Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

Voorspelinstrument duurzame vaarweg

Voorbereiding

Rapport

juni 2005

Q3963.00

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

Voorspelinstrument duurzame vaarweg

Voorbereiding

Erik Mosselman, Kees Sloff & Bert Jagers

Rapport

juni 2005

Inhoud

1 Inleiding ..... 1—1

1.1 Achtergrond ..... 1—1

1.2 Opdracht ..... 1—2

1.3 Organisatie ..... 1—2

2 Functionele eisen ..... 2—1

3 Fysische processen en verschijnselen ..... 3—1

3.1 Spiraalstroming ..... 3—1

3.2 Effect van bodemhellingen op sedimenttransport ..... 3—1

3.3 Vaste lagen ..... 3—1

3.4 Gegradeerd sediment ..... 3—2

3.5 Duinen en bodemruwheid ..... 3—2

3.6 Sedimentbronnen en –putten ..... 3—2

3.7 Sedimenttransport ..... 3—3

3.8 Kribben, kades en overlaten ..... 3—3

3.9 Diversen ..... 3—4

4 Rekenrooster ..... 4—1

4.1 Trapjeslijnen ..... 4—1

4.2 Ontwerp met domeindecompositie ..... 4—3

4.3 Afmetingen van rekencellen ..... 4—8

4.4 Coördinatensysteem ..... 4—9

4.5 Aanpak en begroting voor bouw van rekenrooster ..... 4—9

5 Rekentijd ..... 5—1

6 Aanpak voor bouw van grof model ..... 6—1

6.1 Inleiding ..... 6—1

6.2 Stapsgewijze aanpak ..... 6—1

6.3 Uitgangspunten en aandachtspunten ..... 6—3

7 Conclusies en aanbevelingen ..... 7—1

8 Literatuurverwijzingen ..... 8—1

Bijlage

A Presentatie workshop 8 april 2005 ..... A–1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tot eind 2012 is binnen de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat het project "Toekomstvisie Waal" in uitvoering. Dit project valt onder het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIT) en bestaat uit investeringen in uitwijkhavens, verkeersbegeleiding en vaarwegverruiming. Het doel van de vaarwegverruiming is vaarweggebruikers zekerheid te bieden ten aanzien van een 170 m brede en 2,80 m diepe vaargeul op het traject Rijnmond-Duisburg op langere termijn. Door de bodemontwikkelingen in de Rijntakken worden echter in toenemende mate knelpunten verwacht. In de komende jaren kunnen vaker ondiepten in de vaarweg optreden en kan erosie constructies in de bovenrivieren verder ondermijnen. Met ingrepen in de sedimenthuishouding of lokale stromingscondities kan dit worden voorkomen.

De benodigde vaarwegverruiming zou aanvankelijk worden gerealiseerd met bodemconstructies in de Waalbochten en baggerwerken in de vaargeul (Rijkswaterstaat, 1993). Echter, vanwege twijfel over de effectiviteit van de voorgestelde bodemconstructies (Smedes, 2005) wordt er binnen het bestaande project "Toekomstvisie Waal" een nieuw uitvoeringsprogramma uitgewerkt in een deelproject "Duurzame vaardiepte Rijndelta" (DVR). Dit nieuwe deelproject is min of meer een vervolg op het Grensproject en vervangt de deelprojecten "Bodemschermen Hulhuizen" en "Bodemschermen Haalderen". Het nieuwe deelproject richt zich niet alleen op wijzigingen ten opzichte van de voorgestelde bodemschermen, maar ook op langere termijnen en afstemming tussen grotere riviertrajecten.

Om de morfologische reacties op ingrepen te kunnen voorspellen heeft de rivierbeheerder een instrument nodig voor de voorspelling van bodemliggingen in de vaarweg op langere termijn met en zonder beheersmaatregelen. Ter voorbereiding van de ontwikkeling hiervan heeft de Directie Oost-Nederland aan Rijkswaterstaat RIZA opdracht gegeven tot een voorstudie met de vraag hoe een geschikt numeriek model voor tweedimensionale riviermorfologie kan worden gebouwd en ingezet voor het ontwerp van grootschalige en lokale maatregelen in het beheer van de vaarweg. RIZA maakt hiertoe een functioneel ontwerp. Daarbij is echter inzicht nodig in de mogelijkheden en de beperkingen van de huidige morfologische modellen alsmede inzicht in de grootte en aard van de inspanningen bij de modelbouw. Dit is de achtergrond van de opdracht van RIZA aan WL | Delft Hydraulics.

