQUA versie 2000.2

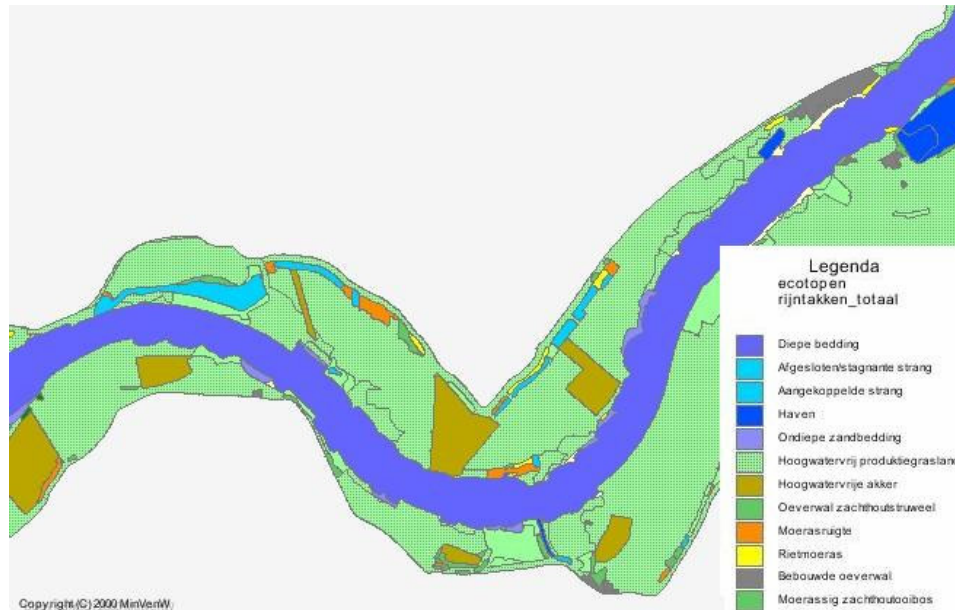
Inhoudsopgave bijlagen

Inhoudsopgave bijlagen	I
Bijlage B1: Gebiedsbeschrijving	II
B1.1 Landgebruik	II
B1.2 Hoogtekaart	II
B1.3 Lopende- en uitgevoerde projecten	IV
B1.4 Foto's	VI
B1.5 Geschiktheid voor uiterwaardverlaging en vegetatieontwikkeling	VIII
B1.6 Belemmeringenkaart	XII
Bijlage B2: Modellen	XV
B2.1 SOBEK	XV
B2.2 WAQUA	XX
B2.3 Vergelijking SOBEK en WAQUA	XXVII
Bijlage B3: Berekening effect maatregelen	XXXIV
B3.1 Dijkverlegging	XXXIV
B3.2 Verwijderen knelpunten	XXXVII
B3.3 Verlaging van de kribben	XXXVIII
B3.4 Verlaging van het winterbed	XLI
B3.5 Aanleg open water	XLIII
B3.6 Vegetatieontwikkeling in het winterbed	XLVI
B3.7 Aanpassingen zomerkade	XLIX
Bijlage B4: Verkenning inrichtingsvoorstellen	LI
B4.1 Gebiedsvisie Buitendijkse Terreinen Lek	LI
B4.2 HLbuiten	LIV
B4.3 HLbinnen	LVI
B4.4 NATbuiten	LVII
B4.5 NATbinnen	LXI
Bijlage B5: Uitwerking inrichtingsvoorstellen	LXIV
B5.1 Huidig landgebruik binnendijs (HLbinnen)	LXIV
B5.2 Natuurontwikkeling binnendijs (NATbinnen)	LXVII
Bijlage B6: Overzicht SOBEK-berekeningen	LXXI
Bijlage B7: Overzicht WAQUA-berekeningen	LXXII

Bijlage B1: Gebiedsbeschrijving

B1.1 Landgebruik

De Graafsche waard bestaat voornamelijk uit hoogwatervrij productiegrasland en hoogwatervrije akker, figuur B1.1. Langs de winterdijk zijn stagnante strangen, moerasruigte, moerassig zachthoutoibos en rietmoeras te vinden. In het Oostelijke deel van de Graafsche waard is een bebouwde oeverwal, de camping.

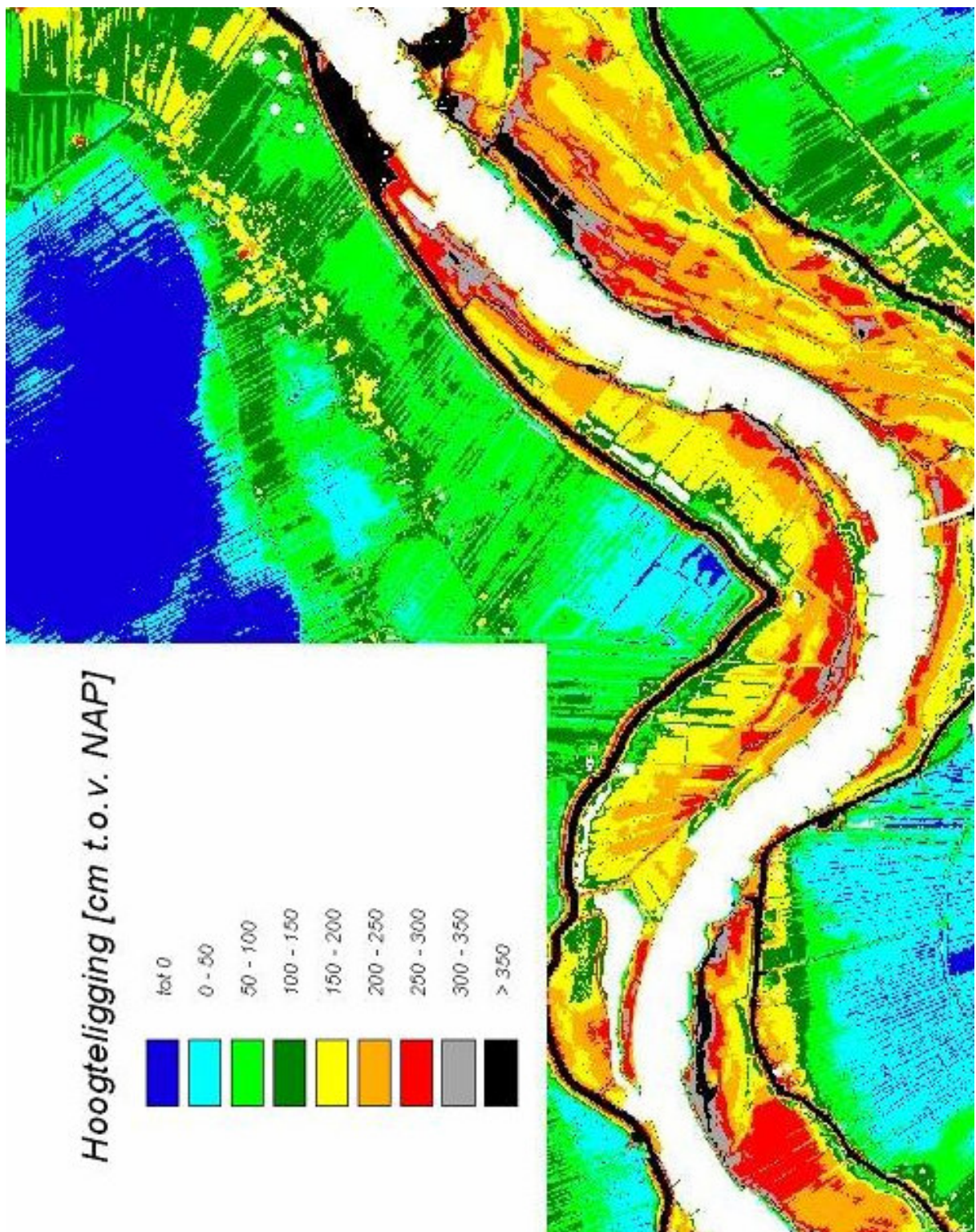


Figuur B1.1: Ecotopenkaart (www.ecotopenkaarten.nl)

B1.2 Hoogtekaart

Figuur B1.2 geeft het bodemniveau in de Graafsche waard weer. De winterdijk en de zomerkade zijn in deze figuur duidelijk zichtbaar, evenals de hooggelegen camping in het oostelijke deel van de Graafsche Waard. Langs de winterdijk is de uiterwaard relatief laaggelegen. Meer richting rivier wordt het bodemniveau hoger en is er sprake van een soort oeverwal.

In figuur B1.2 is duidelijk de opslibbing van de uiterwaarden te zien. Het bodemniveau buitendijks is 1,5 a 2 m hoger dan binnendijks.



Figuur B1.2: Hoogtekaart

B1.3 Lopende- en uitgevoerde projecten

B1.3.1 Strang in 't Horde

(Bron: mondelinge mededeling Luc Oevermans, staatsbosbeheer) De strang in 't Horde is in 1989 gegraven met als doel kleiwinning ten behoeve van dijkversterking. De strang heeft steile oevers, en dus een redelijk waterstandonafhankelijke vorm. Na het dijkversterkingsproject is het beheer van de strang overgedragen aan staatsbosbeheer. Vele vogels hebben ondertussen de strang ontdekt.

In figuur B1.3 is goed het verschil in kleur te zien tussen de hoofdgeul en de strang. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de strang veel minder diep is dan de hoofdgeul. In dezelfde figuur valt op hoe leeg en kaal de uiterwaard is. In 2003, negen jaar later, is de oever begroeid en staat er zelfs een zachthoutooibos langs de strang.

De oorspronkelijk behaalde waterstanddaling bij MHW-condities was 4,5 mm, zie bijlage B3.5. De vegetatieontwikkeling van de afgelopen jaren, het verschil in begroeiing is duidelijk te zien in figuren B1.3 en B1.4, heeft deze daling voor een deel (ongeveer 1 mm) teniet gedaan.



Figuur B1.3: Strang in 't Horde 1994



Figuur B1.4: Strang in 't Horde 2003

B1.3.2 IRMA-project Zuidelijke Lekuitenwaarden

(Bron: Scopeformulier SNIP-PARTICIPATIE PROJECTEN, 2003) Op de linkeroever van de Lek, rivierkilometer 956,2 tot 957,8, tegenover de Graafsche waard, wordt een deel van het project 'Inrichting Zuidelijke Lekuitenwaarden' (ILZ) uitgevoerd. Dit project bestaat uit drie locaties; locatie Everdingen en locatie Lexmond-West, waarvan de uitvoering in 2004 begint, en locatie Vianen, dat in een minder gevorderd stadium is. Voor de planstudie is een IRMA-subsidie ontvangen.

Directe aanleiding voor het project is het deltaplan grote rivieren waarin besloten is om onder andere het dijkvak bij Lexmond te versterken. Vanwege de samenhang tussen dijkversterking, kleiwinning en rivierverruiming is besloten om vooruit te blijven lopen op het totale Ruimte voor de Rivier programma.

De taakstelling voor de locatie Lexmond (rivierkilometer 956,2 tot 957,8) is 1,7 cm. Daarvan wordt 0,25 cm bereikt. Het overige deel van de waterstanddaling zal dus in de Graafsche waard of benedenstrooms behaald moeten worden.

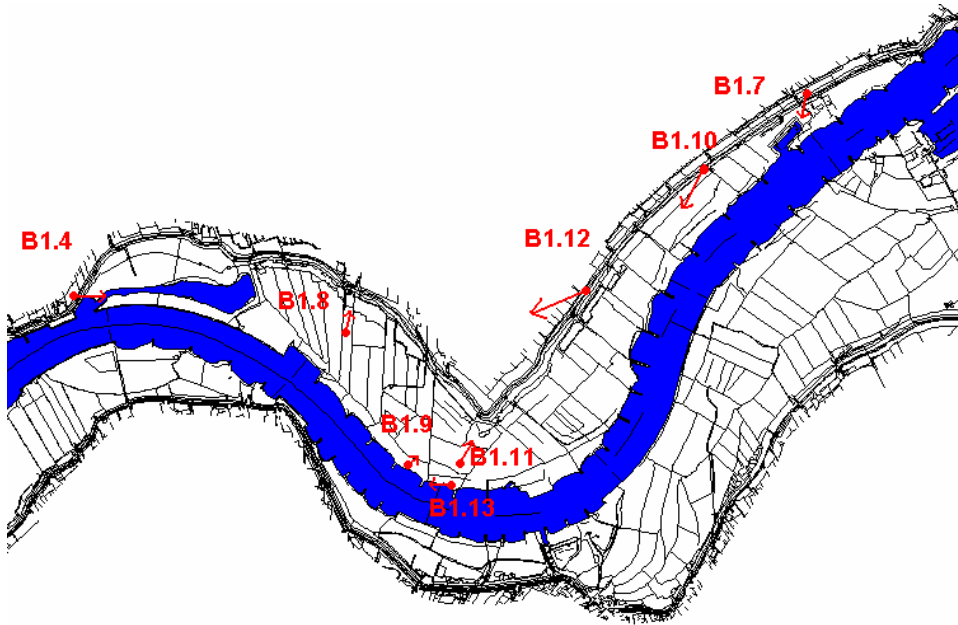
Het inrichtingsplan (figuur B1.5) omvat 11 ha uiterwaardverlaging, waarvan 5 ha getijdegeul en 6 ha rietgors. Inclusief natuurvriendelijke oevers totaal 25 ha natuurontwikkeling.



Figuur B1.5: inrichtingsplan Lexmond-West, IZL

B1.4 Foto's

De foto's in deze paragraaf sluiten niet direct aan bij een van de hoofdstukken, maar zijn bedoeld om een beeld te vormen van de Graafsche waard. In figuur B1.6 zijn de locaties te zien waar de foto's genomen zijn. Tevens is de richting van fotograferen aangegeven. Deze figuur geeft niet alleen de locatie en richting aan van de foto's in bijlage B1.4.1, maar ook van de overige foto's in het rapport. Alle foto's aangegeven in figuur B1.6 zijn genomen op 2 oktober 2003.



Figuur B1.6: locatie en richting foto's

B1.4.1 Impressie Graafsche waard



Figuur B1.7: Camping en Jachthaven



Figuur B1.8: Stagnante strang en rietmoeras aan voet winterdijk



B1.9: Zomerkade



B1.10: Productiegrasland



B1.11: Hoek winterdijk vanuit Graafsche waard (maïsakker)



Figuur B1.12: Binnendijks achter hoek winterdijk (geheel links)



Figuur B1.13: Zomerbed en oever ter hoogte van rivierkilometer 957

B1.5 Geschiktheid voor uiterwaardverlaging en vegetatieontwikkeling

Om te bepalen welke locaties het meest geschikt zijn voor uiterwaardverlaging en/of vegetatieontwikkeling zijn het dq-criterium en het q-criterium ontwikkeld. Het dq-criterium geeft aan waar uiterwaardverlaging de meeste vergroting van de afvoercapaciteit betekend. Het q-criterium wijst de locaties aan waar vegetatieontwikkeling zo min mogelijk stroombelemmerend werkt.

De kaarten met het q-criterium en het dq-criterium zijn gemaakt met het WAQUA-model MHL93989. Er is dus gerekend met een Bovenrijnafvoer van $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De kaarten veranderen echter niet wezenlijk als met een Bovenrijnafvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt gerekend. (Agtersloot et al., 1999)

Het uiterwaardwater en het zomerbed zijn niet meegenomen in de kaarten. Er wordt aangenomen dat extra verlaging op deze al laaggelegen locaties weinig zal opleveren. Het is de vraag of dit voor het uiterwaardwater in de Graafsche waard opgaat, aangezien dit water vrij ondiep is. Voor dit project is het geen probleem dat q en dq waarden voor uiterwaardwater en zomerbed ontbreken, aangezien het oppervlaktewater slechts een klein deel van de uiterwaard beslaat.

B1.5.1 Uiterwaardverlaging: het dq-criterium

(Bron: Agtersloot et al., 1999) Het dq-criterium wordt afgeleid uit twee WAQUA-berekeningen van een riviertraject bij een Bovenrijnafvoer van 16.000 m³/s. Het betreft hier berekeningen met betrekking tot de volgende situaties:

1. de huidige situatie (T0);
2. de huidige situatie, waarbij de uiterwaarden integraal zijn verlaagd met 1 m met uitzondering van plassen en hoogwatervrije gebieden (T1).

Een hoogwatervrij gebied wordt hierbij gedefinieerd als een gebied dat bij een Bovenrijnafvoer van 16000 m³/s droog blijft in de huidige situatie. Het dq-criterium wordt gedefinieerd als de verandering van het specifieke debiet (q) onder invloed van het afgraven van de uiterwaarden met 1 meter. Het specifiek debiet (q) op een rekenpunt wordt berekend door per roosterpunt de waterdiepte te vermenigvuldigen met de plaatselijke dieptegemiddelde stroomsnelheid.

In figuur B1.14 is het dq-criterium voor de Graafsche waard weergegeven. Het uiterwaardoppervlak is verdeeld in vijf klassen, die elk 20% van het oppervlak beslaan. De rode klasse, $dq < dq_{20}$, geeft de 20% van het uiterwaardoppervlak aan die bij verlaging de minste capaciteitswinst oplevert. De donkergroene klasse, $dq > dq_{80}$, geeft de 20% van het uiterwaardoppervlak aan waar verlaging de meeste capaciteitswinst oplevert.

De dq-kaart kan niet klakkeloos gebruikt worden. De toename van het specifiek debiet (q) is niet alleen afhankelijk van de locatie, maar ook van de ruwheid en de huidige bodemligging. Een gunstige locatie voor verlaging kan als ongunstig uit de dq-analyse komen als hier bijvoorbeeld bossages aanwezig zijn. Deze bossages zorgen ervoor dat q nauwelijks kan toenemen. Ook de omgeving van de locatie is van invloed. Doorgaande stromen leveren de meeste waterstanddaling op. Als er niet wordt gezorgd voor aan- en afvoer kan een verlaging lang niet zo succesvol zijn als op basis van de dq-kaart (gebaseerd op integrale verlaging) geschat werd.

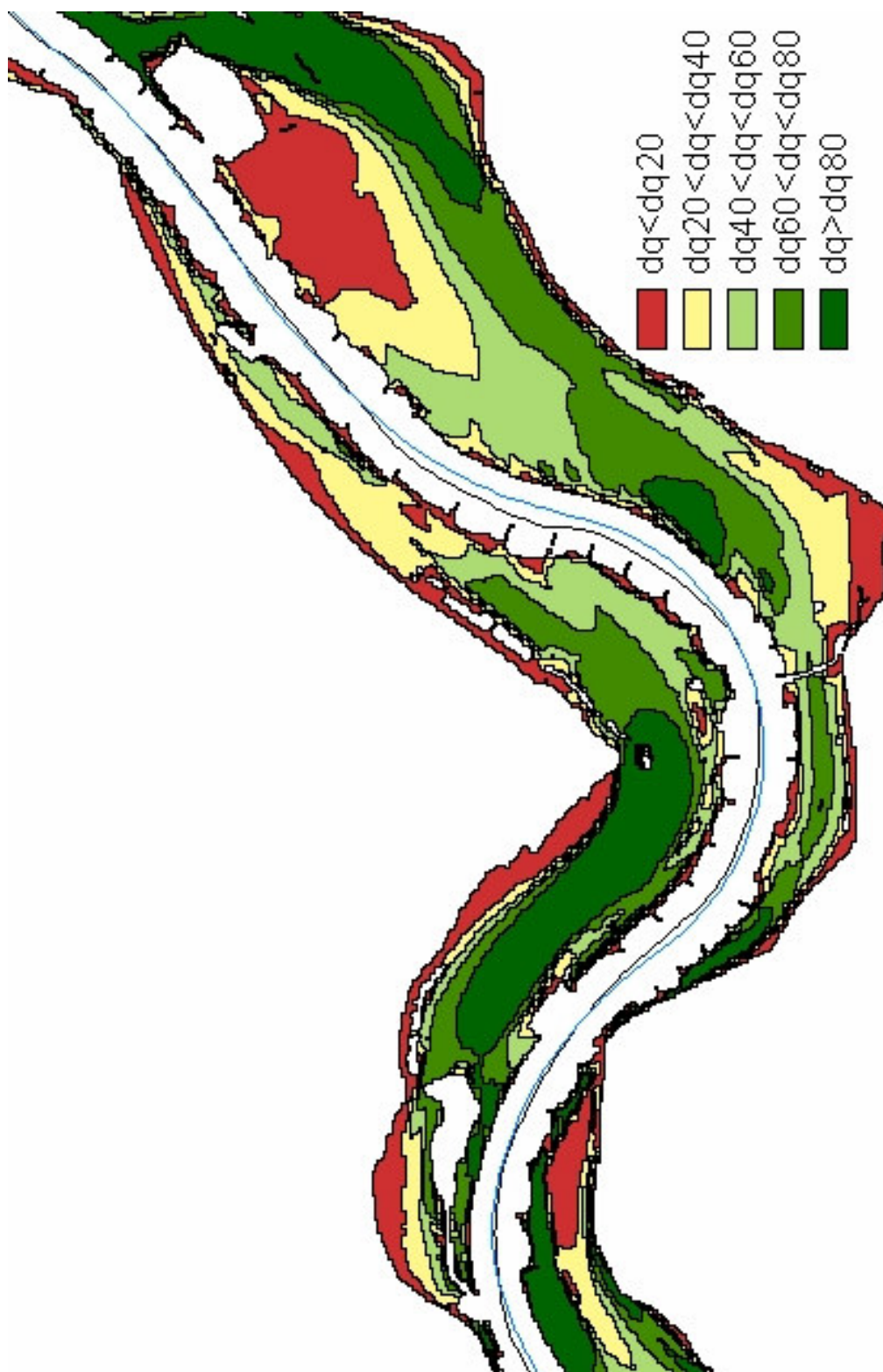
De dq-kaart zal dus altijd in combinatie met ecotopen-, topografische- en bodemniveaukaarten gebruikt moeten worden.

B1.5.2 Vegetatieontwikkeling: het q-criterium

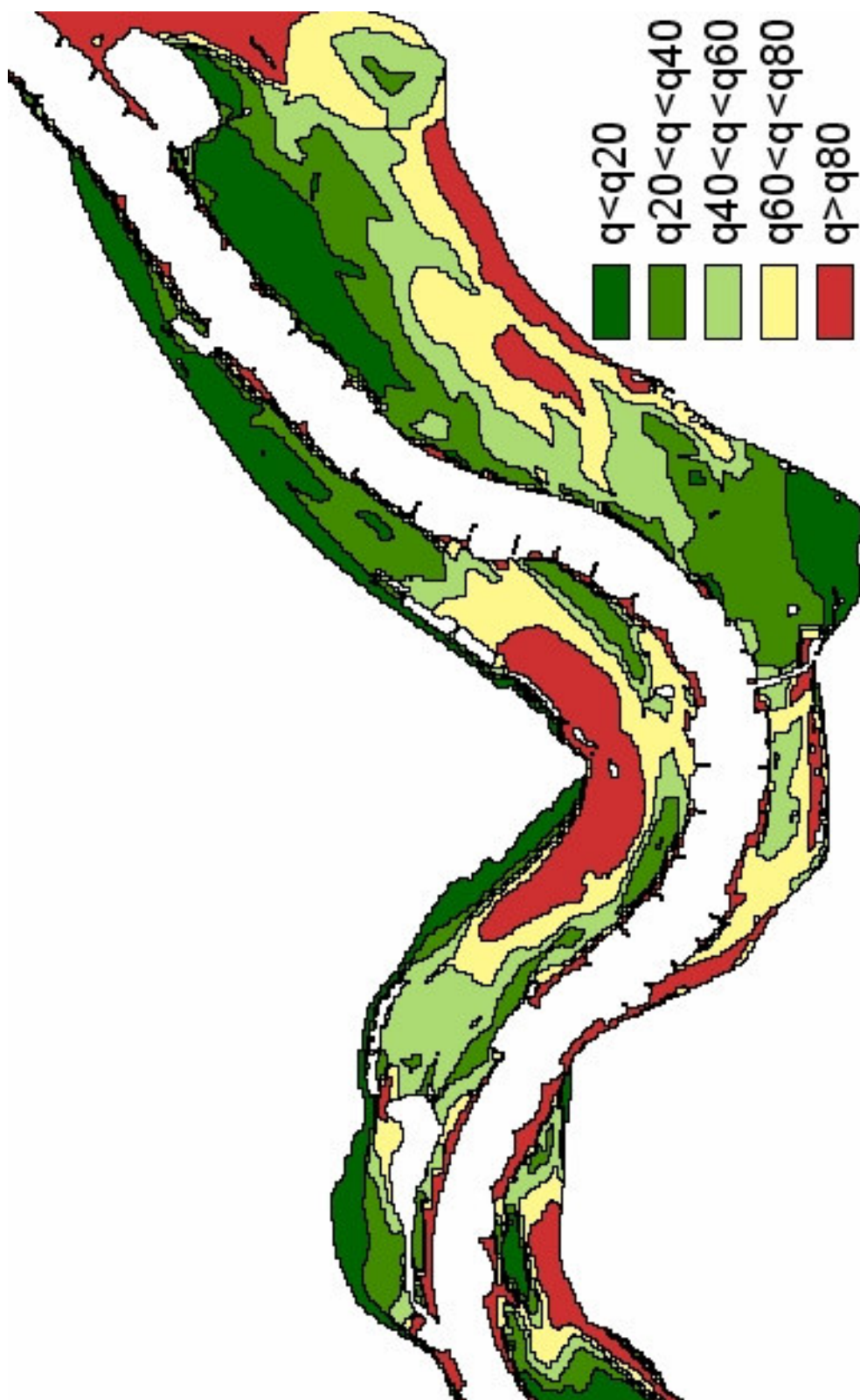
(Bron: Agtersloot et al., 1999) Het q-criterium wordt afgeleid uit een WAQUA-berekening van de T0-situatie. Het criterium wordt gedefinieerd als het specifieke debiet (q) in de T0-situatie (paragraaf B1.5.1).

In figuur B1.15 is het q-criterium voor de Graafsche waard weergegeven. Het uiterwaardoppervlak is verdeeld in vijf klassen, die elk 20% van het oppervlak beslaan. De donkergroene klasse, $q < q_{20}$, geeft de 20% van het uiterwaardoppervlak aan met het kleinste specifieke debiet. Hier kan goed vegetatieontwikkeling gepland worden omdat de doorstroming hier toch al klein is. De rode klasse, $q > q_{80}$, geeft de 20% van het uiterwaardoppervlak met het grootste specifieke debiet. Vegetatieontwikkeling op deze locaties heeft een grote negatieve invloed de capaciteit van de rivier.

Ook bij het q-criterium kan een kanttekening geplaatst worden. Locaties met veel vegetatie hebben veel weerstand en dus een klein specifiek debiet. Hierdoor lijkt het alsof de vegetatie goed gesitueerd is, terwijl de locatie zonder vegetatie best een groot specifiek debiet kan hebben. Het is dus mogelijk dat de locatie eigenlijk ongeschikt is voor vegetatieontwikkeling, ondanks dat het q-criterium dit wel aangeeft.



Figuur B1.14: dq-kaart (Agtersloot et al., 1999)



Figuur B1.15: q-kaart (Agtersloot et al., 1999)

B1.6 Belemmeringenkaart

De belemmeringenkaart (figuur B1.18) is een hulpmiddel bij de eerste inschatting van de mogelijke bestemmingen van de grond die bij ontgraving vrijkomt. Op de kaart staan bodemkwaliteitszones. Bij de indeling van de zones is alleen gekeken naar de bovenste 0,5 m grond. De zones geven echter ook informatie over de diepte waarop een verhoogde kans op diffuse verontreiniging kan worden verwacht (figuur B1.17). De grens is hierbij gelegd tussen de NW-4 klassen 0 en 1.

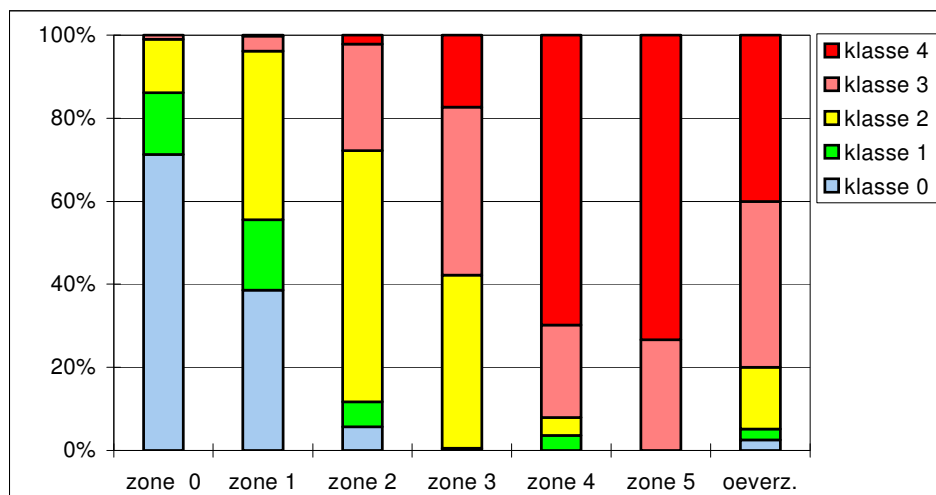
In de NW-4 (4^e nota waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998)) worden 5 grondklassen onderscheiden op basis van de mate van vervuiling. Van een aantal vervuilende stoffen wordt de concentratie ten opzichte van de streef-, grens-, toetsings- en interventiewaarde bepaald. Een gewogen middeling over deze stoffen resulteert uiteindelijk in de indeling van de grond in één van de vijf klassen.

In figuur B1.16 is in een histogram per zone de verhouding tussen de aangetroffen productkwaliteitsklassen in de bovengrond, omgerekend naar oppervlakte, weergegeven. Voor de terreindelen waar onvoldoende gegevens bekend zijn, is, op grond van afgeleide relaties tussen de mate van diffuse verontreiniging en de mogelijkheden voor slibaanvoer, een zone ingeschat. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens over de overstromingsfrequentie in verleden en heden, waarbij vooral rekening is gehouden met veranderingen (verhoging, verlegging, verlaging) van zomerkades, ontgravingen, eventueel aanvulling van grond van elders en de verhoogde gehalten van verontreinigingen in het riviersediment in de periode 1930-1975. (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002)

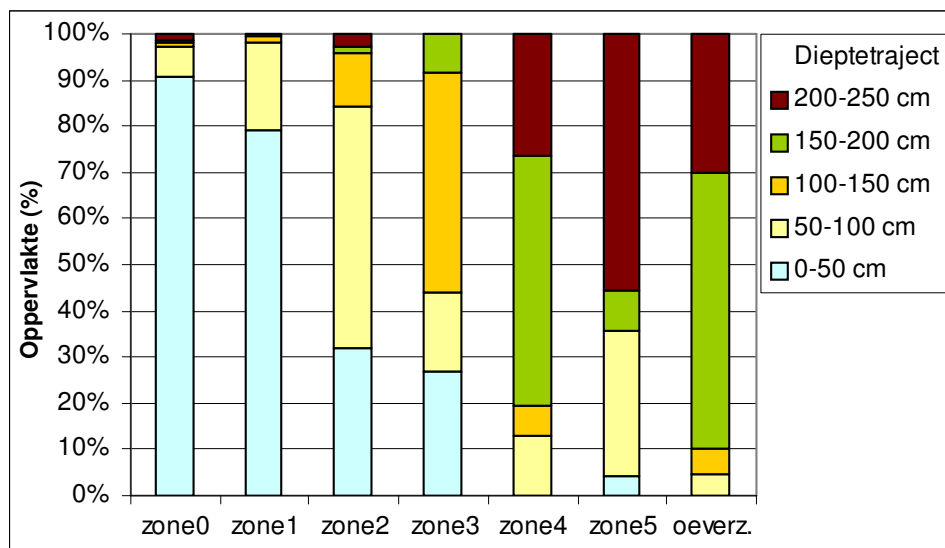
Opgemerkt moet worden dat de betrouwbaarheid van de weergegeven bodemkwaliteit niet gegarandeerd is. De kaart dient ter indicatie van de bodemkwaliteit. Voor een gedetailleerde kostenraming zijn aanvullende gegevens nodig.

Naast de mate van vervuiling bepaald ook het soort grond (klei, zand, roofofgrond, etc.) of vrijkomende grond bruikbaar is.

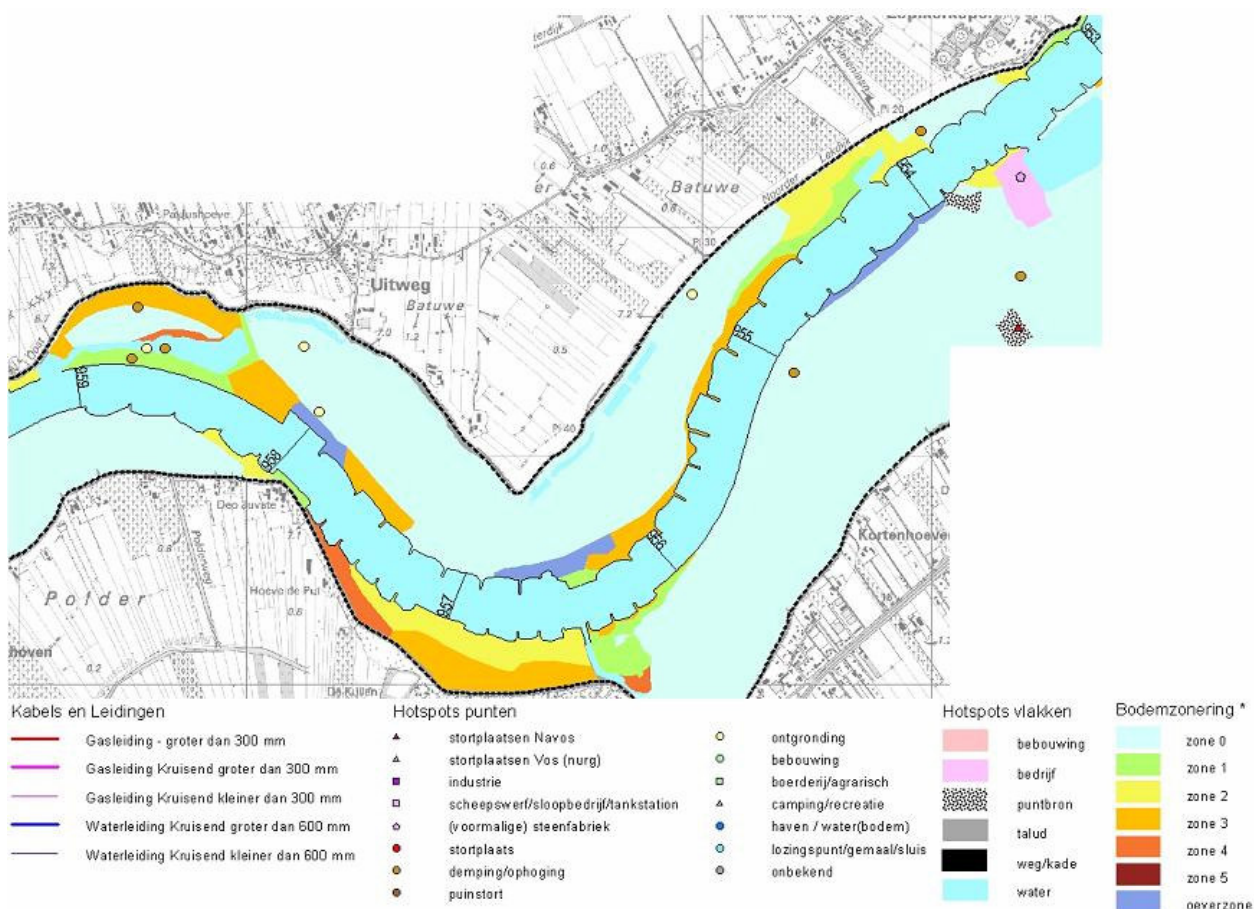
Naast de bodemkwaliteit zijn in de belemmeringenkaart ook de elementen aangegeven die bij een herinrichting een belemmering kunnen vormen. Er moet hierbij worden gedacht aan bedrijven, leidingen ed.



Figuur B1.16: Aangetroffen productkwaliteitsklassen (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002)



Figuur B1.17: Maximale diepte waarop diffuse verontreiniging is aangetoond (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002)



Figuur B1.18: Belemmeringenkaart (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2002)

De meest belangrijke conclusie die uit de belemmeringenkaart getrokken kan worden is dat de grond achter de zomerkade relatief schoon is (Zone 0). Uiteraard is de kaart slechts een indicatie, maar bij ontgraving is de kans op hoge kosten door grondverwerking klein.

Buiten de zomerkades zijn bodemzonering 1, 2, 3 en 4 en de oeverzone vertegenwoordigd. In deze zones komt ook klasse 3 en klasse 4 vervuilde bodem voor. Aangezien het bodembeleid op dit moment sterk in beweging is, is over de consequenties hiervan weinig te zeggen.

De zone 4 bodem langs de strang in 't Horde is opmerkelijk. Deze locatie kan pas sinds 1989, de aanleg van de strang (bijlage B1.3.1) frequent inunderen. En in deze periode was het rivierwater relatief schoon vergeleken bij de jaren daarvoor.

Op de kaart zijn verder nog enkele ontgrondingen en ophogingen/dempingen te zien.

Bijlage B2: Modellen

Deze bijlage beschrijft de modellen die tijdens dit onderzoek gebruikt zijn. Eerst worden SOBEK en WAQUA beschreven in paragrafen B2.1 en B2.2. Daarna worden de rekenmethoden, resultaten en toepassingsgebieden van de modellen onderling vergeleken (paragraaf B2.3).

B2.1 SOBEK

Bronnen:

WL delft Hydraulics, 1997.

WL delft Hydraulics, 1994.

de Vriend, 2002.

SOBEK is een 1-dimensionaal model voor het beschrijven van waterbeweging en morfologie. SOBEK kan, afhankelijk van de gebruikte modules, gebruikt worden bij het modelleren of onderzoeken van overstromingspreventie, ontwerpen van kanalen, morfologie in relatie tot baggeren, zoutindringing in lage delen van rivieren, kanalisatie van rivieren, waterkwaliteitsstudies in stroomgebieden en kanalen, sedimentatie vraagstukken, etc.

SOBEK bestaat uit een aantal rekenmodules dat na elkaar ingezet kan worden. Deze modules zijn:

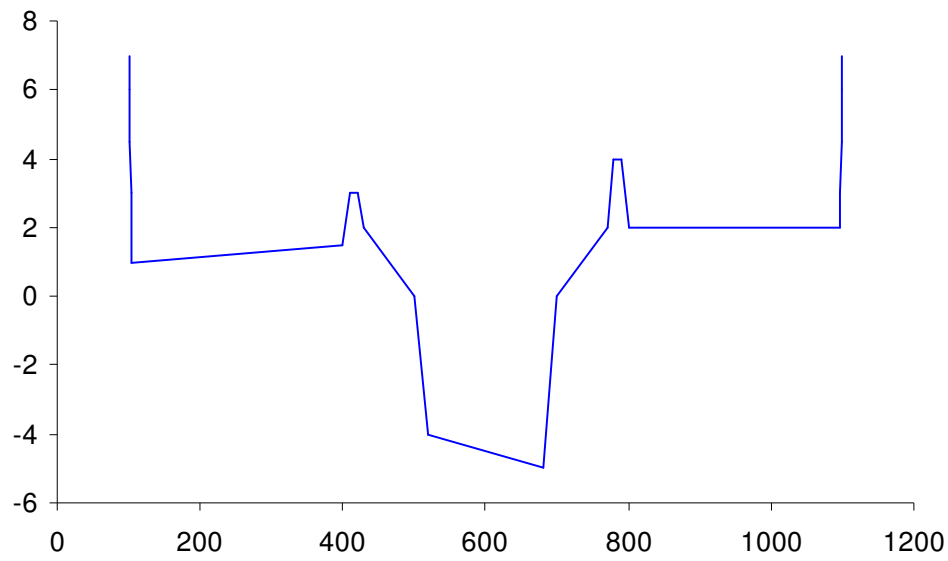
- Waterbeweging;
- Zoutindringing;
- Sediment transport;
- Morfologie;
- Waterkwaliteit;
- Gegradeerd sediment (niet standaard bijgeleverd);
- Mozart (simuleert de waterverdeling, niet standaard bijgeleverd);
- Grondwater uitwisseling (buffering van water in rivierbanken).

In dit onderzoek is alleen de module voor waterbeweging gebruikt.

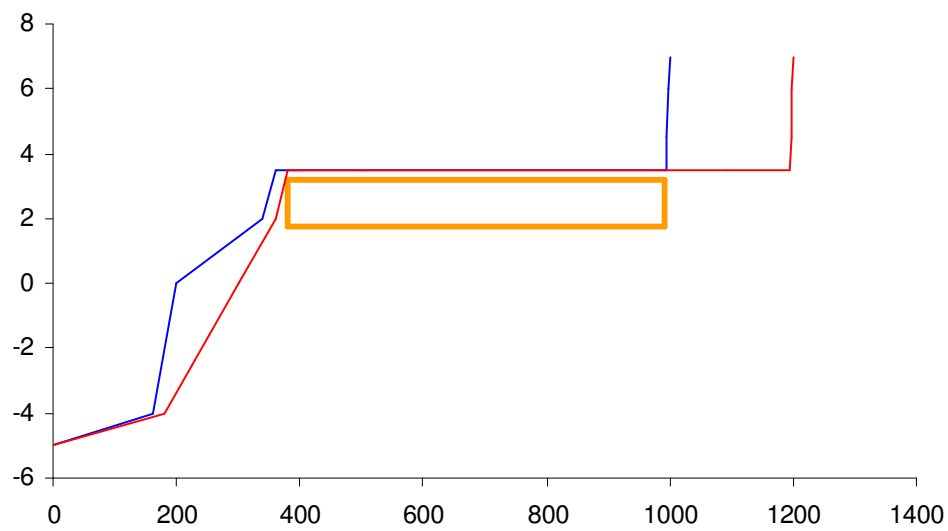
B2.1.1 Rekenmethode SOBEK

In deze bijlage wordt alleen de module voor waterbeweging beschreven. De module voor waterbeweging is gebaseerd op de Saint-Venant vergelijkingen voor stroming in ondiep water: de continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijking. De inputparameters van deze vergelijkingen zoals de gemiddelde C-waarde, de totale- en een stroomvoerende dwarsdoorsnede (afhankelijk van de waterstand) worden berekend per dwarsprofiel. Bij de bepaling van deze parameters middelt SOBEK over het gehele dwarsprofiel. Er is dus slechts sprake van één gemiddelde uiterwaard in plaats van een linker- en rechteruiterwaard. Een profiel zoals in figuur B2.1 wordt dus in SOBEK ingevoerd als figuur B2.2. De rode lijn geeft de totale dwarsdoorsnede aan en de blauwe lijn alleen het stroomvoerende deel daarvan. Het vierkant met oranje rand is de dwarsdoorsnede achter de zomerkade. Dit oppervlak gaat (gedeeltelijk) meestromen als de waterstand boven de gemiddelde zomerkadehoogte komt.

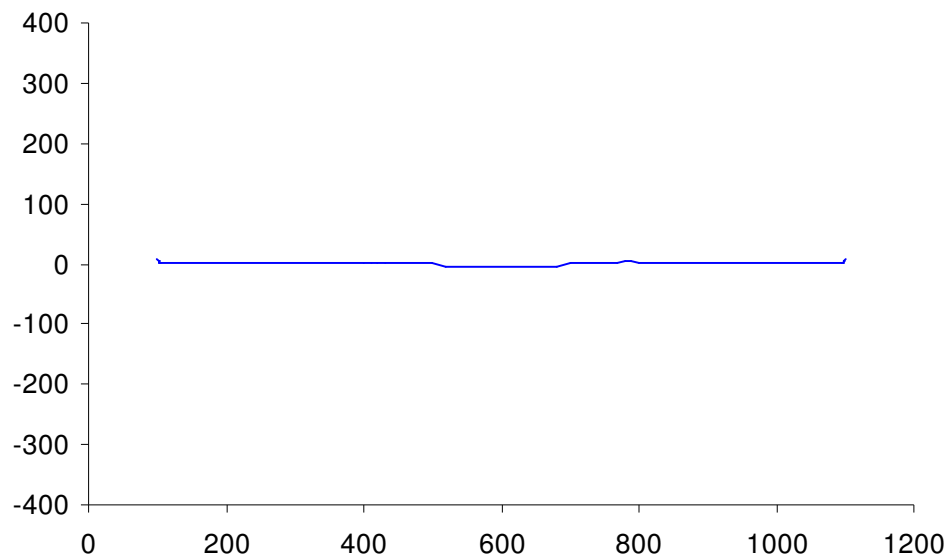
Om een beeld te krijgen van de werkelijke breedte-diepteverhouding in een Nederlandse rivier is figuur B2.3 toegevoegd.



Figuur B2.1: Voorbeelddwarsprofiel



Figuur B2.2: Voorbeelddwarsprofiel in SOBEK



Figuur B2.3: Voorbeelddwarsprofiel op schaal

De schematisatie van een riviertak is in SOBEK een rij opeenvolgende punten. Elk punt vertegenwoordigt een dwarsprofiel met de bijbehorende parameters (figuur B2.4).



Figuur B2.4: SOBEKschematisatie riviertak

De continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijking worden vervolgens in elk punt (dwarsprofiel) berekend. Voor deze berekeningen is met het Preismann schema, een 4-punts box schema gediscretiseerd. Doordat een grote impliciteitsfactor gekozen kan worden is deze berekening praktisch altijd stabiel. Het Preismann schema wordt opgelost door dynamisch te itereren tot de resultaten (bijna) niet meer veranderen.

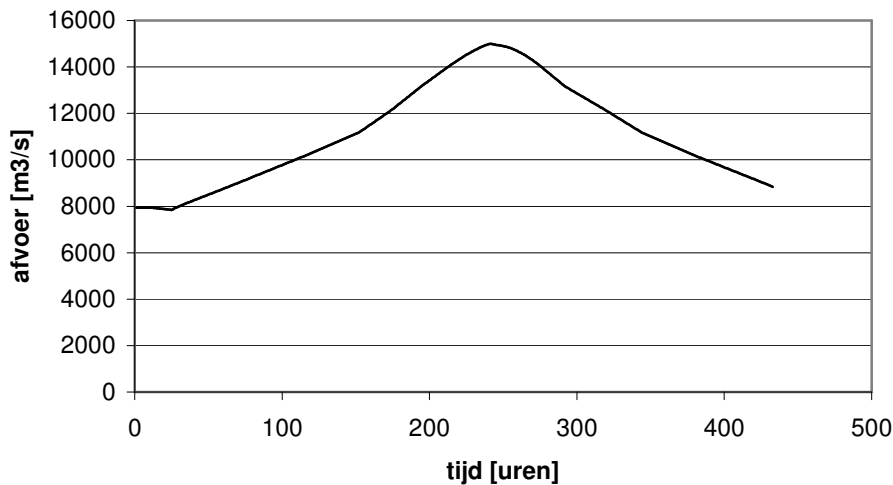
B2.1.2 Gebruikte SOBEK-schematisatie

In dit onderzoek is SOBEK (River and Estuary) versie 2.52.003 gebruikt als rekenkern. De schematisatie is het Rijntakkenmodel 2000.3 (Veen, 2002) en de MHW-condities zoals die door het RIZA gebruikt worden als randvoorwaarden.

Het model beslaat het Nederlandse Rijntakkenstelsel; de Waal tot Werkendam, de Neder-Rijn/Lek tot Krimpen aan de Lek en de IJssel tot het Keteldiep/Kattendiep. In Duitsland begint het model bij Andernach, 250 km stroomopwaarts van Lobith. Hier is namelijk een vaste laag aanwezig waardoor de hoeveelheid aan het model toegevoegd sediment niet over- of onderschat kan worden. Dit is van belang als er met de morfologie module gerekend wordt.

De randvoorwaarden bestaan uit de maatgevende afvoergolf met als top 15.000 m³/s of 16.000 m³/s (Langenheem et al., (2002) op de bovenstroomse rand (Andernach), de laterale toestromingen en op de benedenstroomse randen Qh-relaties.

In figuur B2.5 is de maatgevende afvoergolf te zien met als top 15.000 m³/s. De golf met 16.000 m³/s als top is gelijk van vorm, maar is alleen hoger. De laterale toestromingen zijn berekend zoals beschreven in Bijlage E van Bouw en calibratie SOBEK-Rijn (Veen et al., 2002).

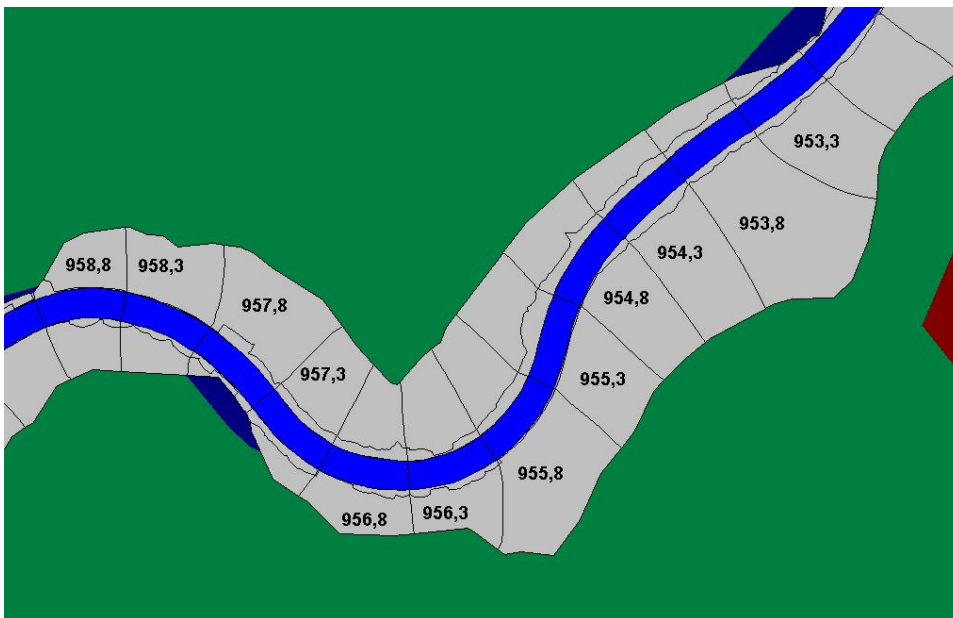


Figuur B2.5: Afvoergolf 15.000 m³/s

De SOBEK-schematisatie gebruikt in dit onderzoek, SOBEK-Rijn 2000.3, is gebaseerd op een bodempeiling uit 1997 en het model WAQUA, versie C95. Voor de schematisatie zijn de Rijntakken opgedeeld in vakken van ongeveer gelijke lengte, +/- 500m. De vakgrenzen ter hoogte van de Graafsche waard zijn te zien in figuur B2.6. De vakgrenzen in het zomerbed staan haaks op de rivieras. In het winterbed zijn de vakgrenzen zo gekozen dat het verval in het winterbed gelijk is aan het verval in het zomerbed. De hierbij gebruikte ISO-waterstandslijnen zijn bepaald met WAQUA onder MHW-condities.

De ruwheden zijn bepaald tijdens de calibratie. Eerst in de hoofdgeul, dan in de oeversectie en daarna in het winterbed. De basis hiervoor was de resulterende waterstand en de debieten door hoofdgeul, oeversectie en winterbed uit WAQUA. In WAQUA wordt een groot deel van het debiet door de oeversectie veroorzaakt door wateruitwisseling tussen zomer- en winterbed. In een 1D-model mag deze stroming niet meegerekend worden. Hier is tijdens de calibratie voor gecorrigeerd.

De uiterwaardruwheid wordt in SOBEK berekend op basis van de K-Nikuradse waarden uit WAQUA. De ruwheden in de WAQUA-cellen resulteren uiteindelijk in één gemiddelde uiterwaardruwheid. Bij deze middeling wordt gewogen over de lengte van de stroombanen.



Figuur B2.6: Vakgrenzen SOBEK-profielen langs Graafsche waard

B2.1.3 Onzekerheid SOBEK

Grofweg zijn er twee soorten onzekerheid die de nauwkeurigheid van de modelresultaten bepalen: inherente onzekerheid en epistemologische onzekerheid. Inherente onzekerheid representeert stochasticiteit of variabiliteit van de natuur in de tijd (bijvoorbeeld onvoorspelbaarheid van de afvoer) of in de ruimte (bijvoorbeeld fluctuaties van de bodemhoogte en hydraulische ruwheid in lengterichting van de rivier). Het is niet mogelijk om inherente onzekerheid volledig te reduceren. De twee belangrijkste typen van epistemologische onzekerheid zijn statistische onzekerheid (ten gevolge van onvoldoende waarnemingen) en modelonzekerheid (ten gevolge van onvoldoende kennis).

HKV heeft een nauwkeurigheidsanalyse uitgevoerd door middel van Monte-Carlo-simulatie met een aantal in ruimte variërende parameters (Duits et al., 2000). Voor het SOBEK-Rijntakkenmodel variëren de 90%-nauwkeurigheidsbanden van ± 10 cm bij Lobith tot ± 20 cm bij de benedenrand van de IJssel. De onzekerheid van de zomerbedruwheid heeft, samen met de correlatie in lengterichting, de grootste invloed op de onzekerheid in de waterstand.

De modelbouwers van het SOBEK-Rijntakkenmodel 2000.3 (Veen et al., 2002) hanteren bij de verificatie ook een criterium van 10 a 20 cm waterstandverschil om te beoordelen of het model voldoet. Het SOBEK-Rijntakkenmodel 2000.3 is gecalibreerd op de hoogwatergolf van 1995. Verificatie met de hoogwatergolf van 1993 leidt tot waterstanden die bijna overal aan het bovengestelde criterium voldoen.

Als het model echter wordt geïnterpreteerd met de hoogwatergolf van 1998 voldoet het model minder goed, vooral op de IJssel. Deels is dit te wijten aan het onderschatten van de laterale toestroming, maar ook het feit dat de 1998-hoogwatergolf een stuk kleiner was dan die uit 1993 en 1995 speelt waarschijnlijk mee. Het is daarom de vraag hoe nauwkeurig de waterstanden als gevolg van de MHW-condities voorspeld worden. Deze hoogwatergolf is namelijk nog een stuk groter dan de hoogwatergolven van 1993 en 1995.

Ook in de manier van schematiseren introduceert nog onzekerheden. Hier is echter weinig over bekend. De discretisatie is vrij nauwkeurig. De hierdoor veroorzaakte onzekerheid is kleiner dan 1% (WL delft Hydraulics, 1994).

Concluderend kunnen we stellen dat SOBEK 3.52.003 de waterstanden op 10 a 20 cm nauwkeurig berekend. In dit rapport wordt alleen naar waterstandverschillen gekeken, dus de

schematisatie op andere riviertrajecten is dan niet zo belangrijk. Wel zal het schematiseren van maatregelen zorgvuldig moeten gebeuren en moet bij het interpreteren van de resultaten de rekenmethode van SOBEK meegenomen worden. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op kleinschalige maatregelen (minder dan 6 a 7 rekenpunten). Deze zijn vaak te gedetailleerd om goed het effect hiervan op de waterstanden te kunnen weergeven.

B2.2 WAQUA

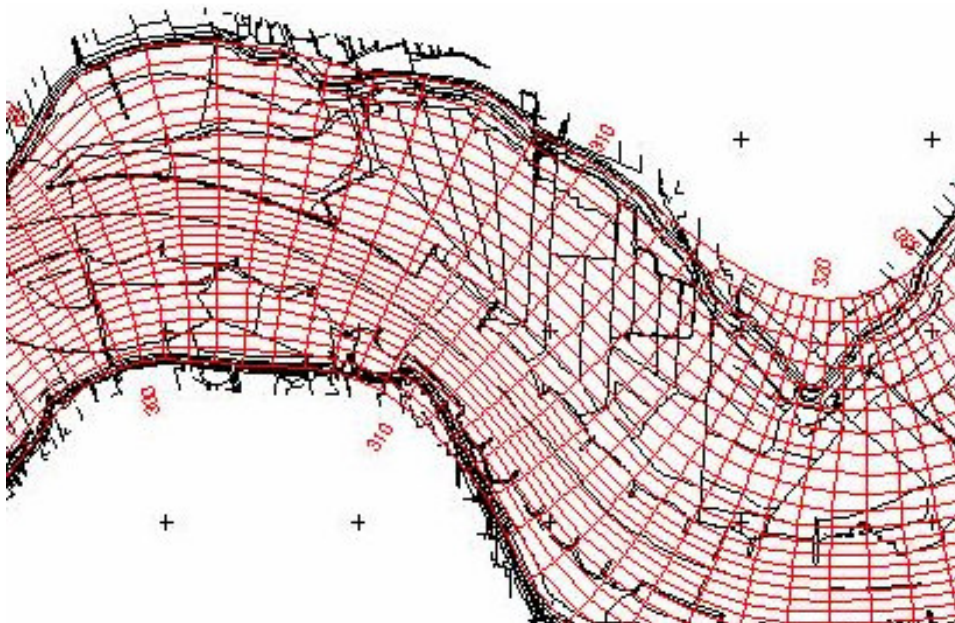
Bron:
MX.Systems, 2002.

WAQUA is een 2-dimensionaal model voor het beschrijven van waterbeweging en waterkwaliteit.

B2.2.1 Rekenmethode WAQUA

In dit onderzoek is alleen aan de waterbeweging gerekend en niet aan de waterkwaliteit. Net als in SOBEK is de waterbeweging gebaseerd op de Saint-Venant vergelijkingen voor stroming in ondiep water: de continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijking. De input voor deze vergelijkingen wordt gegeven per roostercel. In figuur B2.7 is een deel van de Graafsche waard (rivierkaart) te zien met, in rood, het bijbehorende WAQUA-rooster. De input per roostercel is de bodemhoogte en de hydraulische ruwheid (Nikuradse-k) in twee richtingen. De output is de waterstand en de stroomsnelheid in twee richtingen.

Zomerkades en andere constructies met steil verhang worden geschematiseerd als overlatten. Overlatten worden tussen twee knooppunten geplaatst en voorkomen stroming tot een bepaalde waterhoogte is bereikt. Als er water over een overlaat stroomt, berekent WAQUA een energieverlies over de overlaat. Overlatten worden in versie 2000.2 van WAQUA gebruikt als er een hoogteverschil is van 0,5 m of meer en een helling van 1:7 of steiler.



Figuur B2.7: WAQUA-rooster

Een WAQUA-rooster kan rechtlijnig, kromlijnig en bolvormig zijn. Rechtlijnige roosters zijn het meest eenvoudig. Alle hoeken in een rechtlijnig rooster zijn 90° . Kromlijnige roosters beperken het aantal roostercellen buiten het interessegebied. Het rooster in figuur B2.7 is een kromlijnig rooster. Aan kromlijnige roosters worden wel een aantal eisen gesteld wat betreft maximale afwijking van de 90° hoek en variatie in celgrootte. Als een WAQUA-rooster een groot deel van de

aardbol beslaat mag de bolling van de aarde niet meer verwaarloosd worden. In dat geval kan een bolvormig rooster gebruikt worden.

WAQUA kan per rekenpunt output geven. Tenzij anders vermeld zijn de met WAQUA berekende waterstanden uit dit model de waterstanden op de rivieras.

B2.2.2 Gebruikte schematisatie WAQUA

In dit onderzoek is WAQUA, versie 2000.2 gebruikt als rekenkern. De gebruikte model is MHL93989 (Maatgevend Hoogwater Lek rivierkilometer 939 tot 989). Dit model is rond 1985, 1986 in enkele maanden gemaakt om het effect op de waterstand van een aantal uiterwaardmaatregelen te berekenen. In 1994 is de ligging van het zomerbed aangepast aan de meest recente metingen (1991). Een meer recent model was niet beschikbaar.

Het model is nooit gecalibreerd, maar verificatie aan een aantal hoogwatergolven gaf aan dat het model 'voldoende nauwkeurig' was. Veel informatie over dit model was niet te vinden. Bovenstaande is mondelinge informatie uit een gesprek met Rijn van Dixhoorn van Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland.

Een deel van het gebruikte WAQUA-rooster is te zien in figuur B2.7. De lengte van de roostercellen is gemiddeld 100 m. De breedte varieert tussen de 50 en 100 m. In het zomerbed liggen de roostercellen dichter op elkaar dan in de uiterwaard. Dit omdat de stroming in het zomerbed belangrijker is (het specifieke debiet is hier veel groter).

Hoewel er al vrij veel roostercellen zijn kunnen niet alle contouren op de rivierkaart voldoende nauwkeurig gevolgd worden. Daarom wordt er bij Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland nu een nieuw WAQUA-model in gebruik genomen met roostercellen van 20 x 20 m.

B2.2.3 Modeluitbreiding WAQUA

Omdat een grote dijkverlegging niet in het bestaande rooster gesimuleerd kan worden is een roosteruitbreiding gemaakt.

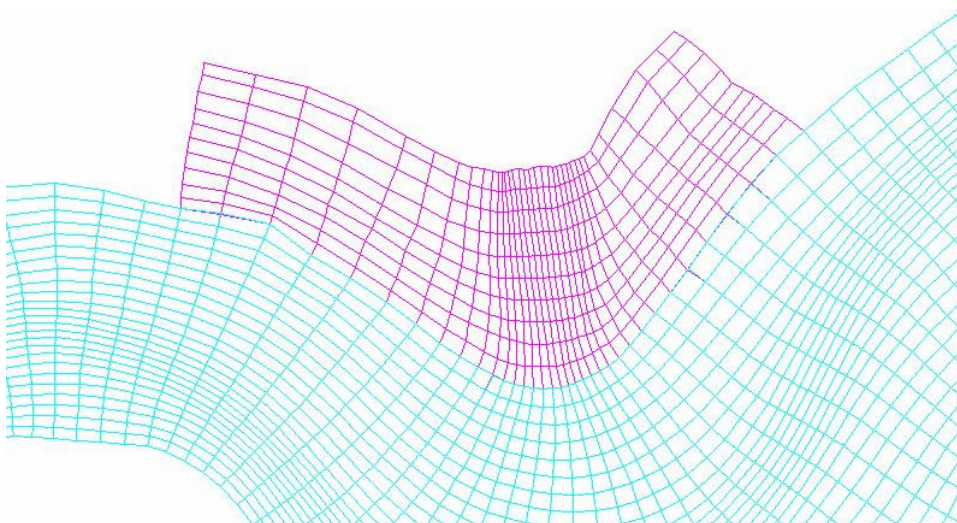
Het maken van een roosteruitbreiding is een moeilijke opgave. Een goed WAQUA-rooster voldoet aan de volgende criteria om de numerieke nauwkeurigheid acceptabel te houden (MX.Systems, 2002):

- De hoeken tussen de roostercellen in het grid mogen maximaal $1,2^\circ$ (orthogonaliteit = 0,02) afwijken van een rechte hoek. De orthogonaliteit is de cosinus van de hoek tussen de roostercellen;
- Opeenvolgende roostercellen mogen maximaal 30% groter of kleiner zijn dan hun voorganger (in zowel m- als n-richting). Dit wordt de 'smoothness' ofwel gladheid van het rooster genoemd.

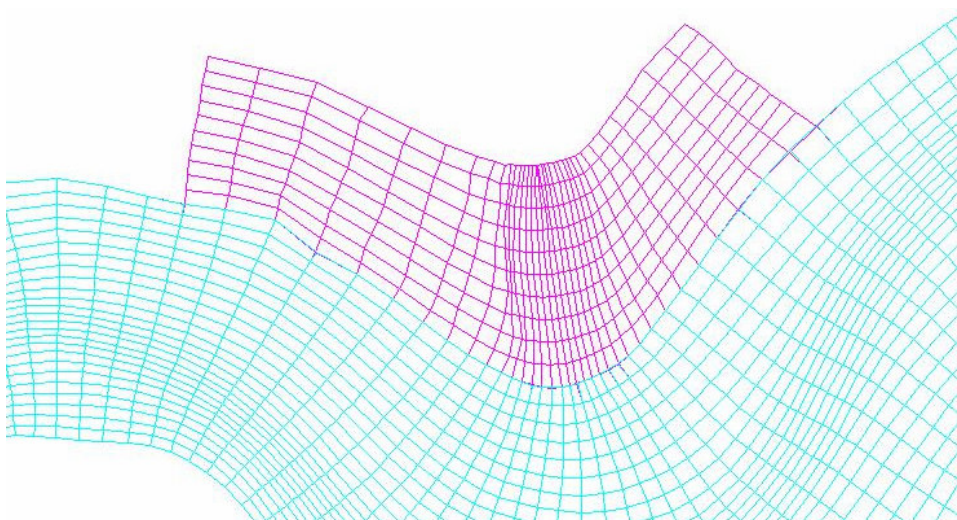
Bij de nieuwste WAQUA-modellen voor het Rijntakkenstelsel (Alkyon, 2003) zijn een maximale hoekafwijking van 2° en een maximale variatie in celgrootte van 20% als criteria genomen. Daarnaast is de breedte: lengte-verhouding (B/L) (en lengte-breedte-verhouding (L/B)) maximaal 5.