1.2 Opdracht

Rijkswaterstaat RIZA heeft WL | Delft Hydraulics opdracht verleend voor de volgende werkzaamheden:

1. Deelname aan de workshop “Voorspelinstrument duurzame vaarweg” op 8 april 2005 te Arnhem;
2. Review van het door RIZA opgestelde functioneel ontwerp en bespreking daarvan op de workshop;
3. Presentatie op de workshop van relevante mogelijkheden en beperkingen van modellen (vaststelling van kennishiaten);
4. Uitwerking van een technisch ontwerp na de workshop, waarbij “technisch ontwerp” begrepen kan worden als een uitwerking van het functioneel ontwerp dat een basis kan vormen voor de bouw van een model alsmede voor het maken van een goede raming van de voor deze bouw benodigde inspanning.

Dit rapport beschrijft zowel de relevante mogelijkheden en beperkingen van modellen als de uitwerking van het technisch ontwerp. Tevens is de tijdens de workshop gegeven presentatie als bijlage opgenomen.

De opdracht valt bij Rijkswaterstaat binnen het project VOORSTUD.MORF.2DHMOD en is daar bekend onder opdrachtnummer 8050518.

1.3 Organisatie

De opdracht is uitgevoerd door Bert Jagers, Kees Sloff en Erik Mosselman. Laatstgenoemde was tevens de projectleider. Arjan Sieben begeleidde het project vanuit Rijkswaterstaat RIZA, terwijl Roelof Smedes hierbij de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat als eindgebruiker vertegenwoordigde.

Van belang was verder de inbreng van Hendrik Havinga (Rijkswaterstaat), Emiel van Velzen (Rijkswaterstaat), Max Schropp (Rijkswaterstaat), Hermjan Barneveld (HKV), Kees Vermeer (HKV) en Nico Struiksma (Struiksma River Engineering).

2 Functionele eisen

Sieben et al (2005) specificeren de functionele eisen van het voorspelinstrument. Het gaat om een instrument waarmee het Nederlandse vaarwegbeleid afgestemd kan worden op trends en ingrepen in het traject Rijnmond-Duisburg op korte en lange termijn.

De te voorspellen karakteristieke bodemligging bestaat uit:

- Een bodemligging waarbij bodemvormen op de schaal van de waterdiepte (duinen, kribkuilen, kribvlammen) zijn uitgemiddeld. In deze bodemligging manifesteren zich het bodemlengteprofiel, bochtprofielen en bankenpatronen;
- Kleinschaliger bodemfluctuaties ten gevolge van de bodemvormen op de schaal van de waterdiepte (duinen, kribkuilen, kribvlammen).

De te voorspellen gegevens van de vaarweg bestaan uit:

- De karakteristieke vaarwegafmetingen;
- De onzekerheidsmarge in de voorspelde vaarwegafmetingen;
- Het op basis van de voorspelde vaarwegafmetingen te verwachten onderhoud.

De voorspellingen van het model dienen gebaseerd te zijn op de gebruikelijke fysisch-mathematische modellering van tweedimensionale riviermorfologie (ondiep-watervergelijkingen, sedimenttransportformule en sedimentbalans). Daarbij moet recht gedaan worden aan een variabele bodemsamenstelling, morfologische veranderingen tijdens hoogwater en een variabele bodemruwheid.

Meer details en toelichtingen worden gegeven door Sieben et al (2005).

Tijdens de workshop op 8 april 2005 is besloten om te werken aan één enkel model, met een rooster, dat gericht is op de toekomst. Er zal sprake zijn van een voortschrijdende ontwikkeling, waarbij het volledige “fijne” model over een aantal jaren (binnen 2012) beschikbaar zal komen. In het eerste kwartaal van 2006 zullen echter al een eerste gekalibreerd “grof” model en bijbehorende resultaten beschikbaar zijn. De termen “grof” en “fijn” slaan hier niet op het rekenrooster, maar op de functionaliteit (“de hoeveelheid toeters en bellen”) en de mate van kalibratie. De planning is om in het tweede en derde kwartaal van 2006 knelpunten en maatregelen met het grove model te verkennen. Deze verkenningen betreffen met name het eendimensionale profiel van de hele rivier, waarbij echter wel effecten van de uitwisseling van water met de uiterwaarden tot uitdrukking komen. De coëfficiënten voor tweedimensionale effecten moeten zo goed mogelijk worden geschat om ook in het eerste kwartaal van 2006 al een min of meer realistische tweedimensionale bodemligging te verkrijgen.