Het kost dagen om een roosteruitbreiding te maken die aan deze voorwaarden voldoet. Als het überhaupt mogelijk is, want door de ligging in de binnenbocht van het rooster kunnen de cellen gaan 'knellen'. Er zijn daarom 2 roosters gemaakt, die in een uur tijd zo goed mogelijk aan de criteria voldoen. Daarna is een korte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Voor de twee roosters (rooster 1 en rooster 2) zijn eerst de randen bepaald. Het aantal cellen in de m-richting sluit aan op het bestaande rooster. In de n-richting wordt ongeveer de grootte van de bestaande roostercellen aangehouden. Vanuit dit basisrooster zijn in twee sessies de roosterpunten handmatig verschoven tot rooster 1 (figuur B2.8) en 2 (figuur B2.9) ontstonden.



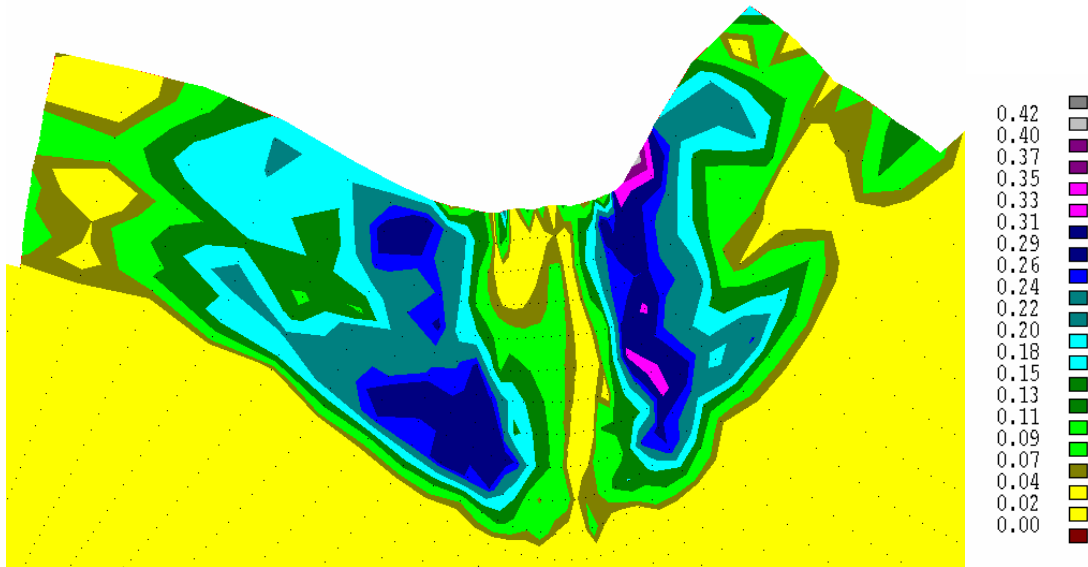
Figuur B2.8: rooster 1



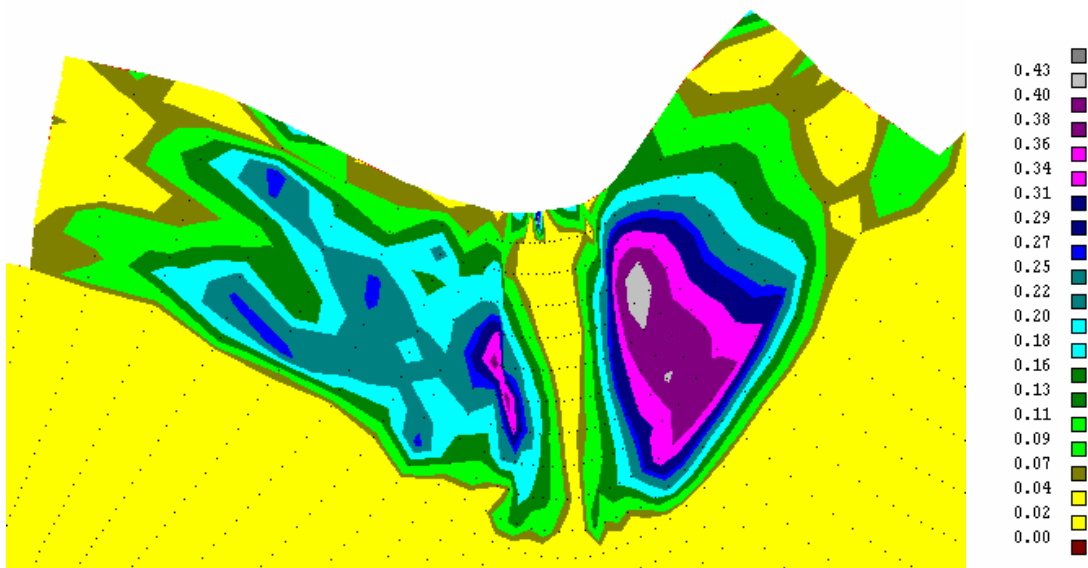
Figuur B2.9: rooster 2

Rooster 1 heeft een orthogonaliteit kleiner dan 0,3 (minder dan 18° afwijking van een rechte hoek). Plaatselijk komen waarden tot 0,42 voor. (zie figuur B2.10) De opeenvolgende cellen verschillen maximaal een factor 1,3 a in grootte. Er zijn uitschieters tot 2. De B/L of L/B verhouding is overal kleiner dan 6.

De kengetallen van rooster 2 verschillen weinig van rooster 1. De orthogonaliteit is iets minder goed (figuur B2.11). Op variatie in grootte scoort rooster 2 wel iets beter. 1 cel kent een B/L van 18.



Figuur B2.10: Orthogonaliteit rooster 1



Figuur B2.11: Orthogonaliteit rooster 2

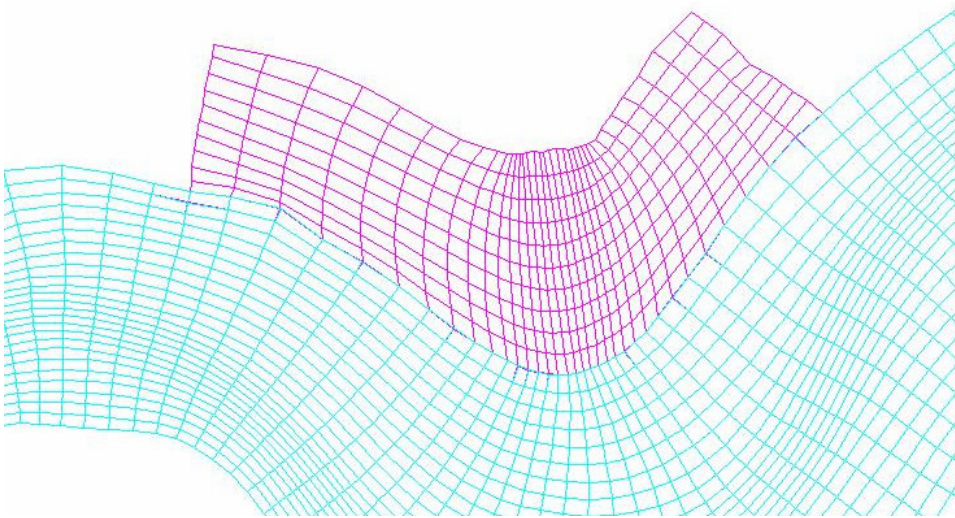
Om te testen of de nieuwe roosters voldoen zijn beide uitgebreide roosters doorgerekend en is de behaalde waterstanddaling onderling vergeken. Tevens is een gevoeligheidsanalyse gemaakt. In de gevoeligheidsanalyse zijn 3 nieuwe roosters gemaakt op basis van rooster 1.

In het eerste rooster, 'ortho' (figuur B2.12), is de optie 'automatisch orthogonaliseren' een aantal keer toegepast op het nieuwe blok roosterzellen. Dit levert in het algemeen een lager orthogonaliteit, maar bij de overgang op het bestaande rooster kan de orthogonaliteit oplopen tot 0,6.

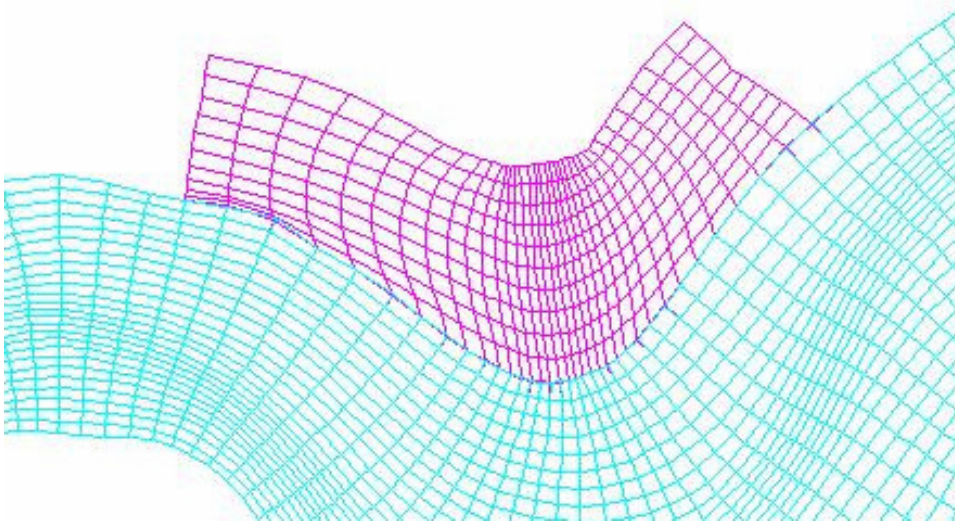
Bij het tweede nieuwe rooster, 'smooth' (figuur B2.13), is de automatische smoothoptie een aantal maal toegepast op het nieuwe blok roosterzellen. Ook dit levert gemiddeld betere orthogonaliteit en kleinere afmetings-verschillen. De aansluiting op het bestaande rooster is echter slecht.

Tot slot is bij het derde nieuwe rooster, 'grof' (figuur B2.14), het aantal nieuwe cellen in n-richting gehalveerd. Vooral de B/L of L/B ratio neemt toe tot maximaal 10, aangezien de

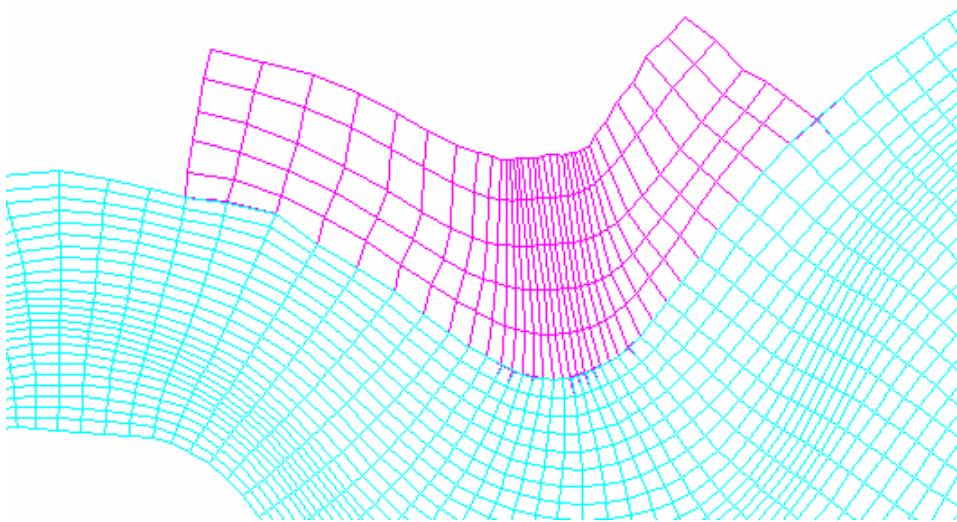
celgrootte in n-richting verdubbelt. De orthogonaliteit wordt iets minder en uiteraard komt ook de gladheid in n-richting op de rand tussen oude en nieuwe model ruim boven de kritische waarde van 1,3 (verdubbelt tot maximaal 2,5).



Figuur B2.12: rooster 'ortho'



Figuur B2.13: rooster 'smooth'



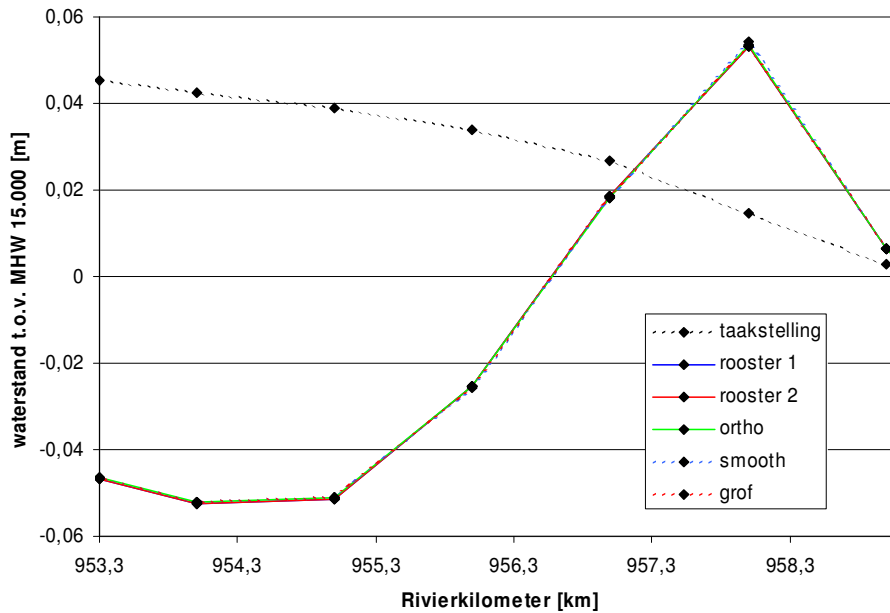
Figuur B2.14: rooster 'grof'

In figuur B2.15 is de waterstanddaling als gevolg van de verschillende roosters te zien. Het gehele gebied tussen de oude en de nieuwe bandijk heeft een Nikuradse ruwheid van $k = 0,2$ m gekregen. Het gemiddelde bodemniveau binnendijs (zie figuur B1.2) is ongeveer 0,6 m +NAP.

De waterstanden resulterend uit rooster 1 en rooster 2 zijn ongeveer gelijk. Het maximale verschil is 0,1 mm, maar geen van beide roosters heeft een systematisch hogere waterstand tot gevolg. Met de roosters voor de gevoeligheidsanalyse, 'ortho', 'smooth' en 'grof', worden systematisch hogere waterstanden berekend dan met roosters 1 en 2. Het verschil kan oplopen tot 1,1 mm. Waarschijnlijk zijn de systematisch hogere waterstanden toeval. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat een minder orthogonaal of gladder rooster een systematische overschatting van de waterstand oplevert.

Aangezien vijf verschillende roosters ongeveer dezelfde waterstandverandering berekenen (maximaal 1,2%) kan geconcludeerd worden dat de geïntroduceerde fouten door onvolkomenheden in het rooster klein zijn. Misschien zijn de eisen die aan het model gesteld worden wel te streng.

Bij het doorrekenen van de inrichtingsvoorstellen is gerekend met rooster 1.



Figuur B2.15: Waterstandverandering verschillende roosters

B2.2.4 Onzekerheid WAQUA

Over de onzekerheid van WAQUA is weinig bekend. Een van de weinige rapporten die de onzekerheid in WAQUA-uitkomsten behandelt is 'MHW 16500' (Ubels, 1986). In dit rapport is een eenvoudige gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De belangrijkste resultaten hiervan zijn:

- Bodem 0,5 m lager resulteert in ongeveer 0,2 m lagere waterstand;
- Ruwheid gras halveren resulteert in ongeveer 0,1 m lagere waterstand;
- Ruwheid zomerbed maal 125% resulteert in 0,1 m hogere waterstand.

Waarschijnlijk zullen deze effecten elkaar deels opheffen. De onnauwkeurigheid wordt aan de hand van deze resultaten geschat op + of - 0,2 m. Deze onnauwkeurigheid wordt bevestigd door Hendrik Havinga van Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland. 'SOBEK en WAQUA hebben dezelfde ordegrrootte onnauwkeurigheid: ongeveer + of - 0,2 m. Dit wordt deels veroorzaakt doordat SOBEK op WAQUA is gebaseerd, en deels doordat dit de onnauwkeurigheid is die inherente onzekerheid (inherente onzekerheid: zie bijlage B2.1.3) met zich meebrengt.' Een goede calibratie kan dus het model afregelen tot ongeveer het niveau van de inherente onzekerheid.

Ook de leeftijd van het model introduceert onzekerheid. De schematisatie van de uiterwaard is gebaseerd op bijna 20 jaar oude gegevens en de schematisatie van het zomerbed op gegevens van 13 jaar oud. Sinds de bouw van het model is er heel wat veranderd aan de vegetatie in de uiterwaard en ook de bodemligging is waarschijnlijk veranderd als gevolg van morfologische processen. De onnauwkeurigheid die dit veroorzaakt is moeilijk kwantitatief te bepalen en sterk afhankelijk van de situatie.

De onnauwkeurigheid in de absolute waterstanden is dus ongeveer 10 a 20 cm. In dit onderzoek is alleen gekeken naar waterstandverschillen. Wat dit voor gevolgen heeft voor de nauwkeurigheid van de resultaten is niet bekend. Waarschijnlijk zijn deze vrij nauwkeurig en is de onzekerheid als gevolg van modelon nauwkeurigheid kleiner dan de onnauwkeurigheid als gevolg van onverwachte morfologische ontwikkelingen of onverwachte vegetatieontwikkeling.

B2.3 Vergelijking SOBEK en WAQUA

Deze paragraaf vergelijkt de twee gebruikte modellen; het ééndimensionale model SOBEK en het tweedimensionale WAQUA. De vergelijking tussen SOBEK en WAQUA is niet helemaal 'eerlijk'. Ten eerste is SOBEK 1-dimensionaal en WAQUA 2-dimensionaal waardoor beide modellen andere toepassingsgebieden hebben. Het is dan ook niet eerlijk om te zeggen dat één van beide modellen beter is. Deze bijlage is niet bedoeld als waardeoordeel, maar probeert puur een opsomming te geven van de verschillen tussen beide modellen. Ten tweede zijn SOBEK en WAQUA onderling gekoppeld doordat de SOBEK schematisatie deels gebaseerd is op WAQUA-resultaten.

In deze vergelijking worden dan ook meer algemene uitspraken gedaan over wanneer SOBEK en WAQUA gebruikt kunnen worden.

B2.3.1 Vergelijking rekenmethodes

Zowel SOBEK als WAQUA zijn numerieke modellen gebaseerd op de continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijkingen. Deze vergelijkingen kunnen worden uitgewerkt tot de ondiepwatervergelijkingen.

SOBEK berekent de gemiddelde waarde van een aantal parameters over de gehele breedte (zomerbed, kribvakken en uiterwaarden) van de rivier, per 500 m in de lengterichting van de rivier. 500 m rivier wordt dus in één punt samengevat in een aantal parameters zoals stroomvoerende dwarsdoorsnede, gemiddelde ruwheid, hydraulische straal, etc. De schematisatie van een rivier is een rij opeenvolgende punten. WAQUA kent een veel hogere resolutie. De gebruikte WAQUA-schematisatie is gebaseerd op rekenpunten om de 100 m (lengterichting) en 50 a 100 m (dwarsrichting), maar er bestaan al schematisaties met een fijner rooster. WAQUA is een dieptegemiddeld 2-dimensionaal model en rekent ook met dwarsstromingen. Omdat WAQUA een hoge resolutie heeft en 2-dimensionaal rekent kan WAQUA ook stromingspatronen in de uiterwaard, snelheidspatronen en lokale opstuwingen berekenen. Vanwege het grotere aantal rekenpunten per rivierkilometer is de rekentijd van een WAQUA-model vaak langer dan de rekentijd van een SOBEK-model. Dit is natuurlijk afhankelijk van de modelgrootte en de randvoorwaarden.

Een groot verschil tussen het 1 dimensionale SOBEK en het 2-dimensionale WAQUA zit (het ligt voor de hand) in de omgang met stromingen dwars op de rivieras, 2-dimensionale stromingen. In WAQUA worden 2-dimensionale stromingen berekend. SOBEK daarentegen gebruikt de debietverdeling tussen zomer- en winterbed van opeenvolgende dwarsprofielen om in te schatten hoeveel water er van de hoofdgeul in de uiterwaard stroomt en andersom. Hieraan wordt dan een energieverlies toegekend. De methode van SOBEK is veel grover, maar kan na calibratie goede resultaten geven. Als er echter aanpassingen in het dwarsprofiel gesimuleerd worden is het vaak niet mogelijk om opnieuw te calibreren en levert WAQUA betere resultaten omdat hier de dwarsstroming berekend wordt.

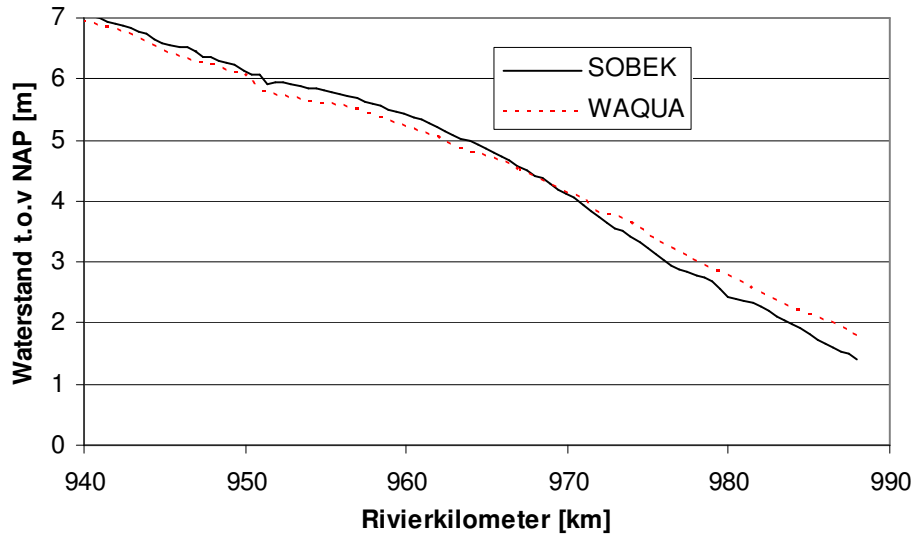
Ongeveer hetzelfde verhaal geldt voor overlaten. Overlaten introduceren in WAQUA energieverlies bij steile bodemverhangen (oevers, zomerkades, etc.). SOBEK rekent niet met overlaten. SOBEK calibreert de waterstand en neemt op die manier energieverliezen als gevolg van steile bodemverhangen mee. WAQUA rekent dus gedetailleerder en kan beter omgaan met veranderingen in de schematisatie.

B2.3.2 Vergelijking resultaten

In deze paragraaf worden de modeluitkomsten van SOBEK en WAQUA vergeleken. Er wordt gekeken naar absolute waterstanden, waterstandverschillen en stroomsnelheden in de hoofdgeul.

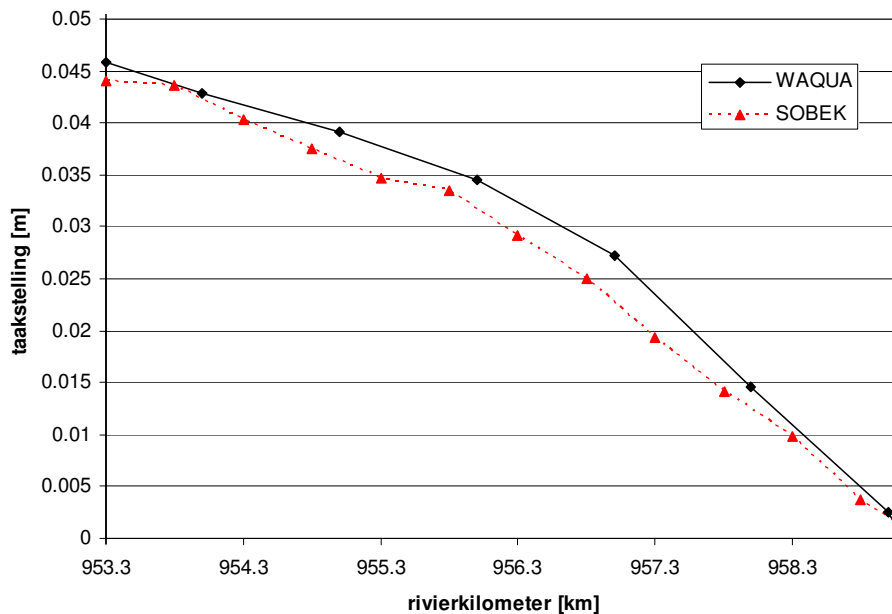
In figuur B2.16 zijn de absolute waterstanden te zien als gevolg van een stationair debiet, 3165 m³/s, door de Lek (de huidige Maatgevende Afvoer). Op de benedenstroomse modelrand (Krimpen aan de Lek, rivierkilometer 988) is de in SOBEK opgenomen waterstandrandvoorwaarde 0,4 m lager dan in WAQUA. Dit beïnvloedt de waterstanden een eind

stroomopwaarts. Waarom de randvoorwaarde anders is, is onbekend, maar het heeft waarschijnlijk te maken met de aansluiting op een benedenstrooms model met zeewaterstanden, getij en opwaaing. Verder stroomopwaarts voorspelt het SOBEK-model tot maximaal 0,2 m hogere waterstanden. Een deel van dit verschil kan worden verklaard door de meer recente schematisatie van SOBEK. Het WAQUA-model is gebaseerd op oudere gegevens en sindsdien zijn er een aantal veranderingen in het dwarsprofiel geweest. Ook valt het verschil (net) binnen de 90% betrouwbaarheidsintervallen van beide modellen (+ of - 10 a 20 cm).



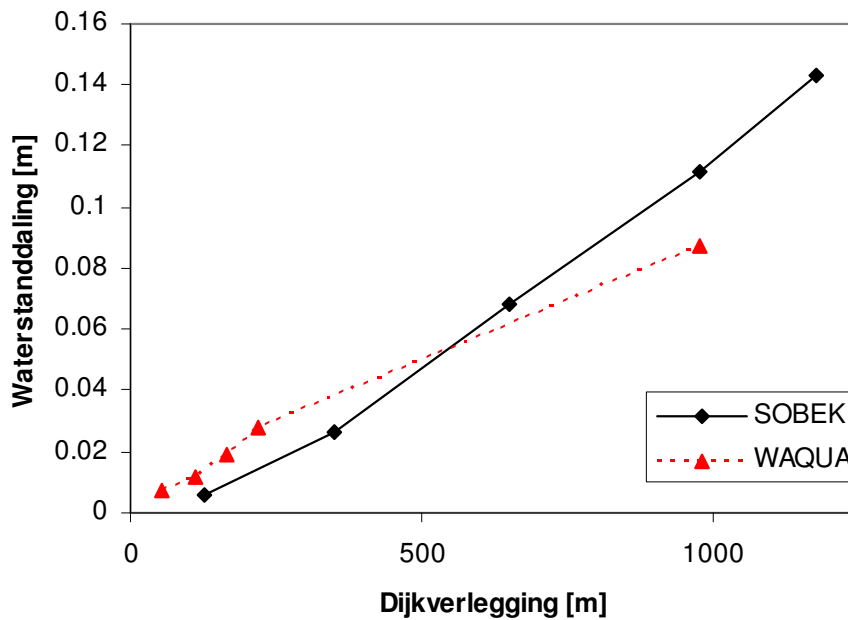
Figuur B2.16: waterstanden $Q = 3165 \text{ m}^3/\text{s}$ stationair ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith)

De taakstellingen die SOBEK en WAQUA berekenen zijn te vinden in figuur B2.17. Het verschil is opvallend klein, overal ruim minder dan 20%. Dit kleine verschil kan verklaard worden doordat met de originele schematisaties gerekend wordt.

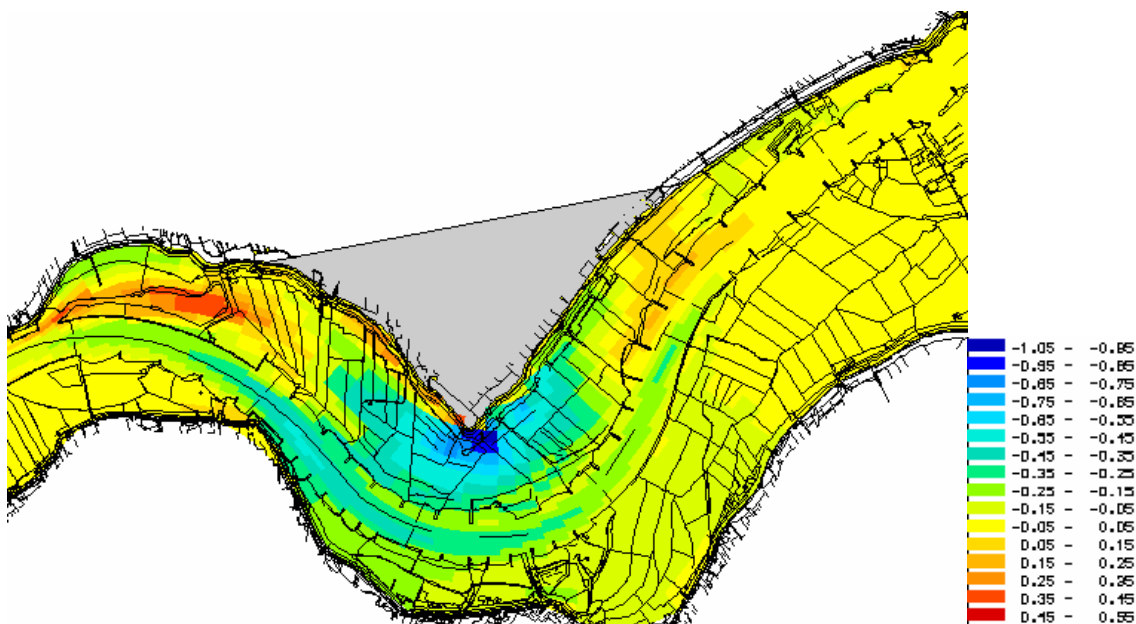


Figuur B2.17: hydraulische taakstelling

In de gecalibreerde schematisatie berekenen SOBEK en WAQUA ongeveer gelijke waterstanden en waterstandverschillen. Als de schematisatie wordt veranderd neemt het verschil toe. Figuur B2.18 laat de waterstandverlaging zien als gevolg van een aantal dijkverleggingen. Het maximaal berekende verschil ligt op ongeveer 25%. Waarschijnlijk speelt hier een 2-dimensionaal effect mee. Bij de kleine dijkverleggingen laat WAQUA en grotere waterstanddaling zien. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het opheffen van de knik in de dijk, waardoor de stroming uniformer wordt. Bij grotere dijkverleggingen berekent SOBEK juist meer waterstanddaling. Dit omdat er aangenomen is dat de gehele dijkverlegging een stroomvoerend deel van de uiterwaard wordt. In werkelijkheid zal een deel ook niet of minder stroomvoerend zijn. Dit is duidelijk te zien in figuur B2.19: als gevolg van het inrichtingsplan NATbinnen daalt de stroomsnelheid in de hoofdgeul en op de linkeroever. Er moet opgemerkt worden dat de WAQUA-lijn geen punten bevat tussen 220 m en 975 m. Hierdoor kan er over dit traject niet zoveel gezegd worden.



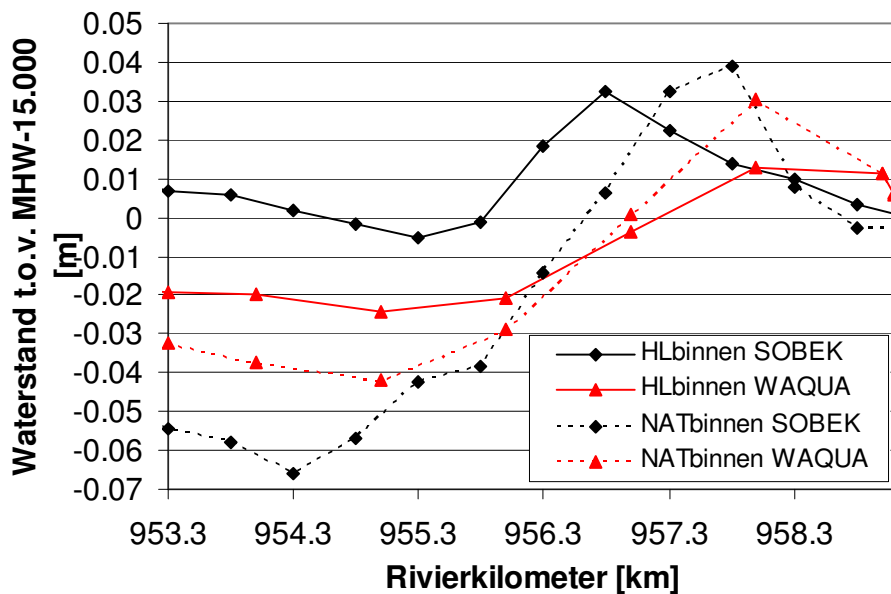
Figuur B2.18: maximaal waterstandverschil dijkverleggingen



Figuur B2.19: Verandering stroomsnelheid NATbinnen

De door SOBEK en WAQUA berekende waterstandverandering als gevolg van twee inrichtingsvoorstellen is te vinden in figuur B2.20. Voor het inrichtingsvoorstel HLbinnen berekent SOBEK minder waterstanddaling dan WAQUA. Een groot deel van dit verschil wordt veroorzaakt door de zomerkadeverlaging en de stranguitbreiding, die niet in de SOBEK-berekening meegenomen zijn. Voor het inrichtingsvoorstel NATbinnen berekent SOBEK juist meer waterstanddaling dan WAQUA, ondanks dat ook hier SOBEK de stranguitbreiding en gedeeltelijke zomerkadeverwijdering niet meeneemt. De belangrijkste oorzaak van de grotere waterstanddaling in SOBEK is waarschijnlijk de al eerder genoemde overschatting van het stroomvoerende deel uiterwaard.

Bij beide inrichtingsvoorstellen valt op dat de korte waterstandverhoging in het benedenstroomse deel van de Graafsche waard kleiner is in WAQUA en verder benedenstrooms ligt. Dit is een duidelijk 2-dimensionaal effect. SOBEK is gebaseerd op een beperkt aantal parameters en gaat er daardoor van uit dat de extra uiterwaardafvoer als gevolg van de dijkverlegging direct na de dijkverlegging weer in de hoofdgeul stroomt. WAQUA houdt ook rekening met de zomerkade en de strangverruiming. Hierdoor blijft een groot deel van de uiterwaardafvoer in de uiterwaard tot ongeveer rivierkilometer 958 a 959. In de WAQUA-berekeningen vindt dan ook pas hier de opstuwing plaats. WAQUA simuleert veel beter hoe de uiterwaardafvoer door middel van dwarsstroming weer in de hoofdgeul stroomt.



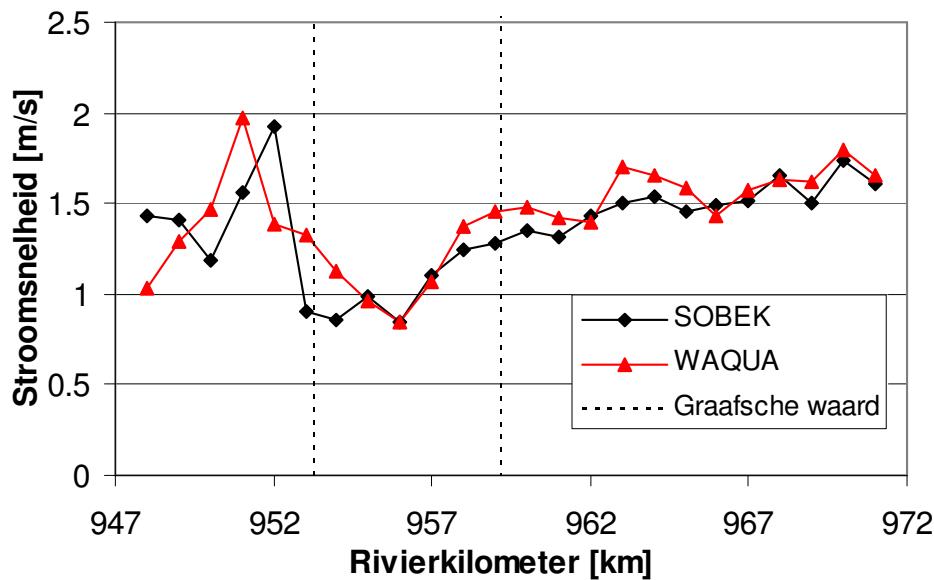
Figuur B2.20: Inrichtingsvoorstellen hoofdstuk 7/8

Uit de vergelijking van SOBEK- en WAQUA-resultaten blijkt de mate van overeenkomst sterk afhankelijk van de uitgevoerde berekening. In de taakstellingsberekening, met ongewijzigd dwarsprofiel, komen de resultaten sterk overeen, maar zodra het dwarsprofiel wordt aangepast gaan de berekende waterstandverschillen afwijken. Als de inrichtingsvoorstellen doorgerekend worden nemen de berekende waterstandverschillen verder toe. De interactie tussen de maatregelen is daar een belangrijke oorzaak van. Daarnaast kan ook de sommatie van afwijkingen dit verschil vergroten, hoewel de verschillen elkaar via sommatie ook op kunnen heffen.

De vergelijking tussen de stroomsnelheden berekend door WAQUA en SOBEK is gedaan voor de cases met een stationaire afvoer van $3165 \text{ m}^3/\text{s}$ en een ongewijzigd dwarsprofiel. De stroomsnelheden uit WAQUA zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden op de rivieras en de stroomsnelheden uit SOBEK zijn gemiddeld over het gehele dwarsprofiel van de hoofdgeul (hierbij worden ook diepe plassen en strangen gerekend).

De stroomsnelheden uit SOBEK zijn in het algemeen lager dan die uit WAQUA doordat SOBEK middelt over het gehele dwarsprofiel van de hoofdgeul en WAQUA de stroomsnelheid neemt op de as van de rivier, waar de stroming meestal sterker is dan gemiddeld. Plaatselijk onderschat SOBEK de stroomsnelheid vrij ruim doordat SOBEK ook de slechts zwak meestromende plassen en strangen tot het zomerbed rekent. Dit haalt de gemiddelde snelheid omlaag. In figuur B2.21 is dit goed te zien rond rivierkilometer 953 (plassen in polder de Eendracht) en rond rivierkilometer 958 (strang in 't Horde).

Over het algemeen lijken de stroomsnelheden uit WAQUA en SOBEK echter goed op elkaar. De debietverdeling zomerbed-uiteerwaard in SOBEK wordt namelijk gekalibreerd op de debietverdeling in WAQUA door de Nikuradse ruwheid voor de uiterwaard en de hoofdgeul te veranderen. Aangezien de debietverdeling ongeveer gelijk is, evenals de stroomvoerdende dwarsdoorsnede, komen de stroomsnelheden sterk overeen.



Figuur B2.21: Stroomsnelheden SOBEK en WAQUA

B2.3.3 Toepassing modellen

Tot slot worden in deze paragraaf aanbevelingen gedaan over de toepassingsgebieden van de gebruikte modellen. Een model wordt geschikt geacht voor een bepaalde toepassing als er met een relatief kleine inspanning voldoende gedetailleerde output te genereren is zonder grote onzekerheidsmarges.

Voor het voorspellen van de absolute waterstanden zijn beide modellen geschikt. De onzekerheidsmarges van beide modellen zijn ongeveer even groot (10 a 20 cm) en het verschil tussen beide modellen is van dezelfde orde grootte als de onzekerheidsmarge (behalve op en nabij de benedenstroomse modelrand).

WAQUA is het meest geschikt voor het doorrekenen van maatregelen en inrichtingsvoorstellen. In SOBEK wordt een maatregel gemiddeld over een vak van 500 m lang en de hele rivier breed en dan in de modelparameters verwerkt. In WAQUA is de resolutie veel fijner en is minder middeling nodig. Omdat WAQUA gedetailleerder is dan SOBEK en ook 2-dimensionale stroming meeneemt mag verwacht worden dat het WAQUA-resultaat nauwkeuriger is dan het SOBEK-resultaat. Een WAQUA-simulatie benadert de werkelijke processen in een rivier veel meer dan SOBEK.

Gebruik van SOBEK voor lokale maatregelen wordt dan ook afgeraden. Als een maatregel minder dan 6 a 7 rekenpunten omvat wordt de nauwkeurigheid van het resultaat niet gegarandeerd (van der Veen et al., 2002). Een groot voordeel van WAQUA bij het doorrekenen van maatregelen en inrichtingsvoorstellen is ook het gebruiksgemak. Op de 2D-kaarten is snel te zien of een maatregelen goed is geschematiseerd. Bovendien kunnen op 2D-stromingskaarten locaties met hoge en lage stroomsnelheid geïdentificeerd worden zodat op eventuele erosie- en sedimentatie-effecten geanticipeerd kan worden.

In SOBEK worden veel meer aannames en achtergrondberekeningen van de modelleur verwacht. Als een dijkverlegging geschematiseerd wordt moet de modelleur bijvoorbeeld beslissen welk deel nieuwe uiterwaard stroomvoerend is en welk deel niet (in dit onderzoek is aangenomen dat het gehele nieuwe deel uiterwaard stroomvoerend is). Ook is een aantal maatregelen in een uiterwaard moeilijk te schematiseren omdat SOBEK rekent met een gemiddelde van linker- en rechteruiterwaard. Voor SOBEK zijn dus betere (en duurdere) modelleurs nodig en er worden makkelijker fouten gemaakt tijdens modelleren in SOBEK. Het

schematiseren en doorrekenen gaat wel iets sneller in SOBEK, maar dit verschil is in het algemeen niet zo groot dat het opweegt tegen de grotere nauwkeurigheid en het kleinere aantal benodigde aannames van WAQUA.

SOBEK heeft minder rekenpunten en kan daarom ook gebruikt worden voor rekenintensieve toepassingen zoals de morfologie van het rivierbed (WAQUA bevat geen sedimenttransport- en morfologie module). Ook voor verkennende studies op rivierniveau is SOBEK meer geschikt dan WAQUA. Grootschalige maatregelen zijn namelijk makkelijker in SOBEK te schematiseren.

Tabel B2.1 vat tot slot de toepassingsgebieden van SOBEK en WAQUA samen.

Model	SOBEK	WAQUA
Berekening absolute waterstanden in originele schematisatie	+	+
Berekening effect maatregelen op waterstanden	+/-	+
Berekening effect inrichtingsvoorstellen op waterstanden	-	+
Studies op grotere schaal (rivierniveau)	+	-
Morfologische studies	+	-

Tabel B2.1: Toepassingsgebied modellen

Bijlage B3: Berekening effect maatregelen

Deze bijlage geeft achtergrondinformatie over de mogelijke maatregelen beschreven in hoofdstuk 5 en gaat in meer detail in op de berekeningsmethode. In deze bijlage worden de volgende maatregelen behandeld:

- Dijkverlegging (B3.1);
- Verwijderen knelpunten (B3.2);
- Verlaging van de kribben (B3.3);
- Verlaging van het winterbed (B3.4);
- Aanleg open water (B3.5);
- Vegetatieontwikkeling in het winterbed (B3.6);
- Aanpassingen zomerkade (B3.7).

De in deze bijlage beschreven maatregelen zijn zoveel mogelijk doorgerekend met SOBEK, omdat het rekenen met SOBEK sneller is en het schematiseren eenvoudiger. De effecten van open water (B3.5) en van het verwijderen van de zomerkade (B3.7) zijn met WAQUA berekend.

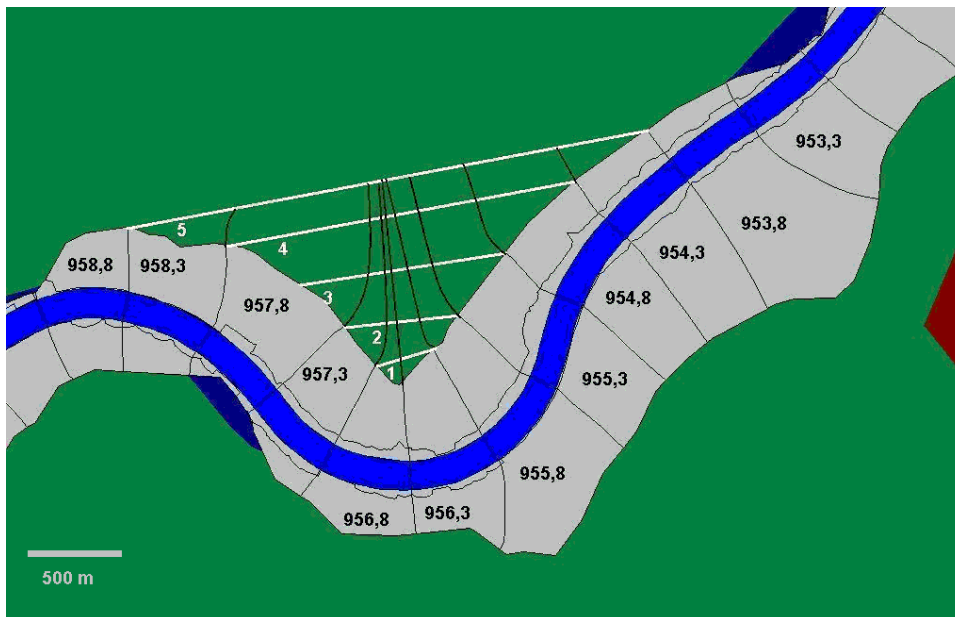
B3.1 Dijkverlegging

Het effect van dijkverlegging op de waterstand is berekend met SOBEK.

Bij een dijkverlegging wordt de winterdijk verder van de rivier gelegd. De uiterwaard wordt breder en er komt een stuk binnendijs gebied buitendijs te liggen. Dijkverlegging is vaak een kostenefficiënte maatregel (Silva et al., 2000). De kosten voor het verwerven van grond in de polder achter de Graafsche waard zullen niet hoog zijn, aangezien de grond voornamelijk in gebruik is als landbouwgrond en er slechts enkele gebouwen staan.

Dijkverlegging zou een geschikte maatregel kunnen zijn. Om dit te onderzoeken zijn vijf mogelijke dijkverleggingen, variërend in omvang, in SOBEK gesimuleerd.

De dijkverleggingen zijn in SOBEK gemodelleerd als uiterwaardverbredingen. In figuur B3.1 zijn de huidige vakken van de SOBEK-schematisatie aangegeven. De witte lijnen moeten de nieuwe positie van de winterdijk bij de vijf gesimuleerde dijkverleggingen voorstellen. De zwarte lijnen zijn het geschatte verloop van de vakgrenzen in het nieuwe buitendijkse gebied.



Figuur B3.1; nieuwe dijkposities en verlenging vakgrenzen

De dijkverleggingen zijn gemodelleerd volgens de methode die ook in IVR-DSS wordt toegepast (IVR-rapport nr. 16 (1999), IVR-DSS Gebruikershandleiding en Systeemdokumentatie, Versie 3.16):

Zowel de stroomvoerende- als de totale uiterwaardbreedte worden vergroot met de waarden uit tabel B3.2. Deze waarden zijn geschat aan de hand van figuur B3.1. De waarden die vergroot worden zijn h1 tot en met h15 (tabel B3.1). In SOBEK moeten de opeenvolgende punten steeds hoger komen te liggen. Naast de puntsgewijze beschrijving van het dwarsprofiel (tabel B3.1) is er nog een regel per dwarsprofiel, met daarin:

- De breedte van de hoofdgeul;
- De breedte van het kribvak;
- De sedimenttransporterende breedte;
- De gemiddelde hoogte van de (twee) zomerkades;
- De gemiddelde hoogte achter de zomerkade;
- Het stroomvoerende oppervlak achter de zomerkades;
- Het totale oppervlak achter de zomerkades.

Puntnummering	Omschrijving
h1	Laagste niveau zomerbed
h2	$1/4 * (h5-h1)$
h3	$1/2 * (h5-h1)$
h4	$3/4 * (h5-h1)$
h5	Hoogste niveau zomerbed
h6	Kribben niet overstroomd ($h7 - 0.10$)
h7	Kribhoogte
h8	Kribben overstroomd ($h7 + 0.10$)
h9	$0.5 * (h10 - h8)$
h10	Hoogte zomerkade (h_{top})
h11	$h10 + (Wf11 - Wf10) * 0.05$
h12	$h11 + 1/4 * (h_{max} - h11)$
h13	$h12 + 1/2 * (h_{max} - h11)$
h14	$h13 + 3/4 * (h_{max} - h11)$
h15	Hoogste waarde uiterwaard (einde profiel)

Tabel B3.1: Profielomschrijving

Ook het stroomvoerende en bergende oppervlak achter de zomerdijk wordt vergroot met een aantal m^2 . Dit aantal bestaat uit de waarden uit tabel B3.1 vermenigvuldigd met het verschil tussen h_{top} , het gemiddelde niveau van de zomerkades en h_{base} , het gemiddelde niveau van de uiterwaard achter de zomerkade. In deze tabel is ook de maximale verplaatsing van de dijk, de lengte van de nieuwe dijk en het aantal ha buitendijkt gebied te vinden (er is hierbij aangenomen dat dit gebied een driehoek is, dus het oppervlak is lengte nieuwe dijk vermenigvuldigd met de maximale verplaatsing gedeeld door 2). De waarden hiervoor zijn geschat op basis van rivierkaarten (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996).

Er wordt aangenomen dat het gehele nieuwe stuk uiterwaard stroomvoerend is. De stroomvoerende- en bergende uiterwaardbreedte worden dus met dezelfde waarde vergroot. Deze aanname is gerechtvaardigd aangeziende dijkverlegging in de binnenbocht van de Graafsche waard plaatsvindt. Binnenbochten zijn, tenzij ze in de luwte van hoogwatervrij terrein liggen, meestal stroomvoerend. Een andere aanname is dat de ruwheid binnendijs gelijk is aan de ruwheid buitendijs. Het gemiddelde bodemniveau binnendijs (zie figuur B1.2) is bijna 0,6 m +NAP.

Uiterwaardverbreding resulteert in een ander patroon van stroombanen. De ruwheid in SOBEK is bepaald op basis van ruwheden in WAQUA. Hierbij is gewogen met de lengte van de stroombanen. De werkelijke ruwheid in de uiterwaard verandert als gevolg van veranderende stroombanen. Dit effect is echter niet in beschouwing genomen.

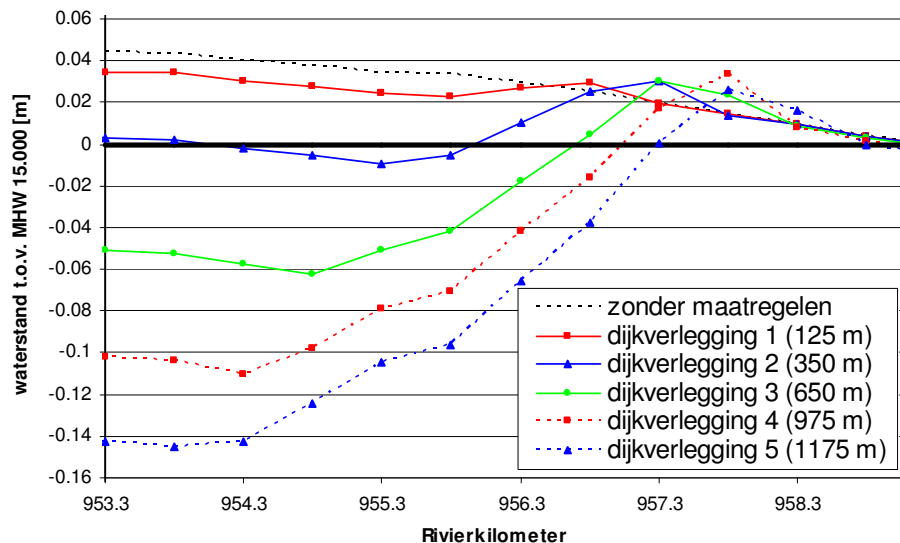
	Dijkverlegging 1	Dijkverlegging 2	Dijkverlegging 3	Dijkverlegging 4	Dijkverlegging 5
Maximale verplaatsing	125 m	350 m	650 m	975 m	1175 m
Lengte nieuwe dijk	350 m	650 m	1200 m	2050 m	3050 m
Ha buitendijk	2,2	11,4	39,0	100	179
buitendijkte boerderijen	0	1	2	3	Ongeveer 20
Profiel 954.3					100 m
Profiel 954.8				200 m	400 m
Profiel 955.3			175 m	525 m	725 m
Profiel 955.8		100 m	450 m	750 m	1000 m
Profiel 956.3	75 m	250 m	575 m	925 m	1100 m
Profiel 956.8	75 m	300 m	600 m	875 m	1125 m
Profiel 957.3		125 m	450 m	750 m	1100 m
Profiel 957.8			100 m	375 m	625 m
Profiel 958.3					125 m

Tabel B3.2: Dijkverlegging

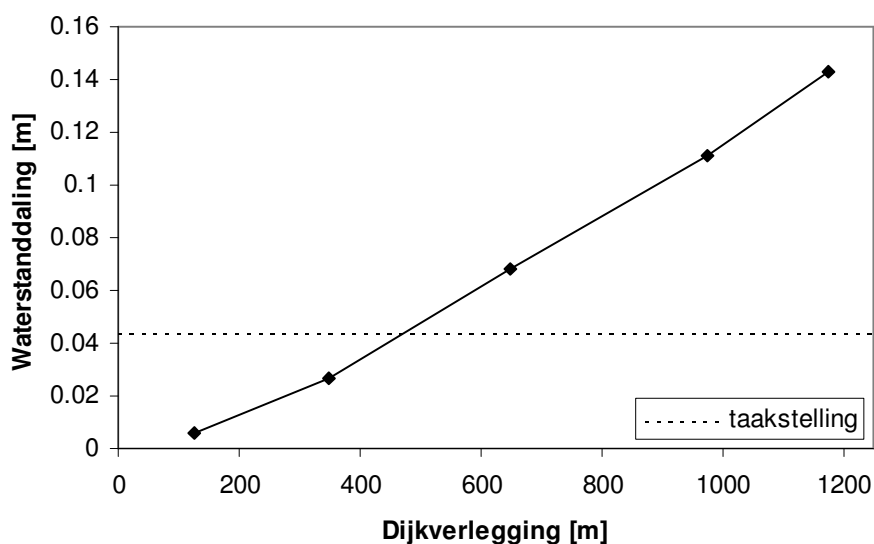
In figuur B3.2 zijn de waterstanden na dijkverlegging te zien. Er moet worden opgemerkt dat de resultaten voor dijkverlegging 1 en dijkverlegging 2 niet geheel betrouwbaar zijn aangezien SOBEK minimaal 6 a 7 rekenpunten nodig heeft om het effect van een maatregel goed te beschrijven. (Veen et al., 2002).

Vooral grotere dijkverleggingen blijken op de bovenstroomse rand voor veel waterstanddaling te kunnen zorgen. Op een groot deel (vooral benedenstrooms) wordt de taakstelling niet gehaald. De verklaring hiervoor is dat zelfs dijkverlegging 5 maar tot rivierkilometer 958,8 reikt. Waar de resulterende waterstand zelfs boven de taakstelling uitkomt is iets anders aan de hand. Het extra debiet door de uiterwaard, veroorzaakt door de dijkverlegging stroomt hier weer in de hoofdgeul en zorgt door het creëren van turbulentie en dus energieverlies voor opstuwing. Dit probleem zal benedenstrooms gecompenseerd moeten worden.

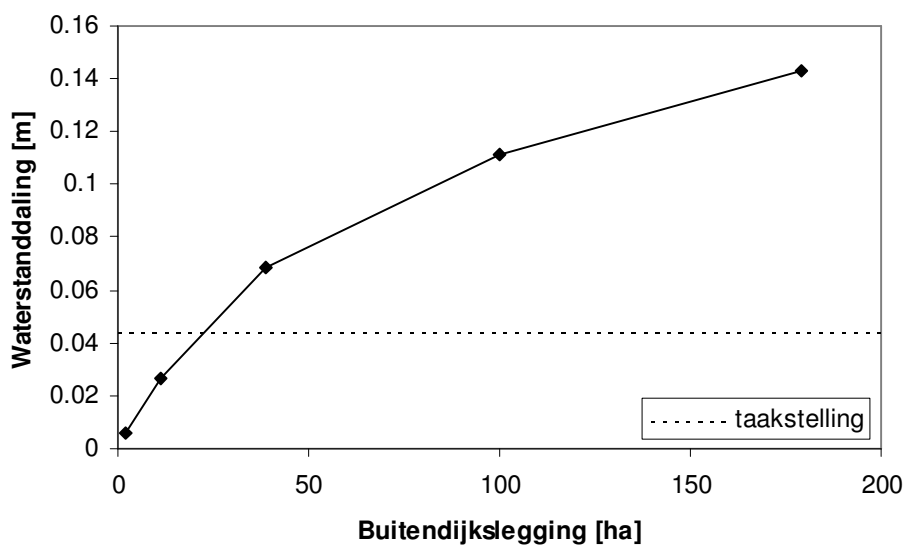
Figuren B3.3 en B3.4 zetten de maximaal haalbare waterstand uit tegen de landinwaartse verplaatsing van de dijk en het aantal hectares nieuw buitendijks gebied. Ook de taakstelling is hierin aangegeven (gestippeld). Uit deze figuren is eenvoudig af te lezen hoever de dijk teruggelegd moet worden om de taakstelling te realiseren. Dit is ongeveer 500 m, oftewel 20 hectare.



Figuur B3.2: Waterstandeffect dijkverlegging



Figuur B3.3: Maximaal waterstandeffect door dijkverlegging



Figuur B3.4: Maximaal waterstandeffect door dijkverlegging

B3.2 Verwijderen knelpunten

Het effect van knelpuntverwijdering op de waterstand is berekend met SOBEK.

De Graafsche waard is een vrij uniform ingerichte uiterwaard met weinig hoogwatervrij terrein. De aanwezige dwarskades maken deel uit van de zomerdijk en komen niet als verwijderbaar knelpunt in aanmerking.

Ter hoogte van rivierkilometer 954 bevindt zich een camping. Hier staan verschillende loodsen en andere bebouwing. Bovendien is het maaiveld hoog; 3 a 5 m +NAP. Dit is het enige knelpunt in de Graafsche waard dat voor verwijdering in aanmerking komt.

Op de hoogtekkaart, figuur B1.2 is de camping duidelijk te zien als de zwarte vlek in het meest oostelijke deel van de Graafsche waard. Ook het rode gebied rond de jachthaven behoort nog tot de camping. De camping ligt in een strook van ongeveer 100 meter langs de winterdijk en heeft

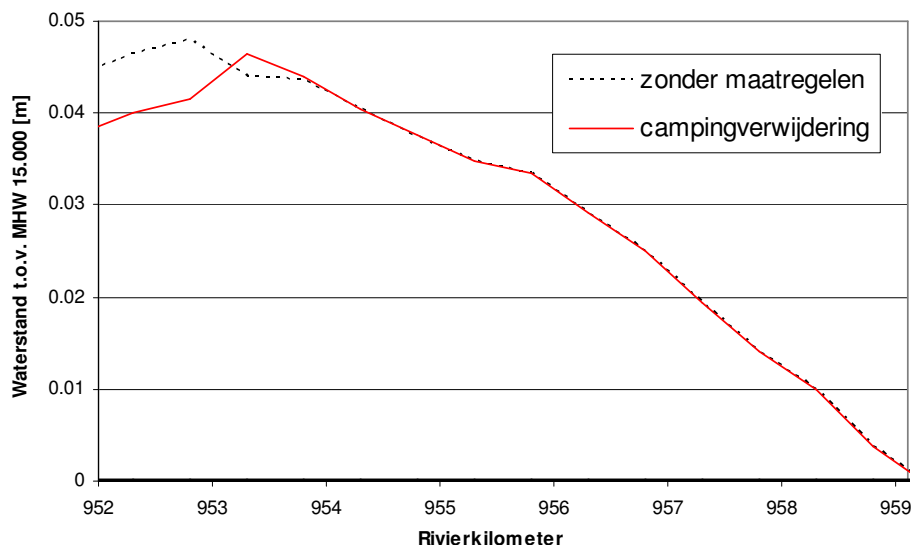
een bodemniveau van meer dan 3,5 m. Verregaande afgraving is niet mogelijk om de stabiliteit van de winterdijk niet in gevaar te brengen. Er wordt aangenomen dat er geen stabiliteitsproblemen optreden bij een afgraving tot 2 m +NAP. De afgraving vindt plaats achter een (nieuw aan te leggen) zomerkade.

Het maaiveldniveau op de camping is in profiel 953.3 ongeveer 4,5 m en in profiel 953.8 ongeveer 3 m. De oppervlaktes (stroomvoerend en totaal) achter de zomerkade worden vergroot met:

- Profiel 953.3 $(4,5-2)*100 = 250 \text{ m}^2$
- Profiel 953.8 $(3-2)*100 = 100 \text{ m}^2$

In figuur B3.5 is de waterstandverandering als gevolg van de campingverwijdering te zien. De maximale waterstanddaling is 0,5 cm. De waterstandverandering is eigenlijk pas stroomopwaarts van het projectgebied merkbaar. Het verwijderen van de camping is dan ook geen ingreep die veel effect zal hebben op het realiseren van de taakstelling. Wel kan het een zinvolle maatregel zijn voor de stroomopwaartse taakstelling en om eventueel de instroom in de Graafsche waard te verbeteren.

Eigenlijk behelst de ingreep te weinig rekenpunten om een betrouwbaar resultaat te leveren. In SOBEK moet een maatregel minimaal 6 a 7 rekenpunten beslaan voor een betrouwbaar resultaat. Er moet dan ook voorzichtig worden omgesprongen met de berekende waterstanddaling.



Figuur B3.5: Waterstandeffect verwijdering camping

B3.3 Verlaging van de kribben

Het effect van kribverlaging op de waterstand is berekend met SOBEK.

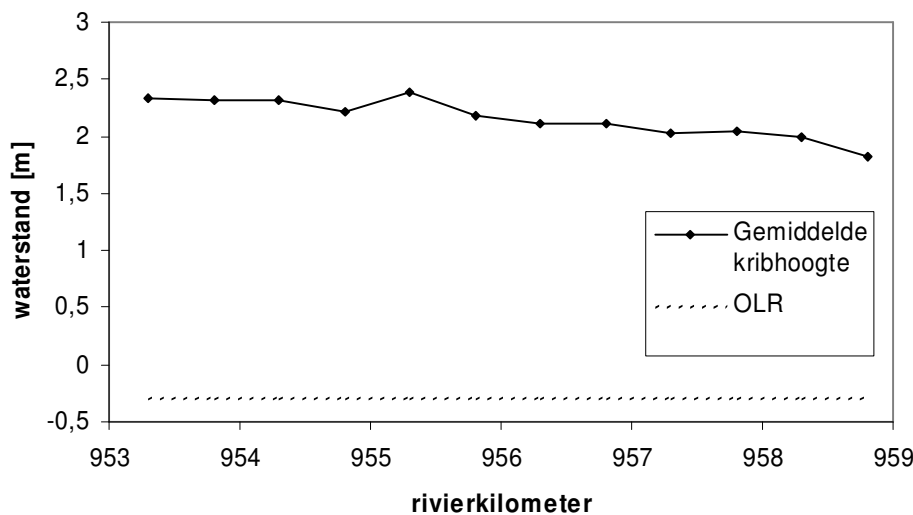
In deze paragraaf wordt het simuleren van kribverlaging beschreven. Kribben zijn aangelegd om de vaargeul op diepte te houden. Door autonome bodemdaling zijn de kribben steeds hoger komen te liggen ten opzichte van de rivierbodem. Bij lage afvoeren verliezen de kribben dus hun functie omdat ze te hoog zijn, en bij hoge afvoeren hebben ze een opstuwende werking. De autonome bodemdaling en dus de overbodige kribruimte is in de bovenstrooms gelegen riviertrajecten het grootst. De meeste rapporten beschouwen kribverlaging dan ook alleen in bovenstroomse trajecten. Tussen 1933 en 1996 is het gemiddelde zomerbedniveau ter hoogte van de Graafsche waard, tussen rivierkilometer 953 en rivierkilometer 958, ongeveer 0,8 m lager komen te liggen. (bron: jaarlijkse bodempeilingen rijkswaterstaat). De berekening is uitgevoerd op basis van de gemiddelde bodemligging tussen de normaallijnen) Het is echter de vraag of dit

autonome bodemdaling is, aangezien er zeker aan het eind van die periode ook gebaggerd is. In ieder geval steken de kribben vaak boven het rivierpeil uit. (figuur B3.6) Deze foto is gemaakt bij een lage afvoer, het stuwdebiet van 30 m³/s. Kribverlaging lijkt dus mogelijk.