In 2007 zal de eerste versie van het fijne model worden gebouwd, gekalibreerd en toegepast. Het gaat daarbij om effectenstudies met de gangbare nauwkeurigheidseisen. Vanaf 2006 zullen ook veldproeven plaats vinden waarmee het fijne model gekalibreerd en geverifieerd kan worden.

3 Fysische processen en verschijnselen

3.1 Spiraalstroming

In het tweedimensionale dieptegemiddelde model worden de effecten van de driedimensionale spiraalstroming berekend met behulp van een op het werk van Kalkwijk & de Vriend (1980) gebaseerde parametrisatie. Deze is afgeleid voor bochten in waterlopen met een constante breedte en blijkt in de praktijk goed te voldoen voor de stroming in het zomerbed van de Rijntakken. Voor stromingen in zeer scherpe bochten en stromingen die het zomerbed in of uit lopen presteert de parametrisatie minder goed. Een alternatief is dan een volledige driedimensionale berekening, maar daarnaast wordt samen met de Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ook gewerkt aan een verbetering van de parametrisatie voor complexere stromingen (Blanckaert et al, 2003a,b,c,d, 2004).

3.2 Effect van bodemhellingen op sedimenttransport

Een belangrijke factor in de modellering van bochtprofielen en bankenpatronen is het effect van bodemhellingen op grootte en richting van het sedimenttransport. Hiervoor zijn onder meer goede ervaringen opgedaan met formules van Talmon et al (1995) en Parker & Andrews (1985). Vergeleken met de recent toegenomen kennis van duinen en gegradeerd sediment, is de kennis van bodemhellingseffecten desalniettemin beduidend achtergebleven. Sterker nog, te verwachten is dat de aanwezigheid van duinen en gegradeerd sediment de bodemhellingseffecten beïnvloedt op een manier waarvan nog nauwelijks iets bekend is. Een van de vragen is bijvoorbeeld welke Shieldsparameter in het geval van gegradeerd sediment in de formule voor het hellingseffect gebruikt moet worden: een totaalwaarde of waarden voor afzonderlijke korrelgroottefracties. Momenteel bereidt de Technische Universiteit Delft een bij STW in te dienen voorstel voor om dit nader te onderzoeken.

3.3 Vaste lagen

Het sedimenttransport over vaste, niet-erodeerbare lagen is in Delft3D geïmplementeerd volgens het concept van Struiksma (1999). Dit experimenteel geverifieerde concept beschrijft de vermindering van het sedimenttransport wanneer geen sediment uit de bodem kan worden opgenomen. Het beschrijft echter niet de door de vaste laag veroorzaakte verandering in bodemvormen en bodemruwheid die eveneens het sedimenttransport beïnvloeden (Van der Zwaard, 1974). Ook is de combinatie met gegradeerd sediment nog niet getest. Bovendien blijkt de weergave van de ontgrondingskuil en de bijbehorende aanzandingsbult aan de benedenzijde van een vaste laag problemen te geven in morfologische berekeningen met Delft3D. Enerzijds is dat ook niet verwonderlijk, omdat een goede weergave zou vragen om een fijner rooster en een driedimensionale beschrijving van lokale processen met turbulente fluctuaties van de stroming en traagheidseffecten in het sedimenttransport. Anderzijds is dat toch een belangrijke beperking, omdat het opvullen van ontgrondingskuilen bij vaste lagen een van de maatregelen is die voor het in stand houden van een duurzame vaarweg overwogen worden.

Het vaste-lagenconcept vereist formeel een kleinere rekentijdstap omdat kleine bodemstoringen zich over vaste lagen sneller voortplanten. In het Grensproject (Baur & Jagers, 2002; Baur et al, 2002) bleek het niet voldoen aan deze eis overigens toelaatbaar, omdat de vaste lagen betrekkelijk kort zijn. Boven de vaste lagen plantten zich numerieke golven voort, maar die hadden geen invloed op de gezochte uitkomsten.

3.4 Gegradeerd sediment

In de laatste zeven jaar is het inzicht ontstaan dat ruimtelijke variaties in korrelsamenstelling een belangrijke invloed hebben op bochtprofielen en bankenpatronen in het zomerbed (Struiksma, 1998; Mosselman & Sloff, 1998; Mosselman et al, 1999, 2003). Een goede voorspelkwaliteit vereist dat de ruimtelijke variaties in korrelsamenstelling niet als constanten worden ingevoerd, maar worden berekend op basis van procesbeschrijvingen voor het transport van gegradeerd sediment. De huidige functionaliteit van Delft3D op dit terrein is gebaseerd op het klassieke lagenmodel van Hirano (1972), waarbij de tijdschaal van aanpassingen sterk afhangt van de aangenomen laagdikte. Momenteel wordt tevens gewerkt aan het inbouwen van Blom's nieuwe continuümmodel (Blom, 2003; Blom et al, 2003), dat meer recht doet aan de onderliggende fysische processen maar ook meer rekentijd vergt. Beide modellen worden in Delft3D gehandhaafd. De ervaring zal moeten uitwijzen welk model het meest geschikt is voor het voorspelinstrument. De Universiteit Twente heeft verder het voornemen om in het kader van Delft Cluster verschijnselen van partieel transport van gegradeerd sediment nader te onderzoeken.

3.5 Duinen en bodemruwheid

Naast ruimtelijke variaties in korrelsamenstelling hebben ruimtelijke variaties in bodemruwheid evengoed een belangrijke invloed op bochtprofielen en bankenpatronen in het zomerbed. Een goede voorspelkwaliteit vereist hier dat de ruimtelijke verdeling van de bodemruwheid wordt berekend met een alluviale ruwheidsvoorspeller. In het nieuwe *Sediment On-line* systeem van Delft3D is inmiddels de duinhoogte- en ruwheidsvoorspeller "Van Rijn Najaar 2004" ingebouwd. Daarmee staat de structuur van de software klaar om ook andere voorspellers te implementeren, zoals bijvoorbeeld Sieben's empirische bodemvormmodel met gewijzigde sedimentmassabalans (Sieben 2004a,b). Overigens is de reeds geïmplementeerde voorspeller van Van Rijn nog niet toegepast voor het voorspellen van duinhoogtes en nog niet voldoende getest. De Universiteit Twente heeft op dit terrein een groot onderzoeksprogramma onder de naam "*Rough water*". De Technische Universiteit Delft heeft het voornemen om in het kader van Delft Cluster onderzoek naar de vorming van duinen en bodemruwheid uit te voeren, waarbij het accent ligt op traagheidseffecten in het sedimenttransport en gedetailleerde hydrodynamica die recht doet aan turbulente fluctuaties.

3.6 Sedimentbronnen en –putten

Baggeren en storten kunnen in Delft3D gesimuleerd worden dankzij functionaliteit voor sedimentbronnen en –putten. De in het verleden wel gebruikte methode waarbij een "contractbodem" kan worden opgegeven moet echter nog worden overgezet naar de laatste versie van Delft3D om te kunnen worden toegepast in combinatie met domeindecompositie.

Deze functionaliteiten betreffen alleen het effect van baggeren en storten op de gemiddelde bodemligging, niet het effect op de kleinschaliger bodemfluctuaties (duinen, kribkuilen, kribvlammen).

Voor geleidelijke bodemdalingen door tektoniek of mijnzakkingen zal nog een methode bedacht moeten worden, omdat het sediment hierbij onttrokken wordt uit de diepe ondergrond in plaats van uit de bovenlaag van de bedding. Bovendien zijn deze bodemdalingen per tijdseenheid mogelijkerwijs zo gering dat ze binnen de numerieke onnauwkeurigheid van het model vallen. Ook dat zou een aanpassing van de code van Delft3D noodzakelijk kunnen maken.

3.7 Sedimenttransport

Delft3D kent verscheidene bodemtransportformules en totaaltransportformules die uitdrukken dat het sedimenttransport overal steeds gelijk is aan de lokale transportcapaciteit van de stroming. Typische voorbeelden zijn de formules van Meyer-Peter & Müller (1948) en Engelund & Hansen (1967). Daarnaast biedt Delft3D de mogelijkheid om zwevend sedimenttransport te berekenen met een advectie-diffusievergelijking die recht doet aan de naijling van het werkelijke transport ten opzichte van de transportcapaciteit. Al deze transportformuleringen werken goed voor de simulatie van grootschaliger morfologische ontwikkelingen in het zomerbed. Voor kleinschalige vormen in het zomerbed, zoals ontgrondingskuilen en kribvlammen, schieten de formuleringen tekort omdat ze geen rekening houden met turbulente fluctuaties van de stroming en over korte afstanden werkzame naijlingen van het sedimenttransport. De kennis van sedimenttransport in kribvakken (Yossef & de Vriend, 2004) en door begroeiing op het winterbed (Baptist, 2005) staat nog helemaal in de kinderschoenen.