Figuur B3.6: Krib ter hoogte van rivierkilometer 957 langs de Lek

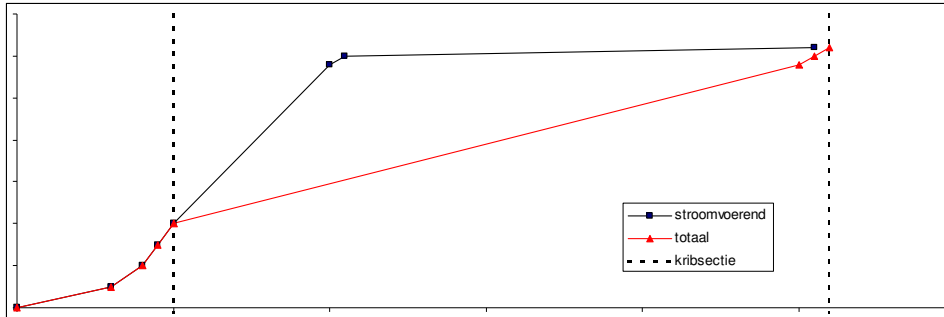
De gemiddelde kribhoogte langs de Graafsche waard (h7 uit SOBEK bijlage B3.1) en de OLR (berekend met IVR-DSS, $Q = 984 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith) is te zien in figuur B3.7. De gemiddelde kribhoogte kan nog meer dan 2 meter omlaag voordat de rivierbreedte bij OLR-afvoer verandert.



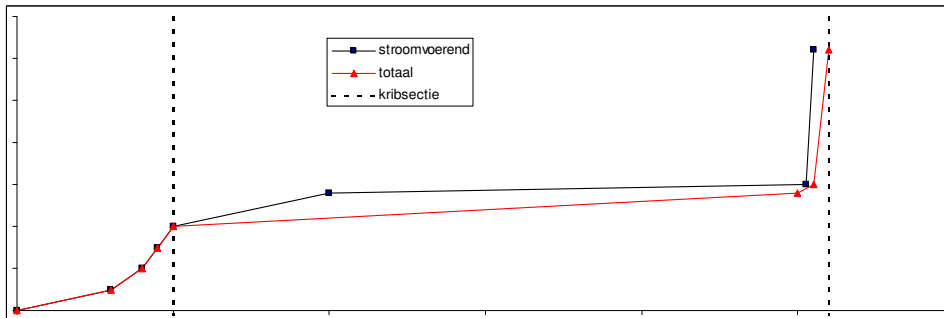
Figuur B3.7: Overhoogte kribben

Een nadeel van kribverlaging is de verhoogde sedimentatie in het zomerbed doordat meer afvoer over de kribsectie gaat. In het rapport 'Screening van maatregelen' (WL delft, 1999a) worden de morfologische effecten van kribverlaging doorgerekend. Voor de Neder-Rijn worden bodemveranderingen van ongeveer 0,1 m voorspeld bij een kribverlaging met 1 m. Kribverlaging voor het traject langs de Graafsche waard is niet doorgerekend, maar afgaande op de resultaten voor de Neder-Rijn moet de morfologie geen belemmering zijn voor kribverlaging.

De kribverlaging is in de SOBEK dwarsprofielen verwerkt, door het de punten h6 en h7 te verlagen en het stroomvoerende punt van h7 te verplaatsen naar een halve meter voor het stroomvoerende punt van h8. Punt h8 blijft ongewijzigd, zodat het begin van de uiterwaardsectie niet verandert. Figuur B3.8 en figuur B3.9 geven dit schematisch weer.



Figuur B3.8: Schematisatie dwarsprofiel voor kribverlaging



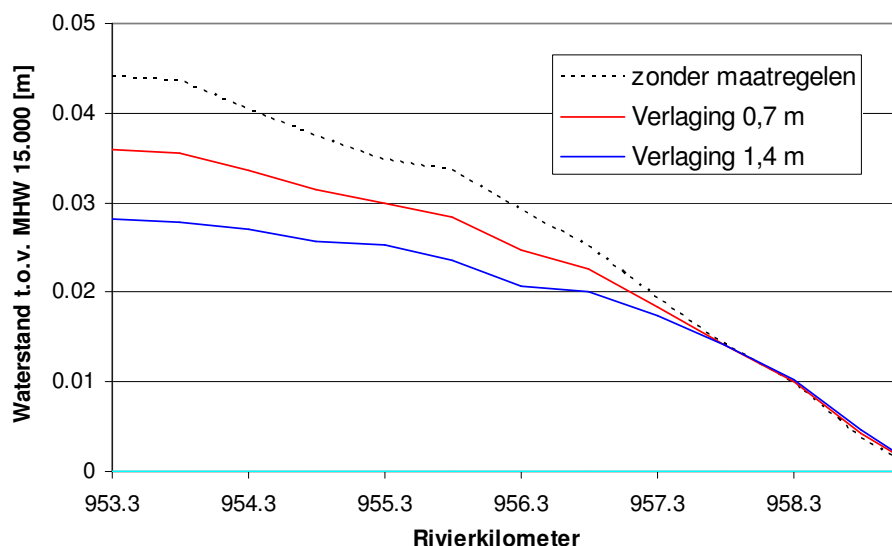
Figuur B3.9: Schematisatie dwarsprofiel na kribverlaging

Deze manier van schematiseren impliceert dat ook het bergende dwarsprofiel verdiept wordt. De toename van de bergingscapaciteit wordt echter niet als significant beschouwd. In de SOBEK schematisaties moeten de opeenvolgende punten steeds hoger liggen. Punt h6 kan dus nooit lager komen te liggen dan punt h5. Dit beperkt de te simuleren kribverlaging tot maximaal 1,4 m. Er worden uiteindelijk twee kribverlaging van 0,7 en 1,4 meter gesimuleerd.

Ook de ruwheid van de kribsectie verandert door aanpassing van de kribhoogte. De ruwheid van de kribsectie is in SOBEK per riviertak ingevoerd en daardoor moeilijk te veranderen.

In profiel 955.3 wordt de totale breedte groter dan de stroomvoerende breedte. In dit profiel is daarom h7 gelijk aan h8 – 1 m in plaats van aan h8 – 0,5 m.

De waterstandverandering als gevolg van de kribverlaging is te zien in figuur B3.10. Bij een kribverlaging van 0,7 m is de maximale waterstanddaling 0,8 cm en bij een kribverlaging van 1,4 m daalt de waterstand maximaal 1,6 cm. Hoewel deze maatregel de taakstelling niet kan realiseren kan het wel een bijdrage daaraan leveren. Kribverlaging wordt echter bij voorkeur niet toegepast (Silva et al., 2000).



Figuur B3.10: Waterstandeffect verlaging kribben

B3.4 Verlaging van het winterbed

Het effect van dijkverlegging op de waterstand is berekend met SOBEK.

In deze paragraaf wordt het effect van uiterwaardverlaging op de waterstand bij MA berekend. Op dit moment varieert het maaiveldniveau in de Graafsche waard tussen de 1,5 en de 3 meter +NAP (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996). Het gemiddelde maaiveldniveau ligt ergens tussen de 2 en 2,5 m +NAP.

De waterstand in de Lek ter hoogte van de Graafsche waard is bij een mediane afvoer, 1950 m³/s (de afvoer die volgens (Buijsrogge et al., 1996) 50% van de tijd wordt overschreden) gemiddeld enkele cm +NAP. Vanwege de aanwezige invloed van het getij is dit afwisselend enkele decimeters meer of minder.

Uiterwaardverlaging biedt de beste kansen voor natuurontwikkeling als er deels open water en deels periodiek overstroomde stroken land ontstaan. Meer dan 2,5 m afgraven leidt tot maaiveldniveaus onder het mediaan rivierpeil en dus tot veel open water. 2,5 m is daarom de maximale afgravingsdiepte die hier doorgerekend is. Een strook langs de winterdijk van 100 m breed wordt niet afgegraven om de stabiliteit van de winterdijk niet in gevaar te brengen (Wolters et al., 2001).

De uiterwaardverlaging is geschematiseerd zoals dat ook in het IVR-DSS gebeurd is (Buijsrogge et al., 1996). In de Graafsche waard zijn zomerkades aanwezig. De uiterwaardverlaging is geschematiseerd door het stroomvoerend en totaal oppervlak achter de zomerkades te vergroten. Het extra oppervlak voor de 5 gesimuleerde verlagingen (0.5, 1, 1.5, 2 en 2.5 m) is te vinden in tabel B3.3. Ook hierbij is aangenomen dat de gehele Graafsche waard stroomvoerend is, aangezien deze in de binnenbocht van de rivier ligt. Buiten de zomerkade is geen afgraving geschematiseerd, aangezien het vrij veel tijd kost om dit in SOBEK te schematiseren.

Het extra oppervlak achter de zomerkades is berekend door de afgravingsdiepte te vermenigvuldigen met de in SOBEK opgenomen breedte achter de zomerkade en de fractie af te graven profielbreedte. Dit is opgeteld bij het stroomvoerend en totaal oppervlak achter de zomerkades zoals dat al bij de profielen is vermeld.

De in SOBEK opgenomen breedte achter de zomerkade is berekend door het stroomvoerend oppervlak achter de zomerkades te delen door het verschil tussen gemiddelde hoogte van de zomerkade en het gemiddelde maaiveldniveau achter de zomerkade.

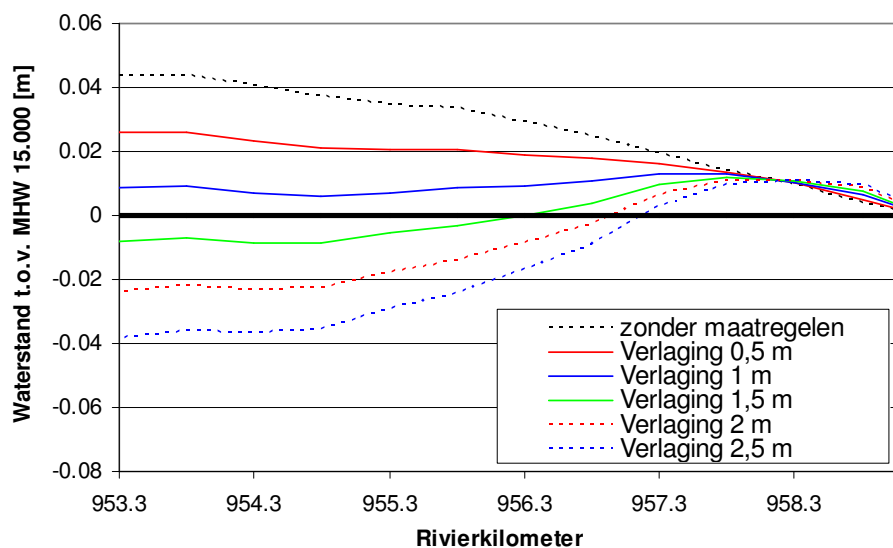
De fractie van de profielbreedte die vergraven wordt is bepaald door de breedte van de rechteruiterwaard min de strook van 100 m te delen door de breedte van de linker- en rechter uiterwaard samen. De breedte van de linker- en rechteruiterwaard zijn geschat is op basis van rivierkaarten (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996). Als de rechteruiterwaard smaller is dan 100 m is de fractie gelijk aan 0.

De in SOBEK opgenomen breedte achter de zomerkade is overal lager dan de geschatte breedte van de linker- en rechteruiterwaard. Waarschijnlijk komt dit doordat de in SOBEK opgenomen breedte achter de zomerkade alleen gebaseerd is op het stroomvoerende deel van de uiterwaard, terwijl er bij het schatten geen rekening is gehouden met welke locaties stroomvoerend zijn en welke locaties niet.

Profiel	Breedte Geschat links	Breedte Geschat rechts	Fractie graven	B sobek	ΔA 0,5 m	ΔA 1 m	ΔA 1,5 m	ΔA 2 m	ΔA 2,5 m
953.3	600 m	50 m	0	383	0	0	0	0	0
953.8	900 m	200 m	0.09	826	37	75	113	150	188
954.3	800 m	240 m	0.13	586	39	79	118	158	197
954.8	700 m	300 m	0.2	571	57	114	171	229	286
955.3	550 m	450 m	0.35	639	112	224	336	447	559
955.8	600 m	500 m	0.36	948	172	345	517	689	861
956.3	200 m	450 m	0.54	441	119	237	356	475	593
956.8	150 m	400 m	0.55	419	114	229	343	457	572
957.3	50 m	450 m	0.7	317	111	222	333	444	555
957.8	50 m	450 m	0.7	258	90	181	271	361	451
958.3	250 m	350 m	0.42	306	64	128	191	255	319
958.8	250 m	200 m	0.22	341	38	76	114	152	189

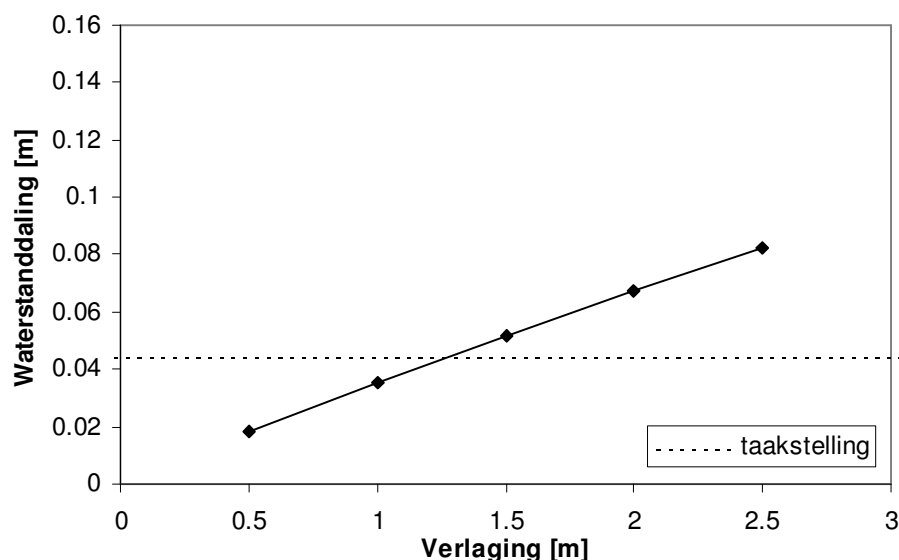
Tabel B3.3: Profielverandering uiterwaardaafgraving

De door SOBEK berekende waterstandveranderingen als gevolg van de uiterwaardverlagingen zijn te zien in figuur B3.11. In het bovenstroomse deel van de Graafsche waard wordt de taakstelling met een verlaging van 1,5 m of meer eenvoudig gehaald. In het benedenstroomse deel van de Graafsche waard wordt de taakstelling niet gehaald. Dit omdat de Graafsche waard hier slechts een dunne strook uiterwaard is. En vanwege de in bijlage B3.1 genoemde effecten als het debiet door de uiterwaard weer in de hoofdgeul stroomt. Om ook hier de taakstelling te halen zijn maatregelen op de linkeroever, in het zomerbed of benedenstrooms nodig.



Figuur B3.11: Waterstandeffect uiterwaardverlaging

In figuur B3.12 is de maximale waterstanddaling als gevolg van de gesimuleerde uiterwaardverlagingen te zien. Deze figuur geeft alleen de maxima aan en zegt dus niks over de waterstanddaling op het gehele traject langs de Graafsche waard.



Figuur B3.12: Maximaal waterstandeffect door uiterwaardverlaging

B3.5 Aanleg open water

Het effect van nieuw aan te leggen open water op de waterstand is berekend met WAQUA. Aangezien SOBEK de uiterwaarden als één groot homogeen vlak ziet is het moeilijk om de aanleg van open water goed in SOBEK te schematiseren. Aangezien het specifieke debiet sterk toeneemt met de diepte is het uitmiddelen van het extra debiet over een hele uiterwaard moeilijk en kan beter WAQUA gebruikt worden.

Bij deze case moet worden opgemerkt dat het effect van open water op de waterstand sterk locatieafhankelijk is. De resultaten uit de volgende berekening zijn dan ook slechts een indicatie

van het waterstandverlagende effect en zijn niet representatief voor elk open water van vergelijkbare grootte.

De doorgerekende aanleg van open water is de al aanwezige strang in 't Horde. Deze bleek nog niet aanwezig in de huidige schematisatie. Zo heeft deze berekening twee voordelen: het effect van open water wordt ingeschat en de schematisatie L93989 wordt geüpdate.

In Bijlage 1 op de ecotopenkaart, figuur B1.1, is de ligging en vorm van de strang goed te zien. Op de noordoever van de strang ligt een strook zachthoutooibos. De huidige schematisatie van 't Horde is te zien in figuur B3.14. De schematisatie van oppervlakte water in WAQUA bestaat uit 3 stappen:

- Inbrengen van de grove contouren, bodem en ruwheid;
- Handmatig aanpassen van de bodem;
- Aanleggen van de overlaten.

Voor het inbrengen van de grove contouren worden eerst op een digitaliseertafel de contouren aangemaakt. Deze zijn afkomstig van de rivierkaart (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996). Met behulp van WAQRIV worden de contouren en hun bodemniveau en stromingsweerstandparameters ingebracht in de bodem- en ruwheidfiles van WAQUA. Over het bodemniveau in de strang zijn geen gegevens beschikbaar. Aangezien de strang gegraven is voor kleiwinning wordt aangenomen dat het gemiddelde bodemniveau in de strang op 1 m –NAP ligt. Klei bevindt zich namelijk meestal alleen in de bovenste lagen van de uiterwaardbodem. Op de luchtfoto van de strang (figuur B1.3) is te zien dat de strang veel lichter van kleur is dan het zomerbed. De bodem ligt hier waarschijnlijk veel ondieper.

Voor de Nikuradse ruwheid wordt de standaardwaarde voor uiterwaardwater aangenomen: 0,25 m. De bodem van het zachthoutooibos wordt geschat op 0 m +NAP. De bijbehorende Nikuradse ruwheid wordt berekend in WAQRIV, met de bomenformule, op basis van de standaardparameters: stamdichtheid 0,125 m⁻², gemiddelde stamdiameter 0,20 m en gemiddelde hoogte 10 m. De waterdiepte is het verschil tussen de grof afgeronde waterstanden bij MHW-conditions en het bodemniveau per cel.

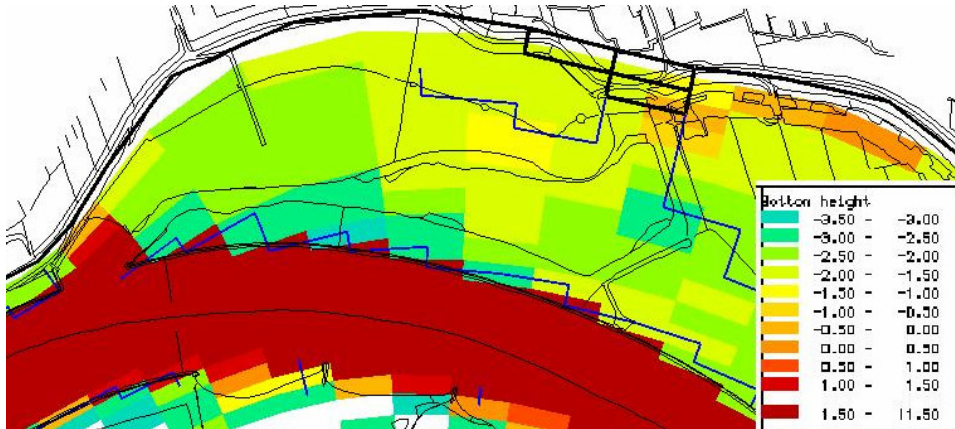
Het WAQUA-grid is te grof om de contouren van bos en strang goed weer te geven (of de contouren zijn te klein). Voor berekening van de ruwheid wordt er gemiddeld per celoppervlak, maar de bodempunten worden op de M,N-coördinaten 'geprikt'. Dit heeft tot gevolg dat het bodemniveau van het zachthoutooibos niet in de schematisatie meegenomen wordt. Het bodemniveau van de strang krijgt een vreemde vorm en is niet langer een aaneengesloten contour, zoals de dunne zwarte lijn aangeeft; figuur B3.15. Wel is te zien dat het totale oppervlak strang vrij goed overeenkomt met het totale oppervlak geschematiseerde strang. En ook dat er geen bodempunt in de strook zachthoutooibos valt.

Om dit te corrigeren zijn er handmatig aanpassingen aan het bodemniveau uitgevoerd. De overgang tussen contouren en omliggende uiterwaard is 'gesmooth', meer geleidelijk gemaakt. Op alle bodempunten die op een afstand van minder dan een ½ m (m-richting) en/of ½ n (n-richting) gesneden worden door een contourgrens, is het bodemniveau opnieuw bepaald:

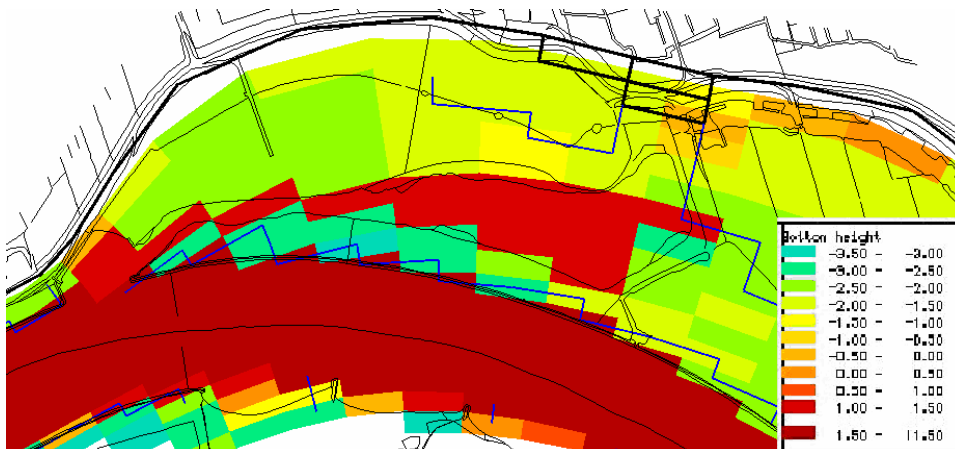
Allereerst is het bodemniveau op een afstand van ½ m (m-richting) en ½ n (n-richting) van deze punten bepaald. Er is aangenomen dat dit het gemiddelde is van de twee dichtstbijzijnde bodempunten. Als dit punt echter in een van de twee contouren valt dan is 1 m –NAP (strang) of 0 m +NAP (oobos) aangehouden. Op deze manier worden de grenzen van de contouren niet alleen meer vloeiend gemaakt, maar krijgen de contouren een iets sterkere invloed op de uiteindelijke bodemniveaus. Dit omdat een visuele inspectie van figuur B3.15 laat zien dat het oppervlak van de strang groter is dan het oppervlak aan verlaagde cellen. Als een bodempunt in het zomerbed valt is wordt het punt sowieso niet aangepast.

De laatste stap bij het schematiseren van de strang is het plaatsen van de overlaten. Overlaten worden in de gebruikte versie van WAQUA, versie 2000.2, gebruikt als er een hoogteverschil is van 0,5 m of meer en een helling van 1:7 of steiler. De strang in 't Horde is gegraven om klei te winnen voor dijkversterking. Direct naast de strang ligt een zomerkade en de strang heeft dus hoge en steile oevers. Daarom zijn langs de gehele oever van de strang overlaten aangelegd, behalve in de noordoosthoek (geen zomerkade, flauw talud). De top van deze overlaten is afkomstig van de rivierkaart (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996). De

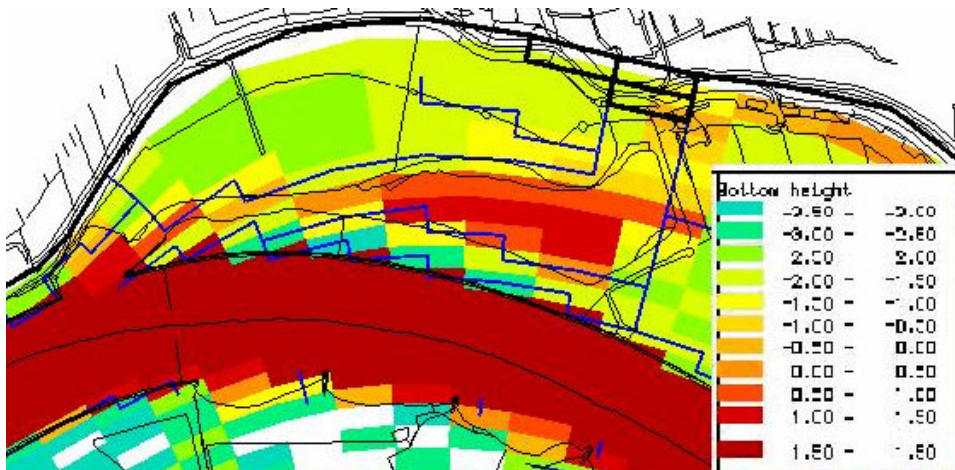
drempelhoogte aan de strangzijde is het verschil tussen de de top van de overlaat en het bodemniveau van de strang (1 m –NAP). De drempelhoogte aan de andere zijde is het verschil tussen de bodemhoogte en de top van de overlaat (deze drempelhoogte is vaak 0 en bijna altijd kleiner dan een meter). In totaal zijn er 20 nieuwe overlaten gelegd en 3 overlaten aangepast. De uiteindelijk gebruikte bodemligging en overlaten zijn te zien in figuur B3.16.



Figuur B3.14: bodem en overlaten voor schematisatie strang



Figuur B3.15: bodem na inbrengen contouren



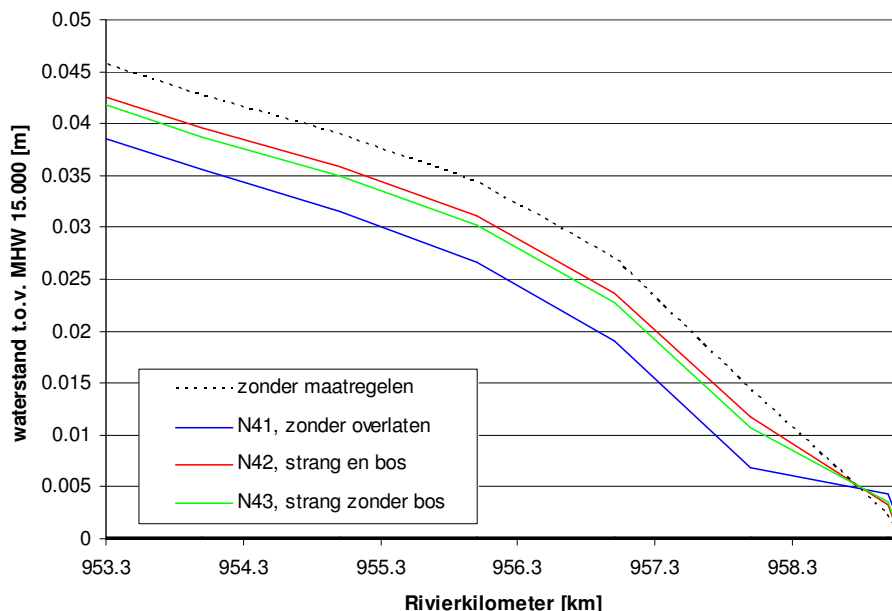
Figuur B3.16: uiteindelijke bodem en overlaten

De figuren B3.14 tot en met B3.16 geven bodemdiepte aan. Een bodemdiepte van 1 m betekent dus dat de bodem op 1 m –NAP ligt. De dikke zwarte lijnen geven de modelranden aan, of de afgesloten cellen. De dunne zwarte lijnen zijn rechtstreeks afkomstig van de rivierkaart. De overlaten tot slot worden weergegeven als blauwe lijnen.

In figuur B3.16 valt op dat de positie van de overlaat vaak niet overeen komt met de positie van de sprong in bodemniveau. Dit wordt veroorzaakt door de definitie van de positie van bodempunt en overlaat ten opzichte van de M,N-coördinaten. Praktisch gezien levert dit geen probleem op aangezien de overlaten een verlies in energiehogte toevoegen en geen interactie hebben met het ingegeven bodemniveau zelf.

De resultaten van case 41 (schematisatie zonder overlaten) en 42 (schematisatie met overlaten) zijn te zien in figuur B3.17. De strang en het zachthoutooibos in 't Horde leveren een waterstanddaling op van maximaal 3,5 mm ter hoogte van rivierkilometer 957. Zonder oobos (case 43) zou ter hoogte van rivierkilometer 957 de waterstand nog 1 mm lager zijn.

Opvallend is dat het wel of niet aanwezig zijn van overlaten een verschil in maximale waterstand van 4 mm kan veroorzaken. Een strang met een flauw talud zonder zomerkades heeft dus een relatief sterk waterstandverlagend effect in vergelijking met een strang omgeven door een zomerkade.



Figuur B3.17: Waterstandeffect aanleg strang

B3.6 Vegetatieontwikkeling in het winterbed

Het effect van vegetatieontwikkeling op de waterstand is berekend met SOBEK.

Doel van deze berekeningen is het simuleren van veranderingen in de uiterwaardruwheid om de waterstandverandering te voorspellen. De uiterwaardruwheden zijn in SOBEK vrij grof gecalibreerd. Voor de gehele Graafsche waard en de omliggende uiterwaarden rekent SOBEK met een Nikuradze coëfficiënt, $k = 0,24$ m.

In vijf verschillende berekeningen is de ruwheid in de Graafsche waard veranderd tot;

- $k = 0,5$ m, combinatie van voornamelijk gras en een klein deel diverse natuurtypen;
- $k = 1$ m, combinatie van gras en diverse natuurtypen;
- $k = 2$ m, diverse natuurtypen, moeras, ruigte, struiken;
- $k = 10$ m, bos;

- $k = 0,1$ m, de waarde die IVR-DSS (Buijsrogge et al., 1996) gebruikt voor open water. Verregaande uiterwaardverlaging, nodig voor het creëren van open water is echter niet in deze modelberekening meegenomen.

Bij de simulaties is aangenomen dat de gehele Graafsche waard dezelfde ruwheid krijgt, dus geheel open water, geheel open bos, etc. De linker uiterwaarden behouden de huidige ruwheid; $k = 0,24$ m. De resulterende ruwheid is het gewogen gemiddelde van de ruwheden in de linker en rechter uiterwaard. Aangezien de ruwheden gegeven zijn in de Nikuradse- k waarde en er gewogen moet worden over een Chezy-waarde. De omrekenformule, van Nikuradse- k , k , naar Chezy-waarde, C , is als volgt: $C = 18 \log(12h/k)$, waarin h de waterdiepte is. De formule om over beide uiterwaarden resulterende Nikuradse- k te berekenen volgt nu dus uit: (nb. er wordt hier van uitgegaan dat de uiterwaarden parallel aan elkaar liggen)

$$C_{res} = \sum C_i p_i$$

$$18 \log(12h/k_{res}) = \sum p_i * 18 \log(12h/k_i)$$

$$\log(12h) - \log(k_{res}) = \sum p_i * \log(12h) - \sum p_i * \log(k_i)$$

$$\log(k_{res}) = \sum p_i * \log(k_i)$$

$k_{res} = 10^{(\sum p_i \log(k_i))}$ (Buijsrogge et al., 1996). In deze formule is p_i het oppervlakteaandeel van de linker- of rechteruiterwaard en k_i is de bij deze uiterwaard behorende nikuradse- k . De resulterende nikuradse- k is dus onafhankelijk van de waterdiepte, h .

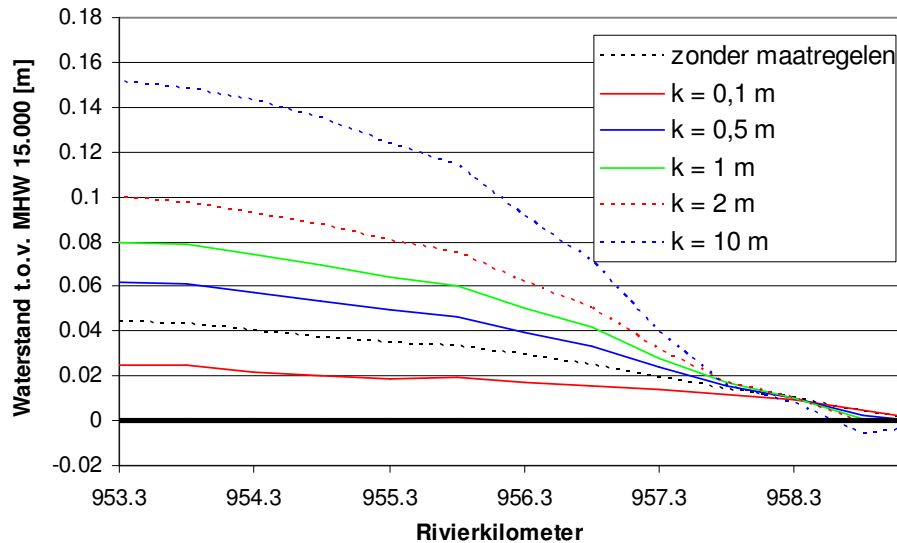
De breedte van de linker en rechter uiterwaard is geschat op basis van rivierkaarten (Rijkswaterstaat meetkundige dienst, 1996) Deze breedtes en de resulterende ruwheden zijn te vinden in tabel B3.4.

Afstand vanaf Hagestein	Profiel-nummer	Cross-section	Breedte Geschat links	Breedte Geschat rechts	Fractie Rechts	Origineel	$k_{rechts=0.1\text{ m}}$	$k_{rechts=0.5\text{ m}}$	$k_{rechts=1\text{ m}}$	$k_{rechts=2\text{ m}}$	$k_{rechts=10\text{ m}}$
0						0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
5519	371	953.3	600	50	0.08	0.24	0.22	0.25	0.27	0.28	0.32
6021	372	953.8	900	200	0.18	0.24	0.21	0.27	0.31	0.35	0.47
6522	373	954.3	800	240	0.23	0.24	0.20	0.28	0.33	0.39	0.57
7024	374	954.8	700	300	0.3	0.24	0.19	0.30	0.37	0.45	0.73
7526	375	955.3	550	450	0.45	0.24	0.16	0.33	0.46	0.62	1.29
8028	376	955.8	600	500	0.45	0.24	0.16	0.33	0.46	0.62	1.29
8529	377	956.3	200	450	0.69	0.24	0.13	0.40	0.64	1.04	3.15
9031	378	956.8	150	400	0.73	0.24	0.13	0.41	0.68	1.13	3.65
9533	379	957.3	50	450	0.9	0.24	0.11	0.46	0.87	1.62	6.89
10034	380	957.8	50	450	0.9	0.24	0.11	0.46	0.87	1.62	6.89
10536	381	958.3	250	350	0.58	0.24	0.14	0.37	0.55	0.82	2.09
11038	382	958.8	250	200	0.44	0.24	0.16	0.33	0.45	0.61	1.24
11540						0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
13045						0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
20571						0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
30103						0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
40639						0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Tabel B3.4: Geschatte uiterwaardbreedtes en resulterende ruwheden

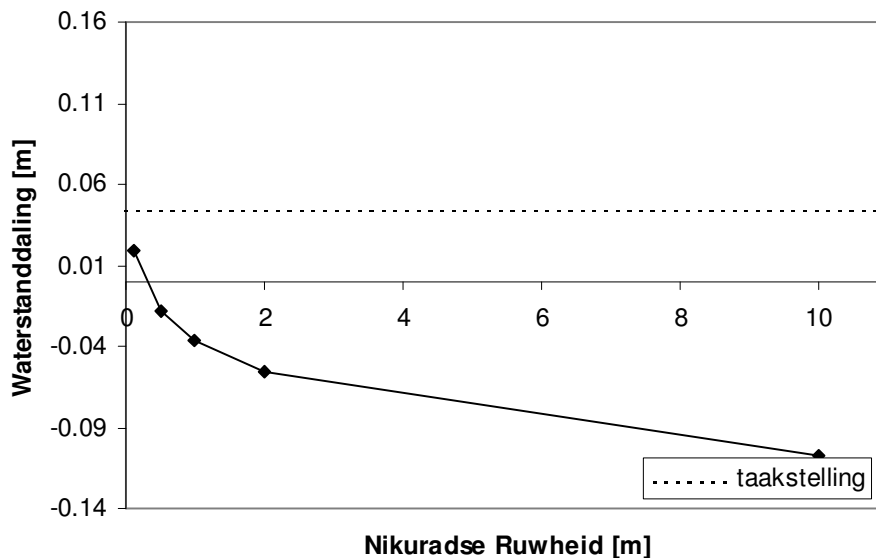
De door SOBEK berekende waterstandveranderingen als gevolg van de ruwheidverandering zijn te zien in figuur B3.18. Zoals verwacht leiden hogere ruwheden tot hogere waterstanden.

Ontwikkeling van bos in de hele Graafsche waard zal leiden tot 11 cm hogere waterstanden. Het is in ieder geval duidelijk dat vegetatieontwikkeling gecompenseerd zal moeten worden met waterstandverlagende maatregelen. Voor de korte waterstanddaling tussen rivierkilometer 958,3 en 959,1 is een verklaring te geven omgekeerd aan de verklaring voor de plaatselijke waterstandstijging in bijlage B3.1: Door de extra ruwheid in de uiterwaard stroomt er meer water door de hoofdgeul. Hierdoor wordt de waterstandstijging in de huidige situatie als gevolg van de instroom van uiterwaardwater in de hoofdgeul vermindert.



Figuur B3.18: Waterstandeffect verandering uiterwaardruwheid

In figuur B3.19 is de maximale waterstanddaling als gevolg van de gesimuleerde ruwheidverandering te zien. Voor grotere ruwheden is de waterstanddaling negatief, en dus een waterstandstijging. Deze figuur geeft alleen de maximale waterstandverandering aan en zegt dus niets over de waterstanddaling/stijging op het gehele traject langs de Graafsche waard.



Figuur B3.19: Maximaal waterstandeffect verandering uiterwaardruwheid

B3.7 Aanpassingen zomerkade

In SOBEK is het modelleren van aanpassingen aan de zomerkade ingewikkeld omdat de in SOBEK aanwezige zomerkade een gemiddelde van de linker- en rechterzomerkade is. Veranderingen aan de zomerkade zijn daarom gemodelleerd in WAQUA.

De zomerkades zijn in WAQUA geschematiseerd als overlaten. Deze overlaten veroorzaken energiehoogteverlies en dus indirect hogere waterstanden. De schematisatie van de zomerkade is te zien in figuur B3.20. De lange, donkerblauwe, geblokte lijn is de zomerkade die het grootste deel van de Graafsche waard beschermt tegen inundaties. De overige gekleurde lijntjes zijn andere overlaten; kribben, 'steile' oevers of andere kades. De roze cellen geven hoogwatervrij terrein aan.

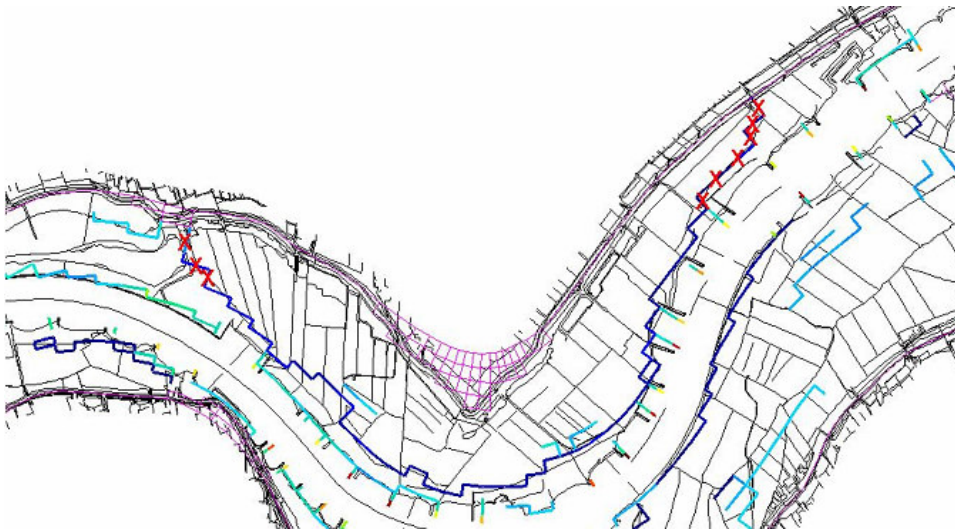
In deze paragraaf worden drie aanpassingen aan de zomerkade gesimuleerd en doorgerekend met WAQUA:

- Het geheel verwijderen van de zomerkade (case N37);
- Het verwijderen van het deel zomerkade dwars op de stroomrichting (case N38);
- Het waar mogelijk 1 m verlagen van de zomerkade (case N39).

In case N37 is de gehele zomerkade verwijderd. De regels in de invoerfile die deze overlaten aangeven zijn voor het programma onleesbaar gemaakt door er een '#' voor te zetten.

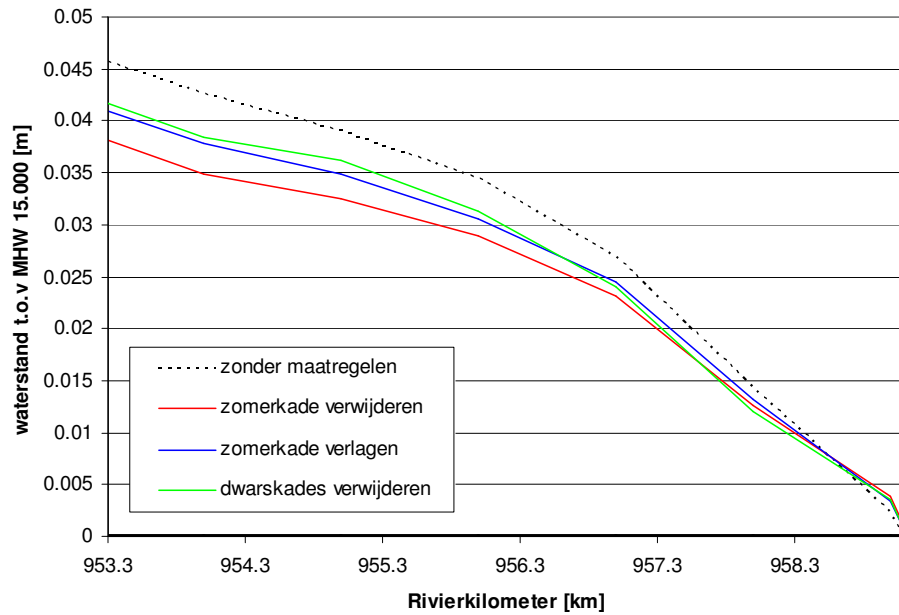
In case N38 zijn alleen de kades verwijderd die dwars op de stroomrichting staan. Deze zijn met in figuur B3.20 met een rood kruis gemarkeerd.

In case 39 is de zomerkade van de Graafsche waard, waar mogelijk, met 1 m verlaagd. De drempelhoogte, het verschil tussen bodemniveau en overlaathoogte wordt eveneens met 1 m verlaagd. Als de drempelhoogte aan een van beide zijden van de overlaat kleiner dan 1 m is, wordt de overlaat met de kleinste drempelhoogte verlaagd. Dit was voor 25 van de 58 overlaten het geval. Deze overlaten zijn met gemiddeld 0,54 m verlaagd.



Figuur B3.20: Locatie overlaten in WAQUA

De berekende waterstandveranderingen als gevolg van het verwijderen of verlagen van de zomerkade en het verwijderen van de dwarskades is te zien in figuur B3.21. Zoals verwacht heeft het geheel verwijderen van de zomerkade het grootste effect, ongeveer 0,8 cm waterstanddaling ter hoogte van rivierkilometer 954. Het effect van het verwijderen van de dwarskades of het met 1 m verlagen van de gehele zomerkade is ongeveer de helft van de waterstanddaling die behaald wordt als de gehele zomerkade wordt verwijderd.



Figuur B3.21: Waterstandverandering na aanpassing zomerkade

Hoewel het verwijderen van dwarskades en het waar mogelijk met 1 m verlagen van de zomerkade ongeveer evenveel waterstanddaling opleveren, zijn de gevolgen voor landgebruik en morfologie anders. Als de dwarskades verwijderd worden neemt de inundatiefrequentie van de uiterwaard veel sterker toe. Dit zal leiden tot meer sedimentatie in zomer- en winterbed en meer waterschade voor de landbouw.

Bijlage B4: Verkenning inrichtingsvoorstellen

Deze bijlage geeft achtergrondinformatie over de in hoofdstuk 7 ontwikkelde inrichtingsvoorstellen. Deze bijlage verduidelijkt gemaakte keuzes en gaat in meer detail in op de berekeningsmethode. Deze bijlage bestaat uit:

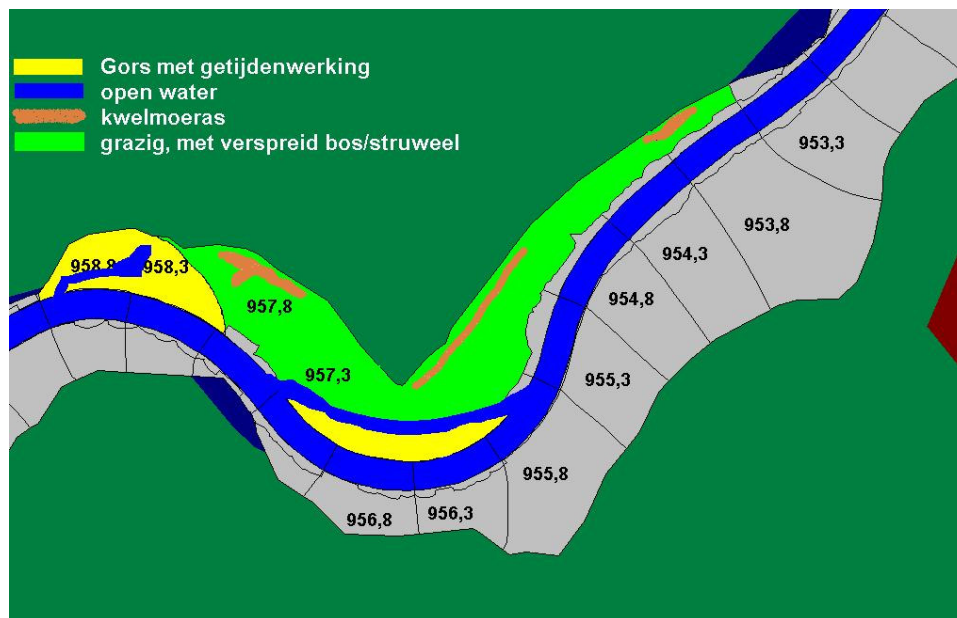
- Gebiedsvisie Buitendijkse Terreinen Lek (B4.1);
- HLbuiten (B4.2);
- HLbinnen (B4.3);
- NATbinnen (B4.4);
- NATbuiten (B4.5);

De in deze bijlage beschreven maatregelen zijn met SOBEK doorgerekend om snel een indicatie te krijgen van de waterstanddaling die de inrichtingsvoorstellen kunnen realiseren.

B4.1 Gebiedsvisie Buitendijkse Terreinen Lek

In deze paragraaf worden de hydraulische effecten van de uiterwaardinrichting zoals voorgesteld in (Nieuwenhuijze et al., 1994) berekend. Deze gebiedsvisie is een uitwerking van het Natuurbeleidsplan en van de Beleidsplannen Natuur en Landschap van de provincies Zuid-Holland en Utrecht. De gebiedsvisie is geschreven door een team van landschapsecologen. Aan de rivierkundige aspecten is weinig aandacht besteedt.

Het ontwerp, figuur B4.1, bestaat uit een meestromende nevengeul, gorzen met getijdenwerking, moerassen en grasland met verspreide bossages en struweel. Een deel van de uiterwaard wordt 2 m verlaagd.



Figuur B4.1: Inrichtingsvoorstel Gebiedsvisie BT-Lek

In SOBEK is de nevengeul geschematiseerd door zowel de totale als de stroomvoerende breedte van h4 tot en met h10 (bijlage B3.1) te vergroten met de breedte van de nevengeul. De breedte van de nevengeul is geschat op 100 m. De bodem van de nevengeul varieert dus tussen h4 en h5; enkele decimeters onder de OLR. De nevengeul loopt van begin profiel 955,8 tot eind profiel 957,3.

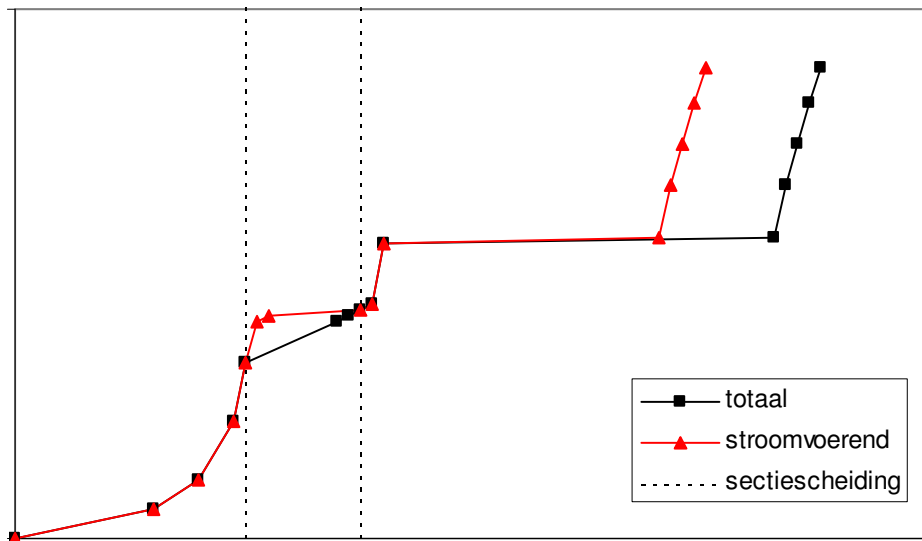
De gorzen met getijdenwerking worden geschematiseerd in de kribzone op niveau h5, enkele decimeters boven OLR. De kribben worden richting uiterwaard 'opgeschoven'. De veranderingen per punt in de schematisatie staan opgesomd in tabel B4.1.

Punt	Hoogteligging	Totale breedte	Stroomvoerende breedte
h6	verlagen tot $h_5+0,01$	$B_{\text{totaal}}(h_5) + \text{gorsbreedte}$	$B_{\text{stroom}}(h_5) + \text{gorsbreedte}$
h7	onveranderd	+ gorsbreedte	+ gorsbreedte
h8	Onveranderd	+ gorsbreedte	+ gorsbreedte
h9	Onveranderd	+ gorsbreedte	+ gorsbreedte
h10	Onveranderd	+ gorsbreedte	+ gorsbreedte

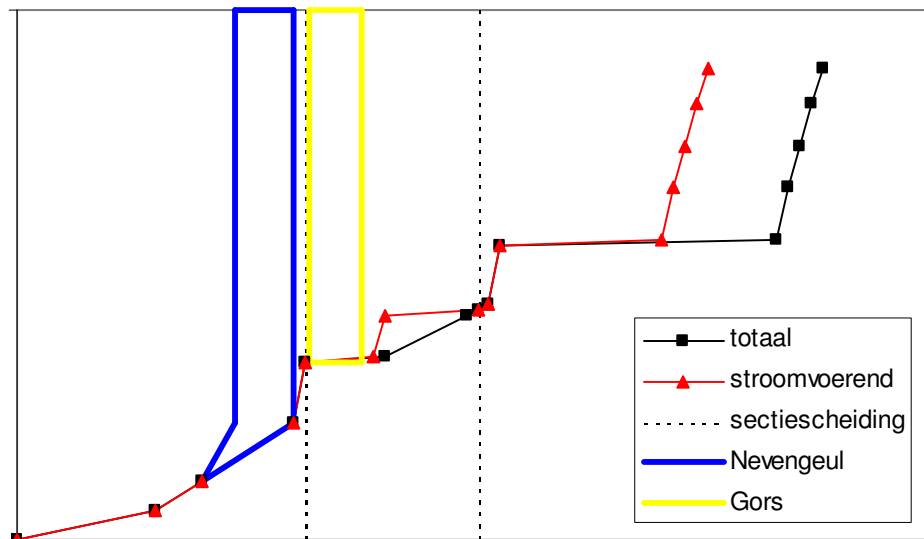
Tabel B4.1: schematisatie gorzen

De breedte van nevengeul en gors gaat ten koste van de uiterwaardbreedte. Dit wordt geschematiseerd door de oppervlakken achter de zomerkade te verminderen met de breedte van nevengeul en gors maal het verschil tussen top zomerkade en gemiddelde hoogte achter zomerkade.

De schematisatie van nevengeul en gors is uitgebeeld in Figuur B4.1 en figuur B4.2. Één van de nadelen van deze manier van schematiseren is dat de breedtes van de hoofdgeul-, krib- en uiterwaardsectie veranderen. Hierdoor is de werkelijke debietverdeling over de secties niet meer te achterhalen. Een ander nadeel is dat het verhang in hoofd- en nevengeul nu gelijk worden verondersteld. In dit geval lijkt dat geen problemen op te leveren aangezien hoofd- en nevengeul ongeveer even lang zijn. Ook is de ruwheid van de gors niet aan te passen. Deze staat nu standaard op de waarde van de uiterwaardsectie langs de gehele Boven-Lek ($k = 0,5 \text{ m}$), terwijl de (vaak onbegroeide) gorzen in werkelijkheid een lagere ruwheid hebben.



Figuur B4.2: standaard dwarsprofiel voor schematisering



Figuur B4.3: standaard dwarsprofiel na schematisering

De uiterwaardverlaging is geschematiseerd volgens de methode uit paragraaf B3.4. Verschil is dat gerekend wordt met de nieuwe breedte van de uiterwaard (zie table B4.2) en dat om onbekende reden de profielen 953,3 tot en met 954,8 niet afgegraven worden.

De vegetatieruwheid in de uiterwaard wordt berekend met de methode beschreven in paragraaf B3.6. De exacte ecotopenverdeling van een grazig landschap met verspreide bossages en struweel is niet te geven. Voor de gehele Graafsche waard wordt een ecotopenverdeling van 5% open water ($k = 0,1$ m), 60% gras ($k = 0,3$ m), 30% ruigte/moeras/overig natuur ($k = 2$ m) en 5% bos ($k = 10$ m). Deze ecotopenverdeling levert een Parallel Nikuradse ruwheid, k_p , van 0,55 m, een serie Nikuradse ruwheid, k_s , van 0,77 m en dus een totale Nikuradse ruwheid, $k_{\text{rechter_uiterwaard}}$, van 0,66 m.

Waarschijnlijk wordt ook de zomerkade in het ontwerp verwijderd. De verlaging van de zomerkade is echter niet geschematiseerd. Het effect van zomerkadeverwijdering op de waterstand is klein bij MHW-afvoer en bovendien is het schematiseren vrij lastig omdat er gemiddeld moet worden met de linker zomerkade.

Profiel	B-ng	B-gors	(A	Geschat L_waard	Geschat R_waard	Nieuw R	verlaging (A	vegetatie Kres
953,3				600	50			0,26
953,8				900	200			0,29
954,3				800	240			0,30
954,8				700	300			0,32
955,3				550	450		447	0,38
955,8	100	30	-246	600	500	370	455	0,35
956,3	100	125	-414	200	450	225	127	0,41
956,8	100	140	0**	150	400	160	162	0,40
957,3	100	50	-185	50	450	300	191	0,57
957,8				50	450		361	0,60
958,3		200 (100)*	0**	250	350	250	184	0,40
958,8		125 (50)*	-48	250	200	150	73	0,35

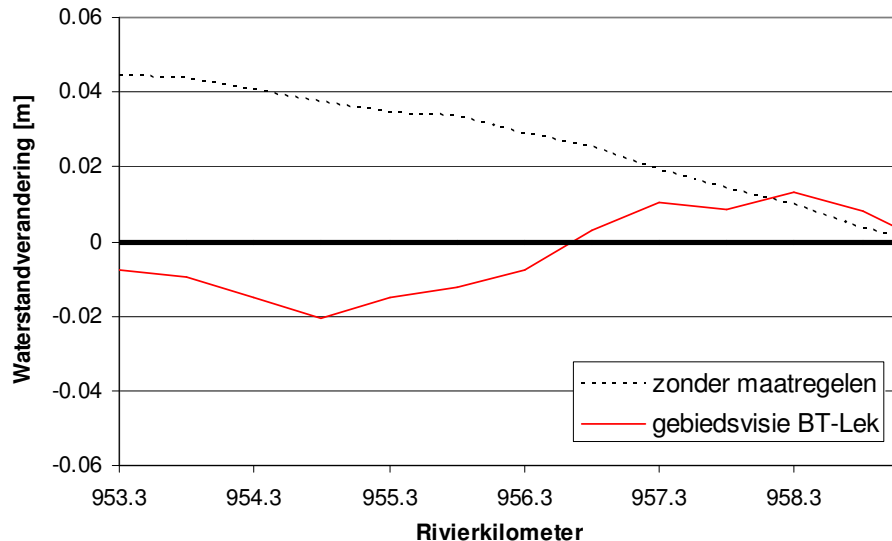
Tabel B4.2: invoerparameters SOBEK, gebiedsvisie BTL

* tussen haakjes de gorsbreedte in het stroomvoerende deel van het dwarsprofiel

** In profiel 956,8 en 958,3 veroorzaakt de gehanteerde methode voor h9 en h10 grotere breedtes dan h11. Dit wordt veroorzaakt doordat deze profielen een relatief brede uiterwaard tussen rivieroever en zomerkade hebben. Dit probleem is opgelost door de bij h9 en h10 behorende breedtes niet aan te passen. De nevengeul en/of gors komt dus in plaats van de uiterwaard tussen zomerkade en rivieroever.

In figuur B4.4 is de waterstandverandering te zien als gevolg van het inrichtingsvoorstel uit (Nieuwenhuijze et al., 1994). In het bovenstroomse deel van de Graafsche waard wordt de taakstelling makkelijk gehaald. In het benedenstroomse deel van de Graafsche waard niet.

Een mogelijk probleem is het debiet dat de nevengeul en gorzen aan de hoofdgeul onttrekken. Hierdoor daalt de stroomsnelheid in het zomerbed en kan aanzanding ontstaan.

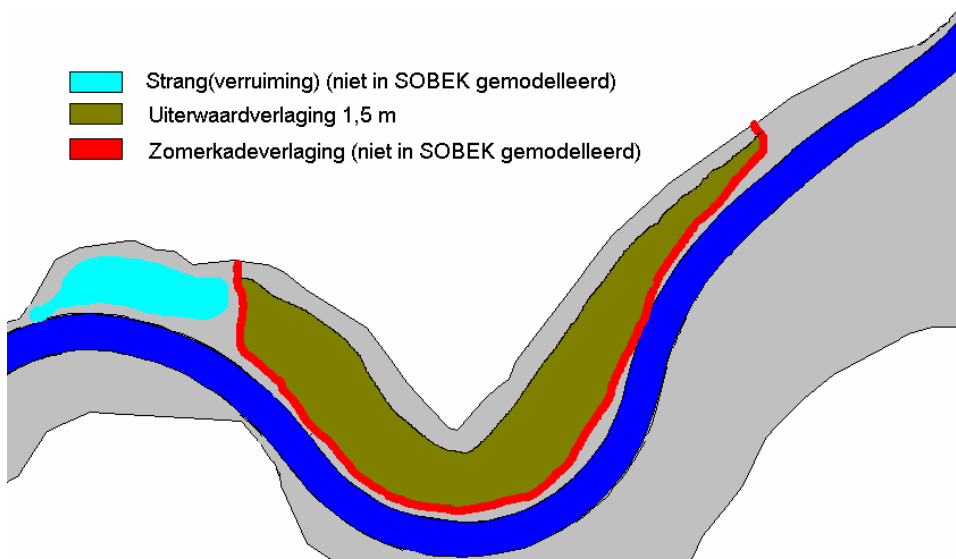


Figuur B4.4: Waterstandeffect gebiedsvisie BT-Lek

B4.2 HLbuiten

Uitgangspunt van dit ontwerp is behoud van het huidige landgebruik. De landbouwgrond wordt verlaagd tot tenminste 0,5 m boven NAP, dus minimaal 0,5 m boven de mediane waterstand. De zomerkade wordt met 1 meter verlaagd; van 3,5-4,3 m +NAP tot 2,5-3,3 m +NAP. Dit omdat een relatief hoge zomerdijk voor ongewenste stromingen kan zorgen. In de huidige situatie worden de zomerkades praktisch nooit overstroomd. De uiterwaard zal als gevolg van dit ontwerp vaker inunderen, maar niet meer dan enkele dagen per jaar. Door de maaiveldverlaging en de toegenomen inundatiefrequentie wordt de landbouwgrond vochtiger. De gebruikswaarde van de grond zal afnemen tot enkele procenten zodat rendabele agrarische productie niet meer mogelijk is.

De camping in het oostelijke deel van de Graafsche waard en 't Horde worden niet verder afgegraven. Beide gebieden liggen dicht tegen de winterdijk en 't Horde heeft al een laag gelegen maaiveld.



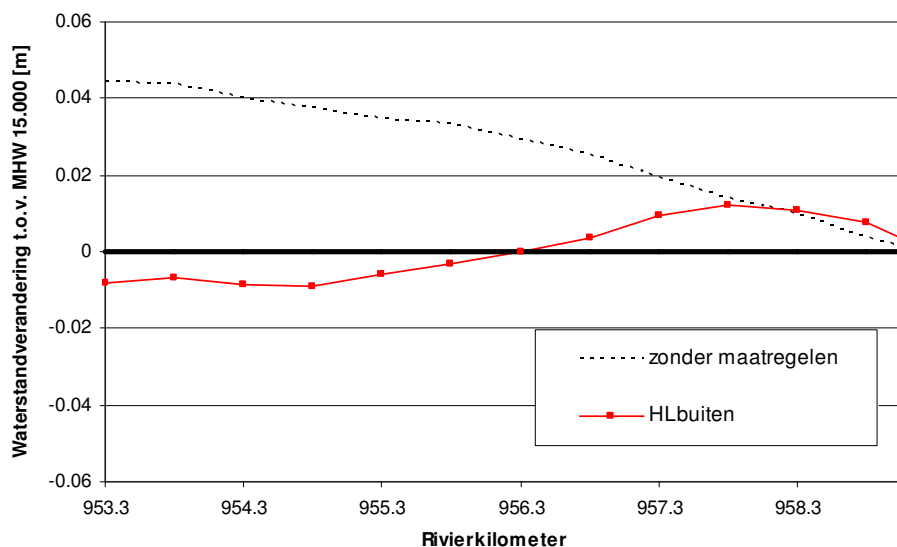
Figuur B4.5: Inrichtingsvoorstel HLbuiten

Dit ontwerp is geschematiseerd in SOBEK door de rechter uiterwaard (met uitzondering van een 100 m brede strook) te verlagen. Dit is gebeurd zoals beschreven in bijlage B3.4. Ter hoogte van de camping (profiel 953.3 en profiel 953.8) en in 't Horde (profiel 958.3 en profiel 958.8) wordt niet verlaagd.

De verlaging van de zomerkade is niet geschematiseerd. Het effect van zomerkadeverlaging op de waterstand is klein bij MHW-afvoer en bovendien is het schematiseren vrij lastig omdat er gemiddeld moet worden met de linker zomerkade.

De uiteindelijke schematisatie is dus bijna gelijk aan de schematisatie van case 14, uiterwaardverlaging met 1,5 m. Het enige verschil is dat de profielen 953.3, 953.8, 958.3 en 958.8 niet aangepast zijn.

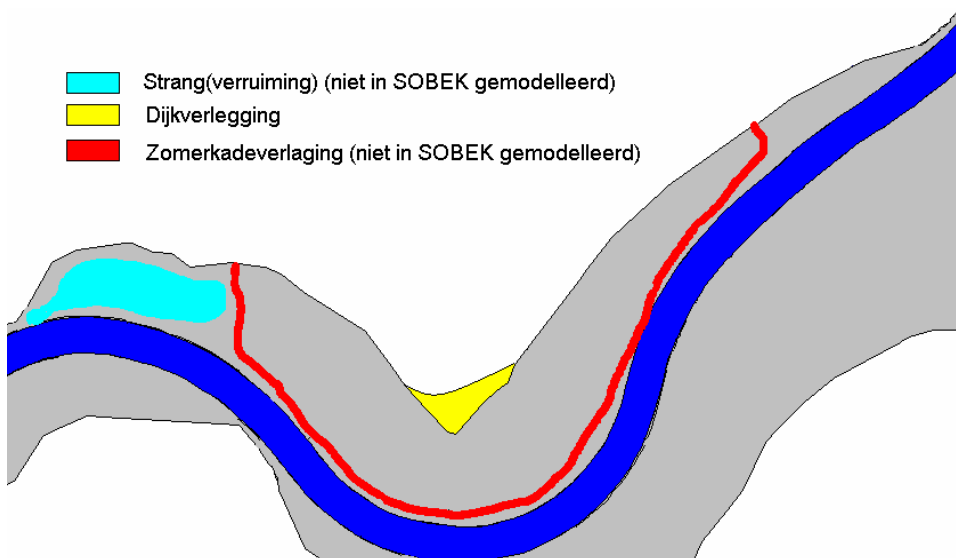
De waterstandverandering als gevolg van inrichtingsvoorstel HLbuiten is te zien in figuur 4.6. Het is mogelijk om in een groot deel van het projectgebied de taakstelling te realiseren. Het huidige landgebruik kan waarschijnlijk niet voortgezet worden.