3.8 Kribben, kades en overlaten

Kribben, kades en andere lijnelementen kunnen in het model als lokale modificaties van de bodemruwheid worden geschematiseerd of, bij een voldoende fijn rooster, als overlaten. Het DVR-voorspelinstrument zal een schematisatie met overlaten gebruiken. Overigens kent de weergave van het effect van deze overlaten op de stroming nog steeds onzekerheden in tweedimensionale modellen als WAQUA en Delft3D, onder meer door beperkte kennis van de stroming over overlaten met een scheve aanstroming. Op een fijn rooster worden de taluds van kleine dijkjes en wegen bovendien vertaald in twee parallelle overlaatjes, hetgeen de waterbeweging bij deze dijkjes waarschijnlijk niet goed beschrijft.

Delft3D biedt, in tegenstelling tot WAQUA, geen mogelijkheden om schuin over het rooster lopende overlaten te definiëren, maar uit eerdere simulaties voor de Rijntakken is gebleken dat dit geen merkbare gevolgen heeft voor het stroombeeld en de morfologie.

Van het transport van sediment over kribben, kades en overlaten is nog veel minder bekend dan van de waterbeweging. Studies in het laatste decennium hebben weliswaar het inzicht verdiept, maar nog niet geleid tot een goede algemene procesbeschrijving (Mosselman, 1998; Lauchlan, 2001, 2004).

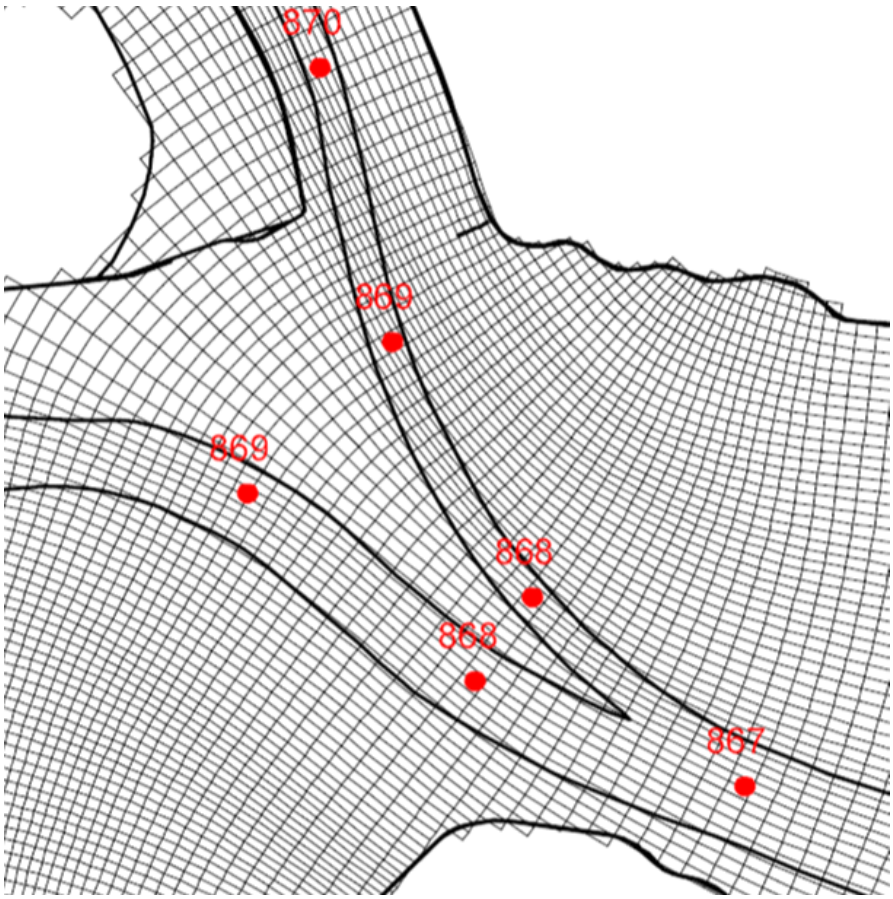
3.9 Diversen

Beperkte of ontbrekende functionaliteit van Delft3D ten aanzien van oevererosie en ijs worden in het kader van DVR niet van belang geacht. Een grote onbekende is verder nog de invloed van scheepvaart op sedimenttransport, ontwikkeling van bodemvormen en functioneren van rivierwaterbouwkundige constructies. Het is gebruikelijk om deze invloed te zien als een bijdrage die bij de ijking wordt verdisconteerd in empirische coëfficiënten voor stromingsweerstand en sedimenttransport. Deze zienswijze verdient echter heroverweging in het licht van de gewenste nauwkeurigheid en hoge mate van detail van het uiteindelijk beoogde fijne model. In het kader van doelfinancieringsonderzoek vindt al onderzoek plaats naar de stroming onder schepen en het effect van deze stroming op bodemmateriaal (Verheij et al, 2004).