Figuur B4.6: Waterstandeffect HLbuiten

B4.3 HLbinnen

Uitgangspunt van dit ontwerp is behoud van het huidige landgebruik. Om het huidige landgebruik zo min mogelijk te veranderen wordt er niet afgegraven en worden bij het verleggen van de dijk alle boerderijen gespaard. De dijkverlegging is te vinden in figuur B4.7. In het stuk polder dat buitendijks komt te liggen ligt het maaiveld op 0,6 m +NAP.



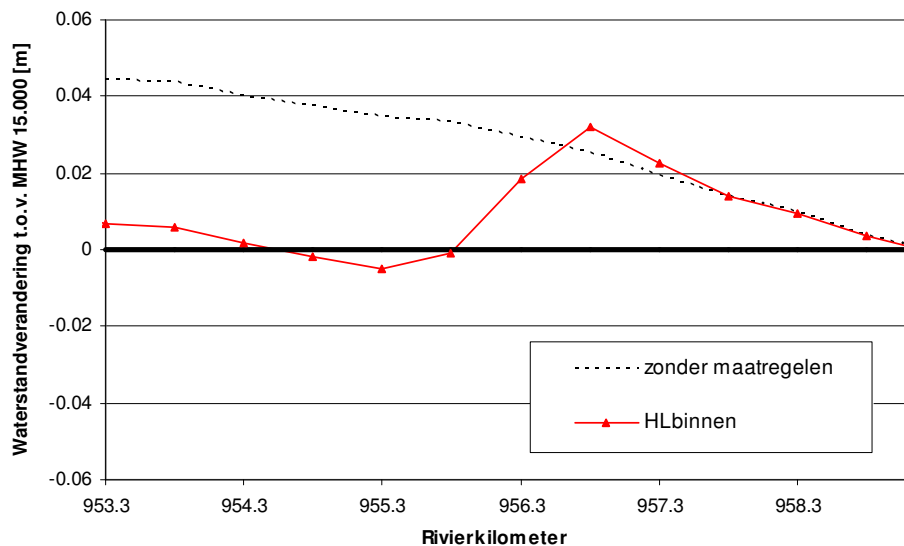
Figuur B4.7: Inrichtingsvoorstel HLbinnen

In SOBEK is deze variant geschematiseerd door bij de punten h11 t/m h15 (bijlage B3.1) voor zowel de stroomvoerende- als de totale breedte met de in tabel B4.3 aangegeven waarden te vergroten. Ook is het totale- en stroomvoerende oppervlak achter de zomerdijk vergroot met de extra breedte vermenigvuldigt met het verschil tussen de gemiddelde hoogte van de zomerkades en het bodemniveau (0,6 m +NAP). De strangverruiming en zomerkadeverlaging zijn niet geschematiseerd omdat dit een ingewikkelde tijdrovende procedure is in SOBEK.

Profiel	955,8	956,3	956,8	957,3
Verbreiding	100 m	325 m	300 m	30 m

Tabel B4.3: gemiddelde uiterwaardverbreiding

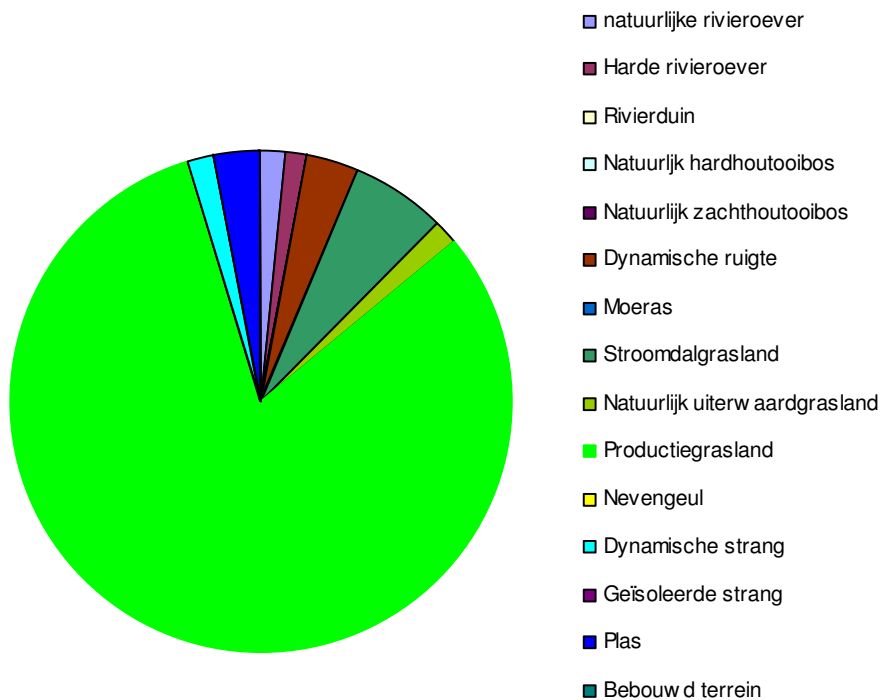
Met alleen een kleine dijkverlegging is de taakstelling niet te halen (figuur B4.8). Misschien dat de taakstelling wel haalbaar is als ook zomerkadeverlaging en strangverruiming meegeteld worden.



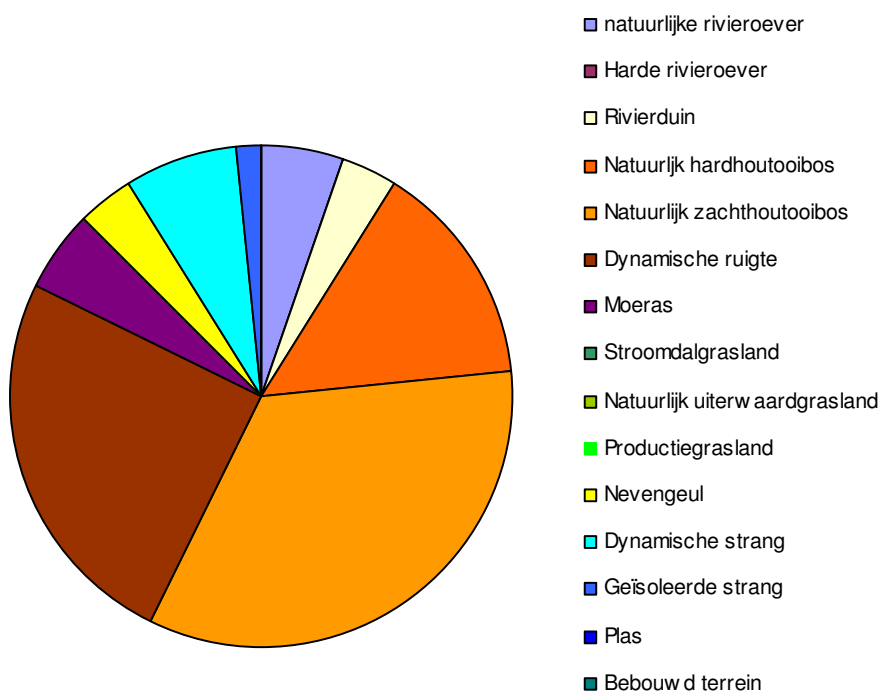
Figuur B4.8: waterstandeffect HLbinnen

B4.4 NATbuiten

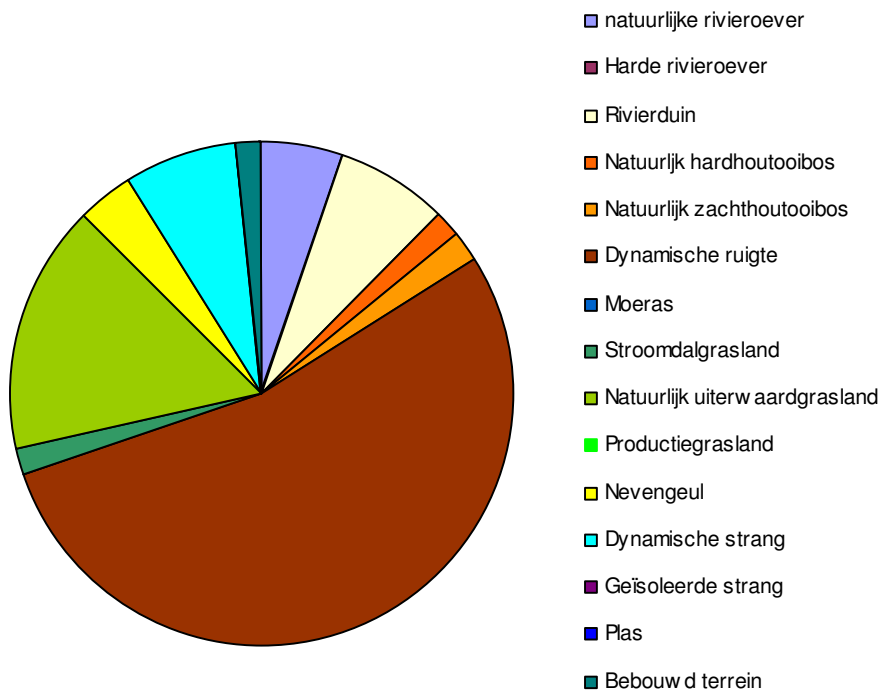
Doel van deze case is het ontwerpen en modelleren van een natuurlijk ingerichte Graafsche waard. Er worden alleen maar buitendijkse maatregelen toegepast. In deze variant wordt de Graafsche waard zoveel mogelijk conform het streefbeeld uit IVR-rapport 5, Landschapsecologie (Pedroli & Rademakers, 1995) Dit rapport definieert op basis van een referentiebeeld, afgeleid uit abiotische karakteristieken onder natuurlijke omstandigheden, en de huidige situatie een streefbeeld voor de Boven Lek. Het streefbeeld is het voor de natuur maximale resultaat de huidige situatie in acht nemend. De ecotopenverdeling van deze drie situaties is te zien in figuur B4.9 tot en met B4.11. Het ecotoop diep zomerbed is niet meegenomen in deze taartdiagrammen. In de referentie situatie en het streefbeeld is het zomerbed breder, maar dit wordt in verband met de voor de scheepvaart vereiste diepgang niet mogelijk geacht.



Figuur B4.9: huidige ecotopenverdeling Boven Lek



Figuur B4.10: referentie ecotopenverdeling Boven Lek



Figuur B4.11: streefbeeld ecotopenverdeling Boven Lek

In het streefbeeld valt het grote aandeel dynamische ruigte op. Er is weinig bos in het streefbeeld, wel veel in de referentiesituatie.

Het rapport 'Richtlijnen voor de inrichting en beheer van uiterwaarden' (Wolters et al., 2001) raadt nevengeulen langs de Boven Lek af, vanwege een gebrek aan stromingsdynamiek. Bovendien is een nevengeul in een binnenbocht onderhevig aan sterke, onzekere, morfologische veranderingen. Het open water in de uiterwaard zal dus bestaan uit aangekoppelde- of geïsoleerde strangen en plassen.

Begrazing is een natuurlijke vorm van beheer en de meest voor de hand liggende keuze. Door begrazing ontstaat er een mozaïek van ruigte en grasland. De nattere ecotopen zijn gebonden aan laaggelegen delen van de uiterwaard. Er wordt aangenomen dat bosontwikkeling alleen in de bergende delen van de uiterwaard toegestaan wordt.

Tot slot wordt de zomerkade verwijderd om in de uiterwaard meer waterstandvariatie toe te laten. Het maaiveld wordt met 2 meter verlaagd zodat het gemiddelde maaiveldniveau vlak boven de mediane rivierstand komt te liggen. Uiteraard wordt er gezorgd voor voldoende variatie in maaiveldhoogte. De camping wordt verwijderd.

Dit alternatief is geschematiseerd in SOBEK als een verandering van de uiterwaardruwheid en een uiterwaardverlaging van 2 m. Het verwijderen van de zomerkade is niet geschematiseerd. Er vinden dus alleen maar veranderingen achter de zomerkade plaats. Het inrichtingsvoorstel is te zien in figuur B4.12.

De uiterwaardverlaging is geschematiseerd zoals beschreven in paragraaf B3.4. De verandering in vegetatiestructuur wordt geschematiseerd door de uiterwaard ruwheid te veranderen. (zie paragraaf B3.6) De uiterwaardruwheid gemiddeld over de linker- en rechteroever is berekend zoals beschreven in paragraaf B3.6.

Er wordt aangenomen dat er geen bos in het stroomvoerende deel van de uiterwaard voorkomt. De overige ecotopen liggen willekeurig verspreid. 18% van de ecotopen bestaat uit grasland ($k = 0,3$ m in SOBEK), 11% bestaat uit open water ($k = 0,1$ m in SOBEK) en de resterende 71% bestaat uit ruigte en overige natuurtypen ($k = 2$ m in SOBEK).

De resulterende ruwheid voor de rechter uiterwaard, de Graafsche waard, is het gemiddelde van de ruwheid als de ecotopen parallel zouden liggen en van de ruwheid als de ecotopen in

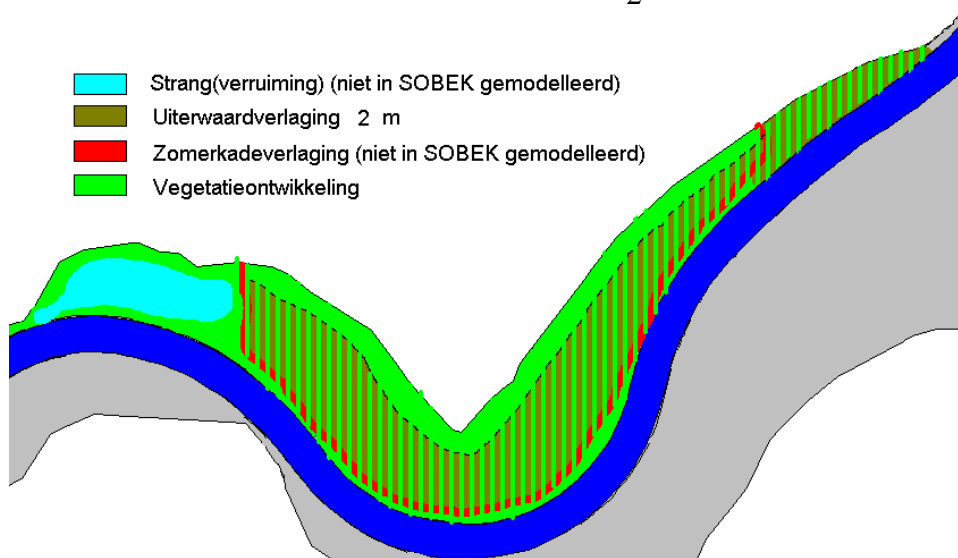
serie gesitueerd zouden zijn. Zie voor een uitgebreide beschrijving van deze methode de IVR-DSS Gebruikershandleiding en Systeemdokumentatie (Buijsrogge et al., 1996).

Parallel Nikuradse ruwheid: $k_p = 10^{(\sum p_i \log(k_i))}$, met k_p de resulterende parallel Nikuradse ruwheid, p_i het aandeel van een ecotoop en k_i de bij dat ecotoop behorende Nikuradse ruwheid.

Serie Nikuradse ruwheid: $C_s^2 = \frac{1}{\sum p_i / C_i^2}$, met C_s de resulterende serie Chezy-waarde,

p_i het aandeel van een ecotoop en C_i de bij dat ecotoop behorende Chezy-waarde. Deze C_i wordt berekend met $C_i = 18 \log(12h/k_i)$. Hierin is h de waterdiepte in de uiterwaard (gemiddelde waterstand Graafsche waard tijdens top 16.000 m³/s hoogwatergolf (5,87 m +NAP) minus de nieuwe gemiddelde bodemligging achter zomerkade (2,11 m – 2 m (afgraving) = 0,11 m +NAP). De C_s wordt nu omgerekend naar serie Nikuradse ruwheid, k_s ; $k_s = \frac{12h}{\frac{C_s}{10^{18}}}$.

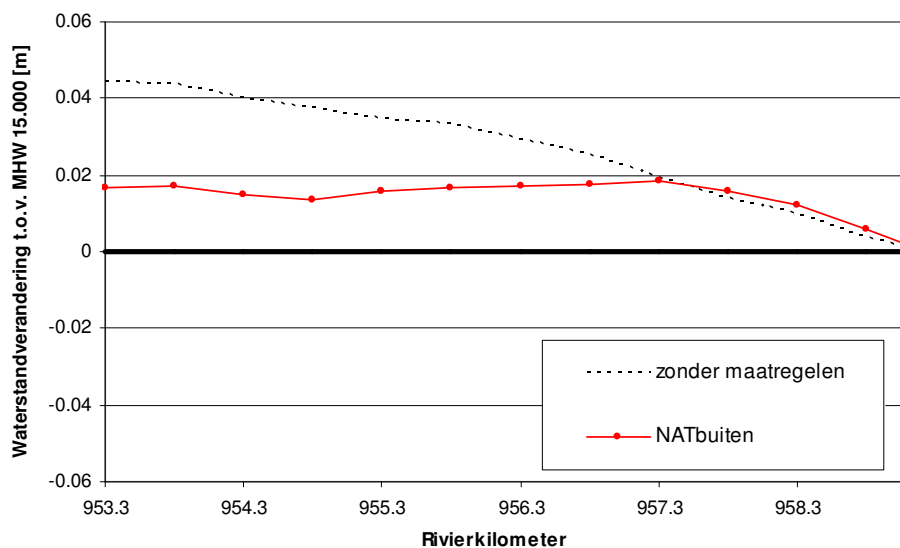
Totaal Nikuradse ruwheid: $k_{rechter_uiterwaard} = \frac{k_s + k_p}{2}$



Figuur B4.12: Inrichtingsvoorstel NATbuiten

Met de voorgestelde inrichting is de taakstelling niet te halen (figuur B4.13). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het grote aandeel ruigte. Uiteraard kunnen er ook op de linkeroever maatregelen genomen worden om alsnog de taakstelling te halen.

De taakstelling kan wel gehaald worden met alleen maatregelen in de Graafsche waard als het aandeel grasland en/of open water omhoog gebracht wordt. Het inrichtingsvoorstel gaat dan echter sterk lijken op de in het (RIZA, 2003) voorgestelde inrichtingsvoorstellen, zoals getoond in paragrafen 7.1.



Figuur B4.13: Waterstandeffect NATbuiten

B4.5 NATbinnen

In deze case wordt een inrichtingsvoorstel gedaan, dat de belangen van de natuur centraal stelt. Uitgangspunten zijn een zo groot mogelijke dijkverlegging, een 'natuurlijke ecotopenverdeling' en een 'natuurlijk beheer'.

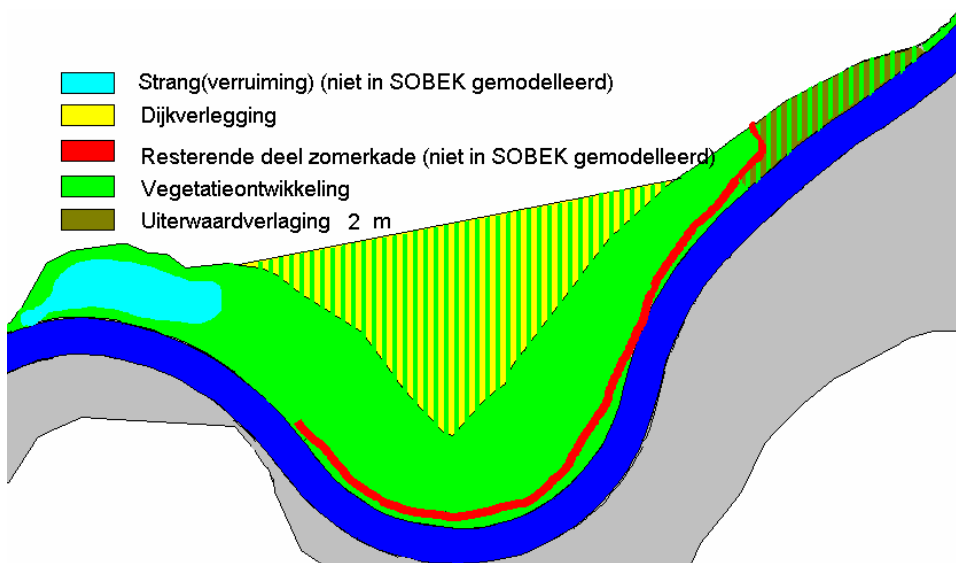
De winterdijk wordt terug gelegd naar de positie van dijkverlegging 4, bijlage B3.1. Een stuk van de winterdijk kan behouden blijven als hoogwatervluchtplaats voor de dieren in de uiterwaard. Er moeten door deze dijkverlegging 3 boerderijen uit de Graafsche waard verdwijnen. Bij een verdere teruglegging van de dijk neemt het aantal huizen/bedrijven dat moet verhuizen sterk toe. Het nieuwe buitendijkse gebied, ongeveer 100 ha behoudt het huidige maaiveldniveau, 0,6 m +NAP. De uiterwaarden worden 2 m afgegraven.

De ecotopenverdeling is een mix van het streefbeeld (figuur B4.11) en de referentiesituatie (figuur B4.10). De ecotopenverdeling is dus 'oorspronkelijker/natuurlijker' dan het streefbeeld. Het percentage bos is 25% (ref. 48%, streef. 2%). Het percentage open water is 15% (ref. 13%, streef 11%). De overige 60% is een mix van grasland (ongeveer de helft), ruigte en overige natuurtypen. In de referentiesituatie komt geen grasland voor. In veel uiterwaardplannen is grasland opgenomen. Grasland in de Graafsche waard houdt het landschap open en zorgt voor een goede inpassing in overige uiterwaardplannen. Het open water bestaat voornamelijk uit 2 strangen (één nieuwe en de strang in 't Horde wordt vergroot) en verschillende plassen.

Het beheer bestaat voornamelijk uit begrazing en eventueel vegetatiebeheer. De begrazing bepaalt voor een groot deel de ruwheid in de uiterwaard. Het vegetatiebeheer is alleen noodzakelijk als de veiligheid tegen overstromingen in gevaar komt.

De zomerkade blijft bestaan tot ongeveer rivierkilometer 957,5. Hierdoor kan de waterstand in de uiterwaard meefluctueren met de rivierstand, maar stroomt de uiterwaard alleen bij waterstanden hoger dan de top van de zomerkade mee. Dit voorkomt grote aanzanding in het zomerbed.

Door de dijkverlegging krijgt de Graafsche waard een nieuwe oppervlakte van 290 ha. Het inrichtingsontwerp 'natuur, binnendijs' is te zien in figuur B4.14. De exacte locatie van en verhouding tussen de ecotopen kan veranderen, aangezien deze sterk door begrazing bepaalt worden.



Figuur B4.14: Inrichtingsvoorstel NATbinnen

Het inrichtingsvoorstel 'natuur, binnendijks' wordt in SOBEK geschematiseerd door de oppervlakken achter de zomerkade te vergroten (uiterwaardverlaging), het dwarsprofiel breder te maken (dijkverlegging) en de uiterwaardruwheid te verhogen (verandering van vegetatie).

De uiterwaardverlaging wordt geschematiseerd zoals beschreven in paragraaf B5.2.8 met het verschil dat in de profielen 954,8 tot en met 957,8 ook de strook van 100 m langs de oude winterdijk wordt afgegraven. Het extra oppervlak achter de zomerkade is te vinden in tabel B4.4.

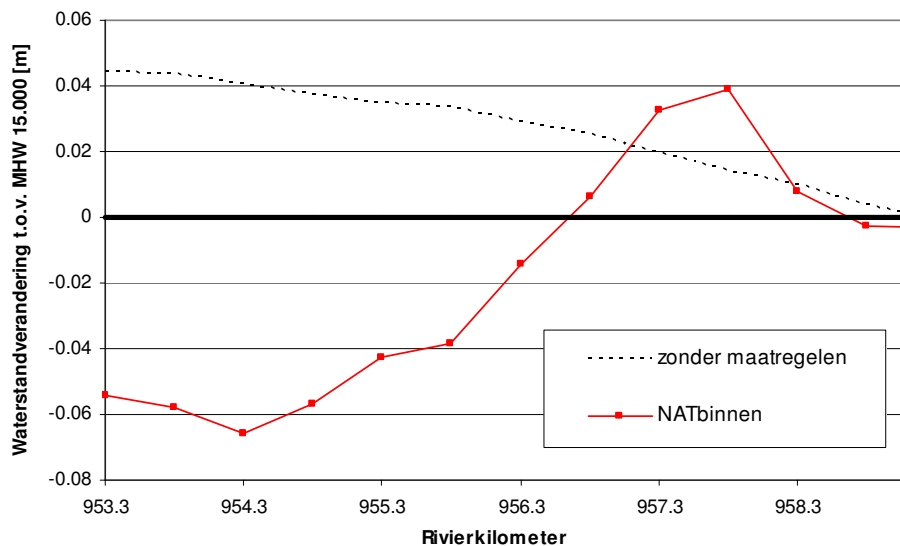
De methode voor het schematiseren van een dijkverlegging is beschreven in bijlage B3.1. Voor de dijkverlegging worden exact dezelfde waarden gebruikt als bij dijkverlegging 4. Deze zijn nogmaals te vinden in tabel B4.4. Als binnendijks maaiveldniveau is 0,6 m +NAP genomen. Hier wordt niet afgegraven. Het extra oppervlak achter de zomerkade is de extra breedte keer het verschil tussen de top van de zomerkade en het binnendijkse maaiveldniveau.

Het schematiseren van de verandering in de uiterwaardruwheid is al beschreven in bijlage B3.6. Dezelfde methode wordt ook hier toegepast. Op basis van de ecotopenverdeling; 25% bos ($k = 10$ m), 15% open water ($k = 0,1$ m), 30% grasland ($k = 0,3$ m) en 30% ruigte en overige natuurtypen ($k = 2$ m), worden k_p en k_s (tabel B4.4) bepaald. De resulterende Nikuradse ruwheid voor de rechter uiterwaard (tabel B4.4) wordt nu echter berekend met een weging van 2 delen k_p en 1 deel k_s . Dit omdat er wordt aangenomen dat de ecotopen meer dan gemiddeld parallel aan de stromingsrichting gesitueerd zijn. Dit wordt bereikt door het open water in stroken ongeveer parallel aan de stromingsrichting aan te leggen en dmv vegetatiebeheer. De ruwheid van ecotopen in de binnenbocht van een dwarsprofiel weegt zwaarder tijdens hoogwaters dan de ruwheid van ecotopen in de buitenbocht van een dwarsprofiel. Dit omdat er meer debiet door de binnenbocht van een uiterwaard stroomt. Dijkverlegging versterkt dit effect, maar deze versterking is moeilijk te kwantificeren en daarom niet meegenomen.

Het gedeeltelijk verwijderen van de zomerkade is niet geschematiseerd.

			Verla- ging	Dijkverlegging			Vegetatieontwikkeling			
Profiel	Geschat L_waard	Geschat R_waard	ΔA	Extra breedte	Nieuwe breedte	ΔA	k_p	k_s	k_{rechts}	k_{gem}
953.3	600	50			50		1,1	3,6	1,9	0,3
953.8	900	200			200		1,1	3,6	1,9	0,4
954.3	800	240			240		1,1	3,6	1,9	0,4
954.8	700	300		200	500	708	1,1	3,6	1,9	0,6
955.3	550	450		525	975	1775	1,1	3,6	1,9	0,9
955.8	600	500		750	1250	2408	1,1	3,6	1,9	1,0
956.3	200	450		925	1375	2914	1,1	3,6	1,9	1,5
956.8	150	400		875	1275	2704	1,1	3,6	1,9	1,5
957.3	50	450		750	1200	2280	1,1	3,6	1,9	1,8
957.8	50	450		375	825	1118	1,1	3,6	1,9	1,7
958.3	250	350	250		350		1,1	3,6	1,9	0,8
958.8	250	200	100		200		1,1	3,6	1,9	0,6

Tabel B4.4: invoerparameters SOBEK, natuur binnendijs



Figuur B4.15: waterstandeffect NATbinnen

In figuur B4.15 is de waterstandverandering te zien als gevolg van het inrichtingsvoorstel 'natuur binnendijs'. De hydraulische taakstelling wordt als gevolg van de dijkverlegging makkelijk gehaald. Ondanks het grotendeels behouden van de zomerkaad zal de debietverdeling (zeker bij hoge rivierafvoeren) veranderen. Waarschijnlijk heeft dit aanzanding in het zomerbed tot gevolg.

Bijlage B5: Uitwerking inrichtingsvoorstellen

In deze bijlage worden de keuzes gemaakt bij het detailleren van de inrichtingsvoorstellen HLbinnen en NATbinnen toegelicht. Daarnaast is er kort aandacht voor de schematisatie van deze inrichtingsvoorstellen in WAQUA.

B5.1 Huidig landgebruik binnendijks (HLbinnen)

De doelen van het inrichtingsvoorstel HLbinnen is het huidige landgebruik zo goed mogelijk behouden en zo goed mogelijk te voldoen aan de taakstelling, met aandacht voor eventuele veranderingen in het zomerbed. Bij het ontwerpen van het inrichtingsvoorstel HLbinnen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Niet meer waterstanddaling realiseren dan nodig om de kosten beperkt te houden.
- De uiterwaard stroomt ongeveer 1 keer per jaar mee. Dit om de sedimentatie in het zomerbed beperkt te houden.
- Maximale verruiming in 't Horde, aangezien in de eerdere berekeningen (SOBEK) duidelijk is geworden dat de taakstelling hier moeilijk te halen is.

Deze uitgangspunten worden uitgewerkt tot de volgende maatregelen:

- Een zomerkadeverlaging naar 2,2 m +NAP (riv.km. 958,5) tot 2,5 m +NAP (riv.km. 954,5). Het gewenste niveau van de zomerkade is bepaald met behulp van betrekkinglijnen (RWS dir. Oost-Nederland afd. informatie (ANIC), 1996) Dit document geeft geen informatie over de duur van het hoogwater, alleen over de frequentie van overschrijden per jaar. Er is lineair geïnterpoleerd tussen de meetpunten Hagestein Beneden (rivierkilometer 947,11, waterstand 1/jaar overschreden 3,13 m +NAP) en Jaarsveld (rivierkilometer 960,61, waterstand 1/jaar overschreden 2,06 m +NAP). Er is voor een overschrijdingsfrequentie van 1/jaar gekozen omdat de afvoer door het zomerbed dan het grootste deel van het jaar niet verandert. Er is in eerste instantie aangenomen dat de morfologische situatie dan ook nauwelijks verandert.
- Een kleine dijkverlegging (de oranje vakjes midden in figuur 5.1 worden stroomvoerend gemaakt). Naast verruiming zorgt deze dijkverlegging er ook voor dat de hoge stroomsnelheid bij 'de hoek' in de huidige situatie verlaagd wordt.
- Een uitbreiding van de strang in 't Horde. In 't Horde wordt deze verbreed tot 100 m van de bandijk. Een strang dichterbij de bandijk is niet gewenst ivm de stabiliteit van de dijk. Daarnaast wordt de strang ook verlengd de Graafsche waard in. Dit heeft tot gevolg dat de zomerkade hier zal verdwijnen en de Graafsche waard vaker inundeert. De gebruikswaarde voor de landbouw blijft dan nog boven de 60%. De afmeting van de strang is zo geschat dat de taakstelling gehaald wordt. De bodem van het nieuwe deel van de strang wordt net zo diep gelegd als het bodemniveau van de al aanwezige strang; 1 m –NAP.
- De camping wordt verlaagd Het bodemniveau wordt op 2 m +NAP gelegd (gemiddelde waarde uiterwaard). De jachthaven blijft bestaan, maar kan een ander functie krijgen.

Het inrichtingsvoorstel is in een aantal stappen geschematiseerd in WAQUA.

Allereerst is de dijkverlegging ingevoerd door de oranje vakjes in figuur 5.1 waterdoorlatend te maken. De strang en de campingverlaging zijn ingevoerd als contouren zoals beschreven in paragraaf B3.5.

Daarna zijn de randen van de contouren 'gesmooth', meer geleidelijk gemaakt. (methode: paragraaf B3.5). Bij het 'smoothen' van de strang zijn ook punten op de modelrand betrokken. Hier wordt over 4 punten ((m,n), (m-1/2,n), (m+1/2,n) en (m,n-1/2)) gemiddeld in plaats van vijf, aangezien punt (m,n+1/2) niet bestaat. Ook is het bodemniveau van de jachthaven handmatig ingevoerd. Dit bodemniveau wordt geschat op 2 m –NAP, aangezien een plezierjacht met kiel een vrij grote diepgang kan hebben. De uitstroom van de strang blijkt voor veel opstuwing te zorgen. Door de overlaten tussen strang en hoofdgeul te verwijderen is het effect hiervan op de waterstand onderzocht. Het blijkt dat een minder strakke scheiding tussen hoofdgeul en strang voor minder opstuwing zorgt. De kade tussen strang en hoofdgeul (ter hoogte van rivierkilometer 958,5 tot 959,0) wordt daarom verlaagd tot 2 m +NAP (in zowel bodem- als overlaten invoerfile).

De aanwezigheid van deze kade (met harde oever) is belangrijk om de stroming in de hoofdgeul te geleiden. Een verdere verlaging van de kade resulteert in vaker dan 1 of enkele keren per jaar meestromen en waarschijnlijk sedimentatie in de hoofdgeul. Een extra opening in de kade is geen optie om de uitstroming van de strang te vergemakkelijken, aangezien er dan een permanent meestromende nevengeul ontstaat. Dit wordt langs de Boven-Lek afgeraden (Wolters et al., 2001).

Tot slot wordt de overlatenfile aangepast. De zomerkade is verlaagd tot 2,2 m +NAP (riv.km. 958,5) a 2,5 m +NAP (riv.km. 954,5). Op sommige plaatsen ligt het maaiveld boven de gewenste zomerkadehoogte. Langs de huidige strang zijn overlaten aangelegd met een hoogte van 2,2 m +NAP (De waterstand die ongeveer eens per jaar optreedt). Het nieuw te graven deel van de strang krijgt alleen aan de buitenbocht overlaten. Hier komen namelijk kades (hoogte 2,2 m +NAP) die voorkomen dat de strang zich richting bandijk verplaatst. Langs de binnenbocht van de strang en westelijke oever worden geen overlaten geplaatst. Hier komen meer geleidelijke oevers. Flauwe oevers leveren tijdens hoogwater minder energieverlies doordat het stromingspatroon regelmatig is. Bovendien zijn flauwe oevers ecologisch waardevoller.

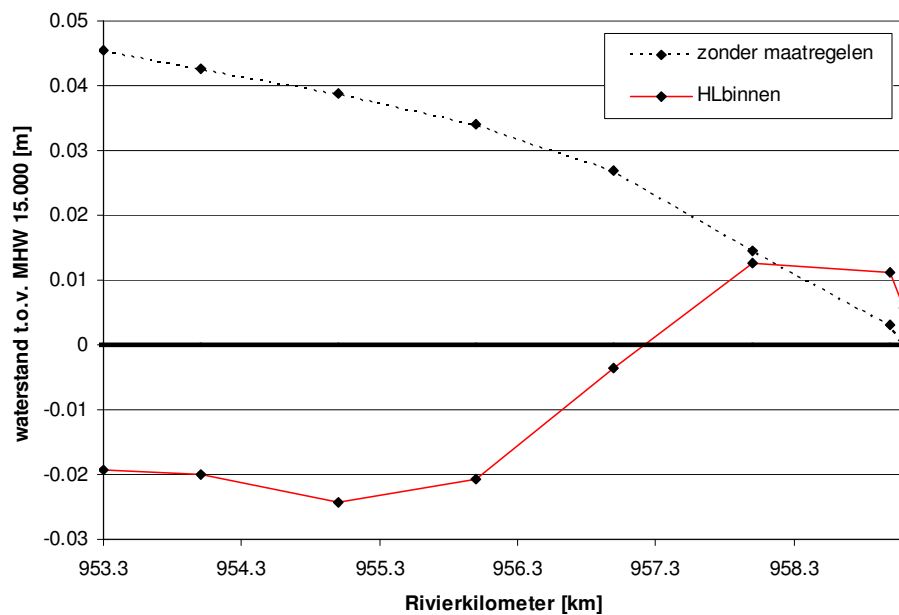
Ook langs de jachthaven zijn in WAQUA overlaten gelegd.

In figuur B5.1 is de waterstandverandering als gevolg van het inrichtingsvoorstel HLbinnen te zien.

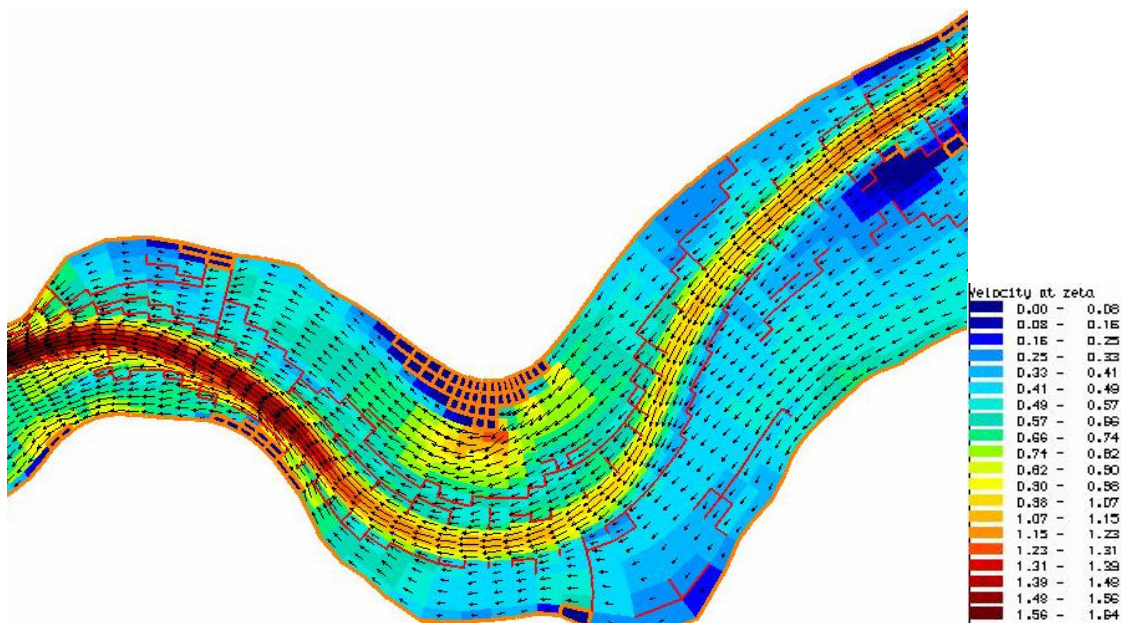
Belangrijkste conclusie is dat de taakstelling over een groot deel van het projectgebied ruim gehaald wordt. In het benedenstroomse deel ligt de waterstand ruim 1 cm boven de taakstelling. Dit lijkt alleen met maatregelen buiten het projectgebied op te vangen. Langs een groot deel van het projectgebied ligt de waterstand ongeveer 2 cm onder de taakstelling. Deze extra ruimte kan gebruikt worden om geld te besparen en de strang minder groot uit te voeren, zo blijft er bovendien meer ruimte over voor het huidige landgebruik.

Bij de strang vallen twee dingen op. Ten eerste zorgt de uitstroming van de strang ter hoogte van de benedenstroomse projectrand voor vrij veel opstuwing. Op de benedenstroomse projectrand ligt de waterstand zelfs al boven de taakstelling, iets wat theoretisch niet mag aangezien de waterstand op de benedenstroomse projectrand per definitie 0 is. Ten tweede is de opstuwing bij de uitstroming van de strang makkelijk te verkleinen. De verminderde opstuwing werkt bovendien stroomopwaarts door. Een doordachte uitstroom kan dus veel waterstanddaling opleveren.

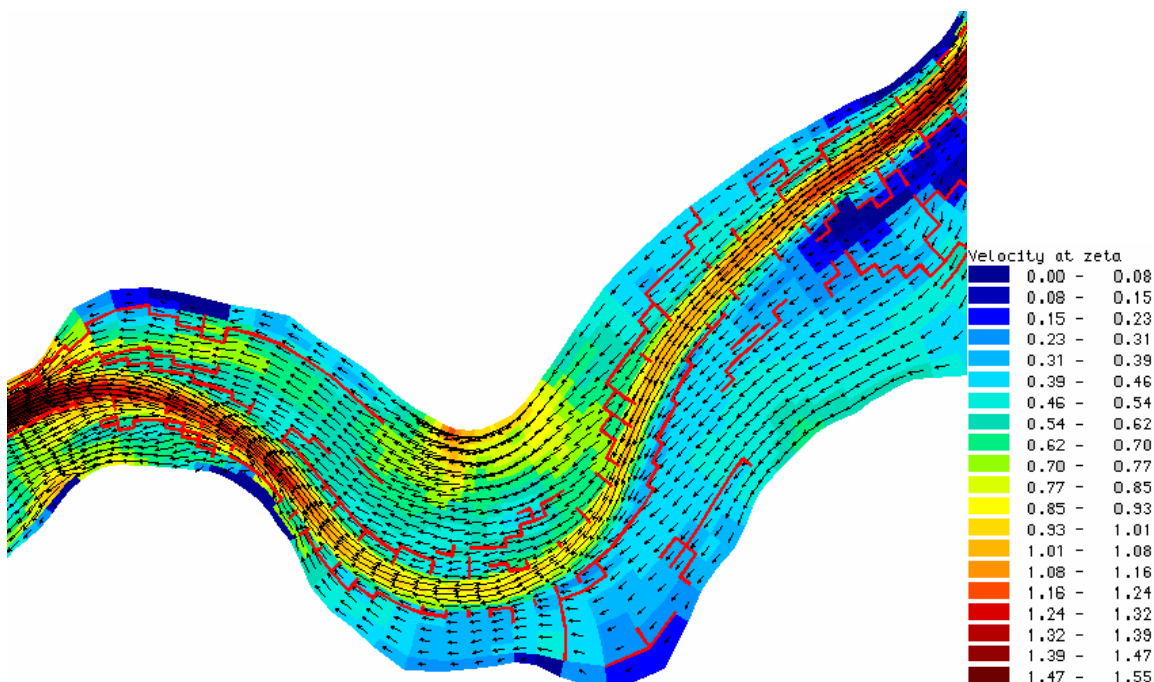
Figuur B5.2 en B5.3 geven de stroomsnelheden voor en na het inrichtingsvoorstel. Met behulp van deze figuren is het verschil in stroomsnelheid zoals gepresenteerd in hoofdstuk 8 bepaald.



Figuur B5.1: Waterstandeffect HLbinnen



Figuur B5.2: Stroomsnelheden in huidig rivierprofiel



Figuur B5.3: Stroomsnelheden in inrichtingsplan HLbinnen

B5.2 Natuurontwikkeling binnendijs (NATbinnen)

Het inrichtingsvoorstel NATbinnen is doorgerekend in WAQUA. De uitgangspunten voor dit ontwerp staan omschreven in bijlage B4.5. Hieronder staan ze nog een keer puntsgewijs opgesomd:

- Dijkverlegging 4. (bijlage B3.1);
- De ecotopenverdeling over de gehele Graafsche waard (inclusief 100 ha voorheen binnendijs gebied) is een mix van het streefbeeld en de referentiesituatie. (figuren B4.10 en B4.11) De percentages zijn: bos 25%, water is 15%, grasland 30% en ruigte/overige natuurtypen 30%. Dit is uiteraard afhankelijk van het beheer. Er wordt aangenomen dat de ecotopen redelijk 'willekeurig' over de uiterwaard verdeeld zijn. Het beheer is erop gericht om ecotopen met een hoge weerstand parallel aan de stromingsrichting te situeren;
- De zomerkade blijft bestaan tot ongeveer rivierkilometer 957,5.

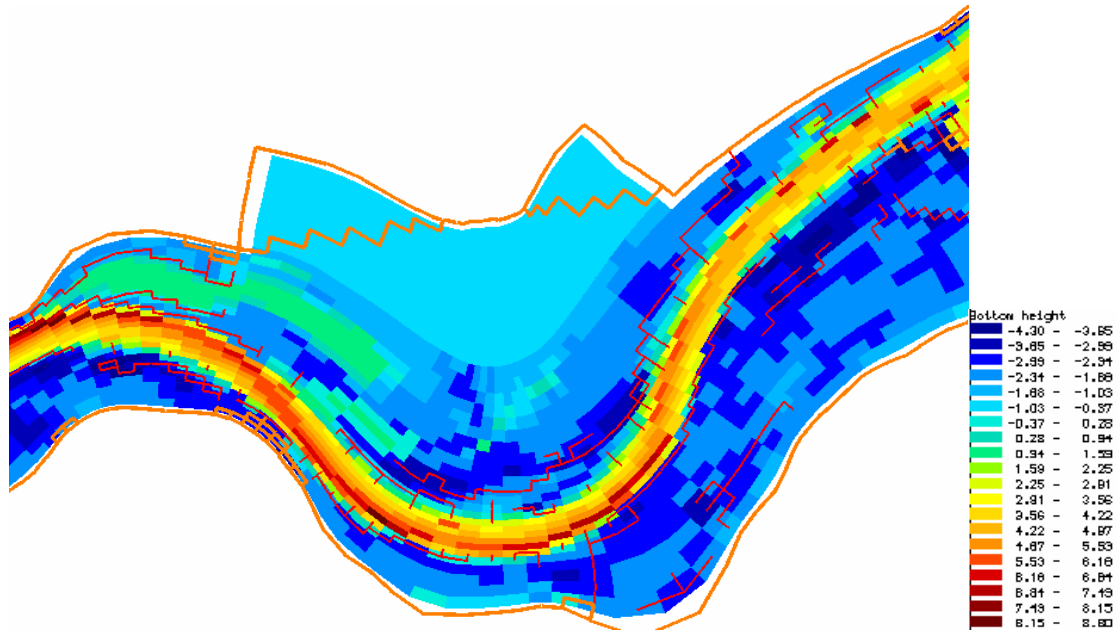
In de eerdere berekeningen (SOBEK en WAQUA) is duidelijk geworden dat de taakstelling in het Horde moeilijk te halen is. Daarom wordt de aanwezige strang verbreed en verlengd. En wordt er een nieuwe strang gegraven die ter hoogte van rivierkilometer 957 in verbinding staat met de hoofdgeul. De strangen zijn niet in de SOBEK-schematisatie opgenomen. In WAQUA kan dit wel vanwege het hogere detailniveau. De kade tussen hoofdgeul en oude strang is verlaagd tot 2 m +NAP, om de opstuwing te verminderen.

Ook in WAQUA wordt de camping verwijderd en het bodemniveau op 2 m +NAP gelegd. Verschil is echter dat vanwege het hogere detailniveau ook de jachthaven geschematiseerd kan worden. Deze blijft behouden als strang.

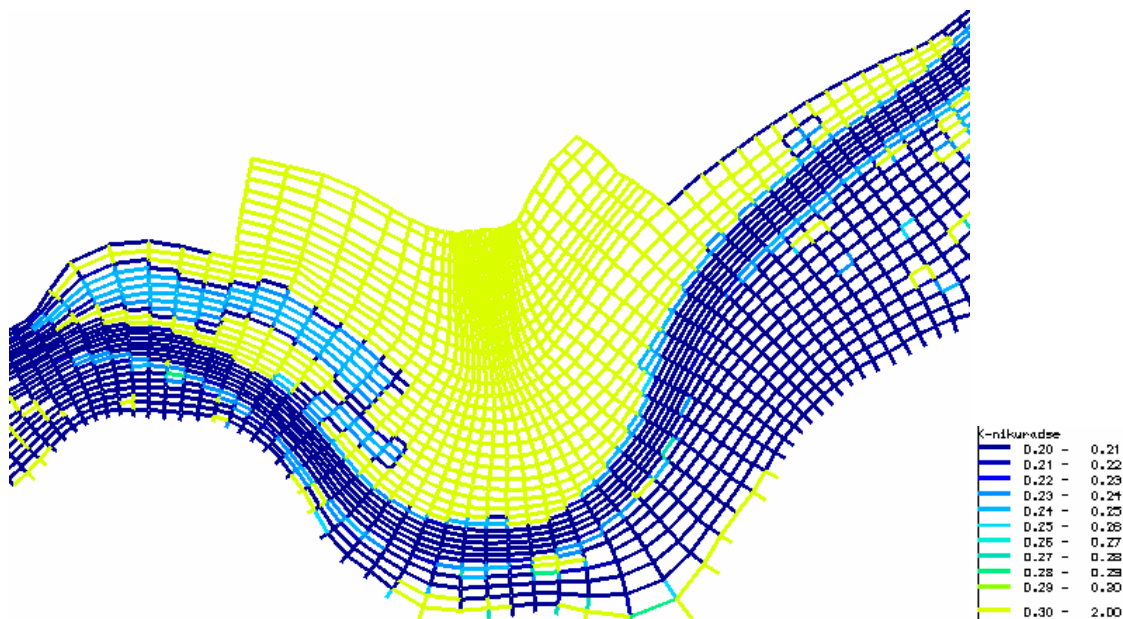
Voor de schematisatie is gebruik gemaakt van rooster 1 (bijlage B2.2.3). Het bodemniveau (figuur B5.4) is gelijk aan het bodemniveau HLbinnen (paragraaf B5.1) uitgebreid met het gebied tussen de oude en nieuwe bandijk (overal 0,6 m +NAP) en de tweede strang. De tweede strang is handmatig ingevoerd en heeft net als de eerste strang een bodemniveau van 1 m –NAP. De omliggende bodempunten liggen op 0 m +NAP. De oevers worden met flauw talud (1:50) aangelegd zodat de energieverliezen minimaal zijn. De oevers hoeven dus niet geschematiseerd te worden als overlaten.

Vervolgens zijn de ruwheden aangepast (figuur B5.5). De gehele uiterwaard krijgt een Nikuradse ruwheid, $k = 2$ m (paragraaf B4.5) met uitzondering van de strangen en de vroegere jachthaven. Deze krijgen de standaard WAQUA-waarde voor ontzanding; $k = 0,25$ m. Alle ruwheden zijn door middel van contouren ingebracht (methode: paragraaf B3.5).

Tot slot zijn de overlaten aangepast. Voor de zomerkadeverwijdering vanaf rivierkilometer 957,5 en verder stroomafwaarts zijn de betreffende overlaten verwijderd (uiteraard met uitzondering van de kribben). Ook langs de noordzijde van het nieuwe deel van de grote strang zijn de overlaten verwijderd in tegenstelling tot in het inrichtingsvoorstel HLbinnen. De oever ligt niet meer dicht langs de winterdijk zodat een erosiebestendige harde over niet nodig is. De oever wordt hier met een flauw talud aangelegd zodat water vanuit het vroegere binnendijkse gebied zonder energieverlies weg kan stromen.



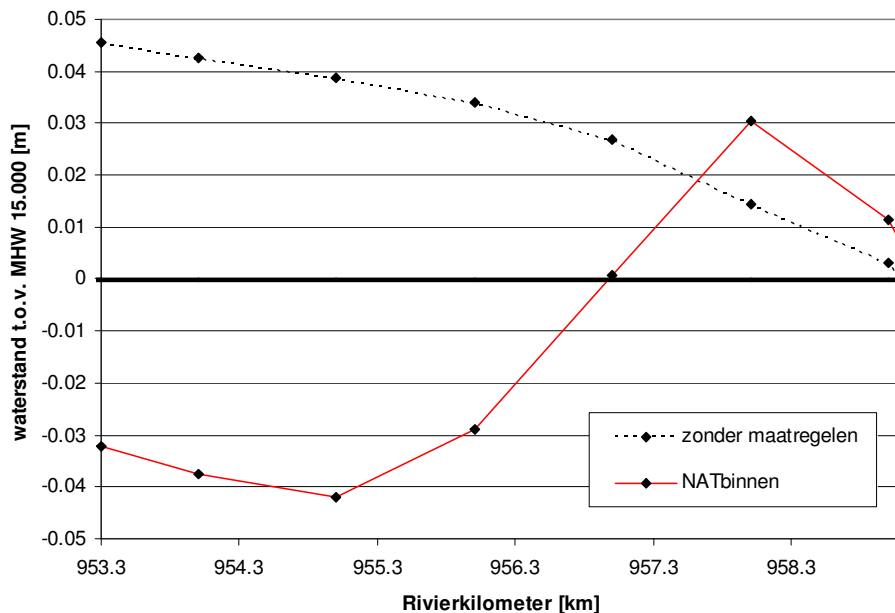
Figuur B5.4: Schematisatie N65 (bodem/overlaten/schotjes)



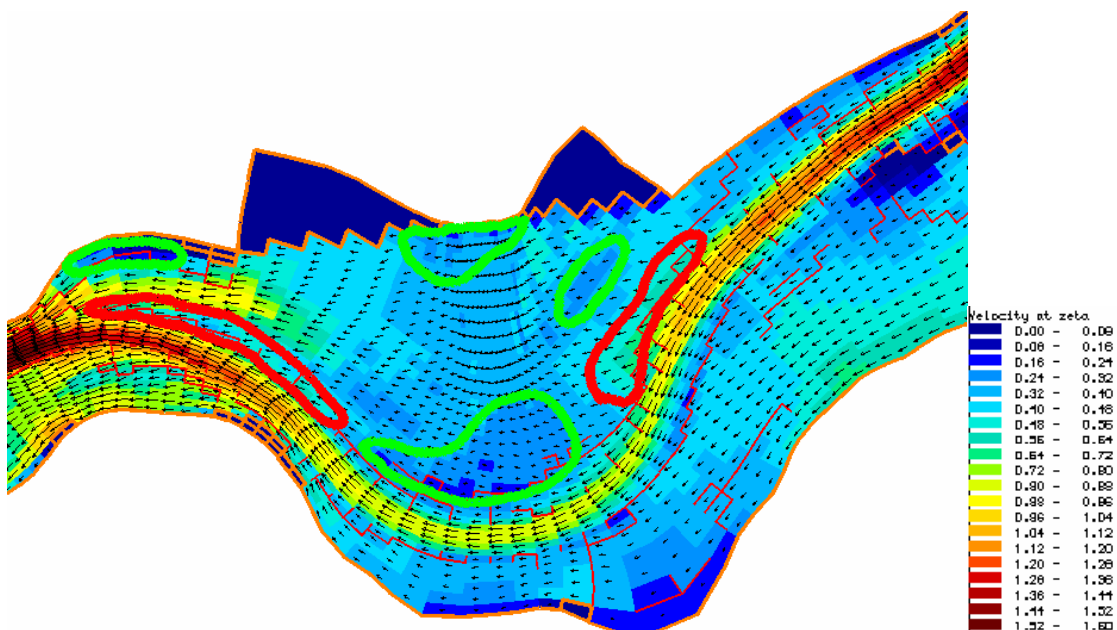
Figuur B5.5: Schematisatie N65 (ruwheden)

In figuur B5.6 zijn de waterstandveranderingen te zien als gevolg van het inrichtingsvoorstel NATbinnen. Vanaf de bovenstroomse projectrand tot ongeveer rivierkilometer 957 wordt aan de taakstelling voldaan. Er wordt meer waterstanddaling gerealiseerd dan nodig. Deze extra ruimte kan gebruikt worden voor projecten verder bovenstrooms of voor verdergaande vegetatieontwikkeling. Als wordt gekozen voor vegetatieontwikkeling is het belangrijk dat dit niet in de rood omcirkelde gebieden in figuur B5.7 gebeurt. Hier vindt namelijk de belangrijkste stroom in en uit de uiterwaard plaats. De groen omcirkelde gebieden zijn juist geschikt om de vegetatieontwikkeling vrijer te laten. Hier heeft bos het minste opstuwende effect omdat op deze locaties de stroomsnelheid laag is (en het bodemniveau vaak hoog). Eigenlijk moet deze afweging op basis van een q-kaart (bijlage B1.5.2) gemaakt worden, maar deze is van de situatie na dijkverlegging niet beschikbaar. Wel kan aangenomen worden dat de locaties met lage stroomsnelheid ook een laag specifiek debiet hebben omdat de waterdiepte hier niet veel groter is dan op andere locaties.

Vanaf rivierkilometer 957 tot de benedenstroomse projectrand wordt niet aan de taakstelling voldaan. Wel is de opstuwing kleiner dan in de SOBEK-berekening. De kadeverlaging tussen hoofdgeul en oude strang, de aanleg van een tweede strang en het vergroten van de oude strang hebben dus nut gehad. Toch is er nog steeds ongeveer 3 cm opstuwing ter hoogte van rivierkilometer 958. De oplossing hiervoor zal benedenstrooms gevonden moeten worden.

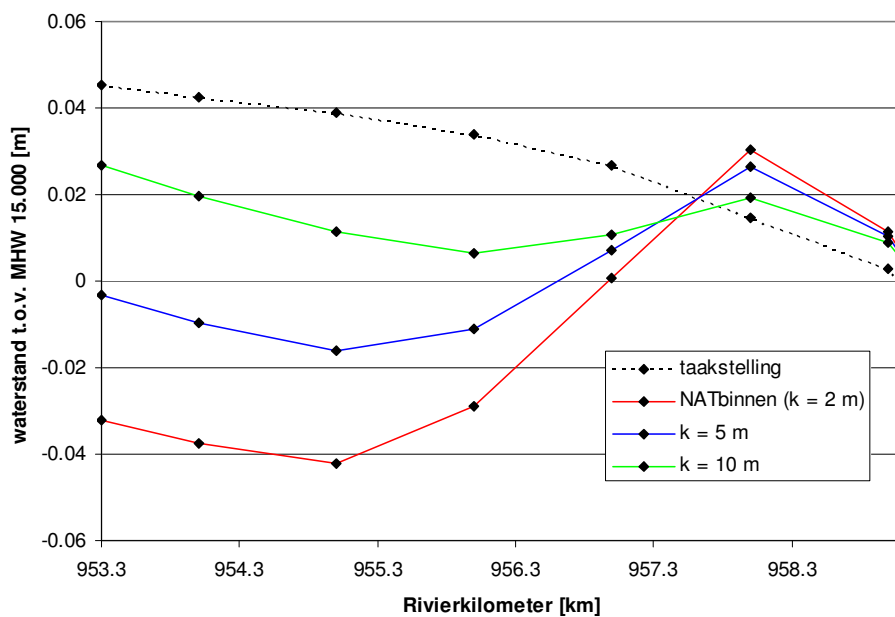


Figuur B5.6: Waterstandeffect inrichtingsvoorstel NATbinnen



Figuur B5.7: Stroomsnelheid en richting N65

Tot slot is nog kort onderzocht of meer vegetatieontwikkeling dan gepland het realiseren van de taakstelling in gevaar brengt. Als de gemiddelde nikuradse ruwheid in de gehele uiterwaard (met uitzondering van strangen) 5 m bedraagt wordt op de bovenstroomse projectrand nog aan de hydraulische taakstelling voldaan (tenzij de ecotopen zeer ongunstig verdeeld zijn). Bij een nikuradse ruwheid van $k = 10$ m (overal bos) is dit niet meer het geval.



Figuur B5.8: Waterstandeffect bij andere ruwheden

Bijlage B6: Overzicht SOBEK-berekeningen

In tabel B6.1 is een overzicht gegeven van de voor dit onderzoek uitgevoerde SOBEK-berekeningen. Berekeningen die uiteindelijk niet nuttig bleken voor het onderzoek zijn niet in de tabel vermeld. Er is wel aan de nummering in het model vastgehouden zodat in de lijst een aantal nummers ontbreken.

nummer	Naam	Randvoorwaarden	Onderwerp (hoofdstuk)
2	15.000 golf	15 golf + Q-h15	Taakstelling (5)
3	16.000 golf	16 golf + Q-h16	Taakstelling (5)
6	Verlaagd zomerbed (Graafsche waard niet)	16 golf + Q-h16	Taakstelling (5)
7	Dijkverlegging 125 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
8	Dijkverlegging 350 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
9	Dijkverlegging 650 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
10	Dijkverlegging 975 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
11	Dijkverlegging 1175 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
12	Uiterwaardverlaging 0,5 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
13	Uiterwaardverlaging 1 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
14	Uiterwaardverlaging 1,5 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
15	Uiterwaardverlaging 2 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
16	Uiterwaardverlaging 2,5 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
17	Uiterwaardruwheid $k = 0,1$	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
18	Uiterwaardruwheid $k = 0,5$	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
19	Uiterwaardruwheid $k = 1$	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
20	Uiterwaardruwheid $k = 2$	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
21	Uiterwaardruwheid $k = 10$	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
22	Kribverlaging 0,7 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
23	Kribverlaging 1,4 m	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
24	Campingverwijdering	16 golf + Q-h16	Maatregelen (6)
25	HLbuiten	16 golf + Q-h16	Inrichtingsvoorstellen (7)
26	HLbinnen	16 golf + Q-h16	Inrichtingsvoorstellen (7)
28	NATbuiten	16 golf + Q-h16	Inrichtingsvoorstellen (7)
29	NATbinnen	16 golf + Q-h16	Inrichtingsvoorstellen (7)
30	Gebiedsvisie Buitendijkse Terreinen Lek	16 golf + Q-h16	Inrichtingsvoorstellen (7)
43	15.000 stationair	15 stat + Q-h 15	Vergelijking WAQUA (B2)

Tabel B6.1: Overzicht SOBEK berekeningen

Toelichting afkortingen tabel B6.1:

- **15 golf:** Afvoergolf op de bovenstroomse modelrand met een piek van $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (figuur B2.5);
- **16 golf:** Afvoergolf op de bovenstroomse modelrand met een piek van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$;
- **Q-h 15:** Waterstand-debiet relatie op de benedenstroomse modelrand;
- **Q-h 16:** Waterstand-debiet relatie op de benedenstroomse modelrand, waarin de benedenstroomse taakstelling al gerealiseerd is.

Bijlage B7: Overzicht WAQUA-berekeningen

In tabel B7.1 is een overzicht gegeven van de voor dit onderzoek uitgevoerde WAQUA-berekeningen. Berekeningen die uiteindelijk niet nuttig bleken voor het onderzoek zijn niet in de tabel vermeld. Er is wel aan de nummering in het model vastgehouden zodat in de lijst een aantal nummers ontbreken.

nummer	Naam	Randvoorwaarden	Onderwerp (hoofdstuk)
N34	15.000 heel model	15 stat + ws15	Taakstelling (5)
N36	16.000 ingekort model	16 stat + ws16	Taakstelling (5)
N37	Zomerkade verwijderen	16 stat + ws16	Maatregelen (6)
N38	Dwarskades verwijderen	16 stat + ws16	Maatregelen (6)
N39	Zomerkade verlagen	16 stat + ws16	Maatregelen (6)
N41	Strang en ooibos zonder overlaten	16 stat + ws16	Maatregelen (6)
N42	Strang en ooibos met overlaten	16 stat + ws16	Taakstelling (5) en maatregelen (6)
N43	Strang met overlaten, zonder bos	16 stat + ws16	Maatregelen (6)
N44	Nieuwe taakstelling (met strang)	15 stat + ws15	Taakstelling (5)
N45	Dijkverlegging A	16 stat + ws16	Vergelijking SOBEK (B2)
N46	Dijkverlegging B	16 stat + ws16	Vergelijking SOBEK (B2)
N47	Dijkverlegging C	16 stat + ws16	Vergelijking SOBEK (B2)
N48	Dijkverlegging D	16 stat + ws16	Vergelijking SOBEK (B2)
N52	HLbinnen	16 stat + ws16	Inrichtingsvoorstellen (8)
N55	16.000 heel model	16 stat + ws15	Vergelijking HR2001 (1)
N60	Grid 1	16 stat + ws16	Roosteruitbreiding (B2)
N61	Grid 2	16 stat + ws16	Roosteruitbreiding (B2)
N62	Grid ortho	16 stat + ws16	Roosteruitbreiding (B2)
N63	Grid smooth	16 stat + ws16	Roosteruitbreiding (B2)
N64	Grid grof	16 stat + ws16	Roosteruitbreiding (B2)
N65	Natuur binnendijks	16 stat + ws16	Inrichtingsvoorstellen (8)
N68	als N65 (hele Graafsche waard $k = 5$)	16 stat + ws16	Inrichtingsvoorstellen (8/B5)
N69	als N65 (hele Graafsche waard $k = 10$)	16 stat + ws16	Inrichtingsvoorstellen (8/B5)

Tabel B7.1: Overzicht WAQUA berekeningen

Toelichting afkortingen tabel B7.1:

- **15 stat:** Stationaire afvoer op de bovenstroomse modelrand van 3165 m³/s (15.000 m³/s bij Lobith);
- **16 stat:** Stationaire afvoer op de bovenstroomse modelrand van 3376 m³/s (16.000 m³/s bij Lobith);
- **ws 15:** Vaste waterstand op de benedenstroomse modelrand (rivierkilometer 989);
- **ws 16:** Vaste waterstand op de benedenstroomse rand van een ingekort model (rivierkilometer 966);
- **HR2001:** Hydraulische randvoorwaarden 2001 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001);