4 Rekenrooster

4.1 Trapjeslijnen

De modellering richt zich op de morfologische ontwikkeling van het zomerbed en van de vaarweg daarbinnen in het bijzonder. Het zomerbed dient daarom zo goed mogelijk in het model gerepresenteerd te worden. Eerdere studies met Delft3D-MOR hebben uitgewezen dat het in dit kader belangrijk is dat de roosterlijnen de normaallijnen langs het zomerbed volgen om onnauwkeurigheden en onnodige verstoringen in het morfologisch gedrag te voorkomen. Wanneer roosterlijnen de normaallijnen snijden, ontstaan plaatselijk in het rooster trapjeslijnen die numerieke oscillaties genereren. Deze oscillaties plaatsen zich geleidelijk stroomafwaarts voort en kunnen de oplossing ernstig verstoren. In het recent opgeleverde kromlijnige WAQUA-rooster treden deze trapjeslijnen in ieder geval op ter plaatse van diverse bochten en de splitsingspunten. Het WAQUA-rooster voor de Pannerdensche Kop in Figuur 4.1 laat duidelijk zien hoe roosterlijnen het zomerbed in- en uittreden.



Figuur 4.1 WAQUA-rekenrooster ter plaatse van de Pannerdensche Kop met roosterlijnen die niet de belijning van het zomerbed volgen.

Dat roosterlijnen samenvallen met de belijning van het zomerbed is met name van belang voor locaties waar een gestrekte oever het zomerbed begrenst, zoals bijvoorbeeld net benedenstrooms van de splitsingspunten het geval is. Omdat de huidige WAQUA-roosters niet aan deze eis voldoen, kunnen die roosters niet gebruikt worden als basis voor het nieuwe morfologische model.

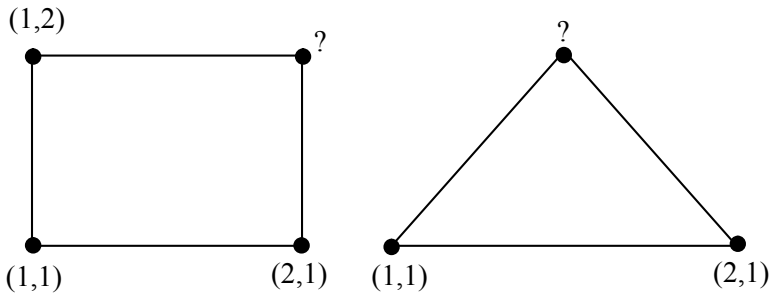
Overigens is een trapjeslijn langs de bandijken aan de rand van het winterbed een minder groot probleem. Hiervoor zijn de volgende redenen aan te geven:

1. De bandijken liggen veelal verder weg van het interessegebied waardoor de bijbehorende onnauwkeurigheden minder effect hebben op de zomerbedmorfologie;
2. De stroomsnelheden zijn langs de bandijken veel lager dan in en rond het zomerbed en zullen er dus tot minder grote verstoringen leiden;
3. Voor het morfologisch gedrag van het zomerbed is de verdeling van een hoogwaterafvoer over zomer- en winterbed belangrijker dan de exacte stroming in de uiterwaarden;
4. Het winterbed kent toch al meer onnauwkeurigheden van vergelijkbare orde door onvermijdelijke schematisatiefouten in ruwheden en uiterwaardgeometrie. Schematisatiefouten in uiterwaardgeometrie ontstaan bijvoorbeeld bij het weergeven van overlaten en nevengeulen die in werkelijkheid niet met roosterlijnen samenvallen.

Met *cut-cell*-technieken kan het verstorende effect van trapjeslijnen geminimaliseerd worden. Dat geldt echter alleen voor trapjeslijnen langs de rand van het rekendomein, niet voor trapjeslijnen langs interne randen. Deze technieken zijn dus alleen zinvol toe te passen langs de bandijken, waar de trapjeslijnen juist geen groot probleem vormen. *Cut-cell*-technieken worden hier daarom niet aanbevolen. De desbetreffende functionaliteit is op dit moment ook nog niet beschikbaar in de standaardversie van Delft3D.

De problematiek van de trapjeslijnen volgt in feite uit de eis dat het rooster orthogonaal moet zijn. Niet-orthogonale roosters zijn in principe mogelijk wanneer men de vergelijkingen van het model daarvoor transformeert. Dit is echter voor de vergelijkingen in Delft3D niet uitgevoerd. Bovendien versterkt niet-orthogonaliteit zelfs bij goed getransformeerde vergelijkingen de numerieke afbreekfouten die het gevolg zijn van tekortkomingen in de gladheid van het rooster (Mosselman, 1991).

Ongestructureerde roosters bieden een andere weg om aan de orthogonaliteitseis en de problematiek van trapjeslijnen te ontkomen. Het verschil met gestructureerde roosters laat zich toelichten aan de hand van Figuur 4.2. In twee dimensies zijn gestructureerde roosters opgebouwd uit vierhoeken en ongestructureerde roosters uit willekeurige veelhoeken, meestal driehoeken. De vierhoek links leidt tot een eenduidige nummering waarbij twee naastgelegen roosterpunten altijd één rangnummer gemeenschappelijk hebben en één rangnummer waarvan de waarde onderling 1 verschilt. Het met een vraagteken aangegeven roosterpunt kan dan alleen de rangnummers (2, 2) hebben. Dankzij deze eenduidige nummering noemt men het linker rooster "*gestructureerd*". Dit is niet mogelijk in de driehoek rechts. Geredeneerd vanuit punt (1, 1) zou het met een vraagteken aangegeven roosterpunt de rangnummers (1, 2) of (2, 1) kunnen hebben, geredeneerd vanuit punt (2, 1) de rangnummers (1, 1), (3, 1) of (2, 2). Omdat de twee redeneringen geen eenduidige rangnummers opleveren noemt men het rechter rooster "*ongestructureerd*". Deze verschillen beïnvloeden de numerieke oplossingsmethode.



Figuur 4.2 Rekencellen en rangnummers van roosterpunten bij gestructureerde (links) en ongestructureerde roosters (rechts).

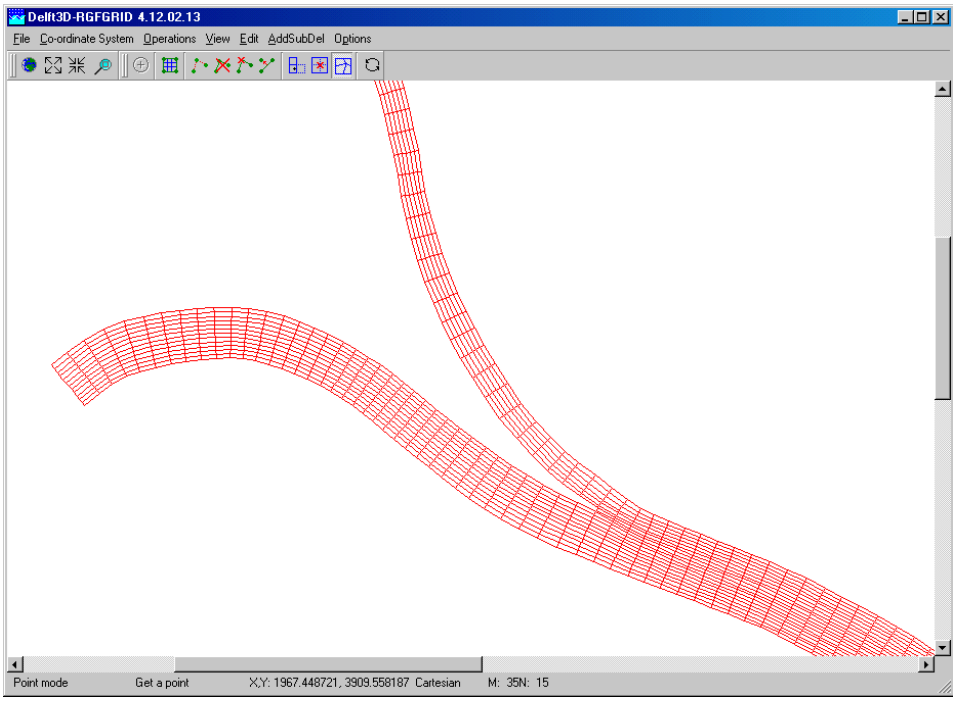
Hoewel ongestructureerde roosters tot langere rekentijden leiden, hebben ze dermate grote voordelen dat Delft3D hiervoor naar verwachting binnen 5 à 10 jaar geschikt gemaakt zal worden. De bestaande functionaliteit met gestructureerde roosters zal daarbij overigens gehandhaafd blijven. WL heeft het voornemen om nog in de loop van 2005 de eerste ervaringen met het rekenen op ongestructureerde roosters op te doen.

4.2 Ontwerp met domeindecompositie

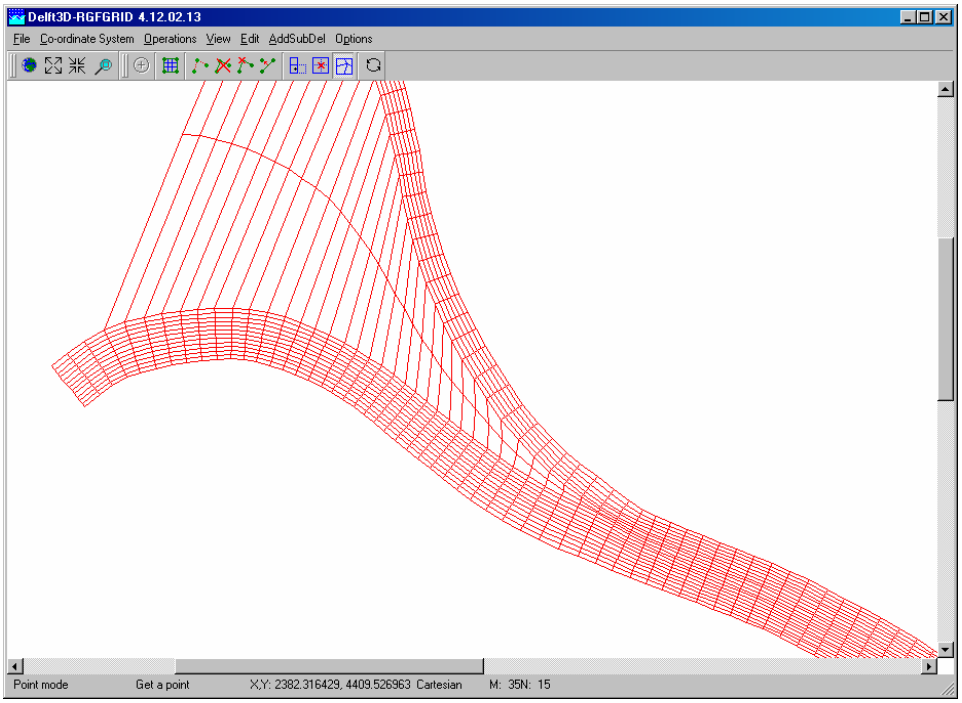
De restrictie om geen trapjeslijnen langs het zomerbed toe te staan levert de nodige complicaties op bij de bouw van het model. Er valt niet aan deze eis te voldoen wanneer het hele model in één enkel gestructureerd rooster moet passen. Daarom wordt een aanpak aanbevolen met meerdere losse roosters en derhalve domeindecompositie. Deze mogelijkheid is niet in het oude Delft3D-MOR beschikbaar, maar in principe wel in het nieuwe *Sediment On-line* systeem van Delft3D, waarin de morfologie op tijdstapbasis gekoppeld is aan de hydrodynamische module Delft3D-FLOW. Ook in het geval van domeindecompositie is het maken van een goed rooster niet triviaal. Problemen en mogelijke oplossingen worden hieronder toegelicht aan de hand van een aantal principeschetsen van roosters voor de Pannerdensche Kop waar de Boven-Rijn zich splitst in Waal en Pannerdensch Kanaal.

Figuur 4.3 toont een bestaand rooster voor het splitsingspunt. Dit model omvat alleen het zomerbed van de riviertakken. Toevoeging van de uiterwaarden langs de Boven-Rijn, aan de linkerzijde van de Waal en aan de rechterzijde van het Pannerdensch Kanaal vormt geen probleem en wordt hier verder buiten beschouwing gelaten. De problemen ontstaan wanneer de door Waal en Pannerdensch Kanaal ingesloten uiterwaard gemodelleerd dient te worden. Zolang dit binnen één enkel rooster moet gebeuren, is er slechts ruimte voor één extra roosterlijn die zowel met de Waal als met het Pannerdensch Kanaal verbonden wordt. Figuur 4.4 geeft dit weer.

Dit is geen werkzame situatie, maar verfijning van het rooster in de uiterwaard heeft tot gevolg dat meer roosterlijnen het zomerbed van de Boven-Rijn in lopen, hetgeen ook niet acceptabel is. Dit is weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.3 Bestaand Delft3D-rekenrooster van het gebied van de Pannerdensche Kop.

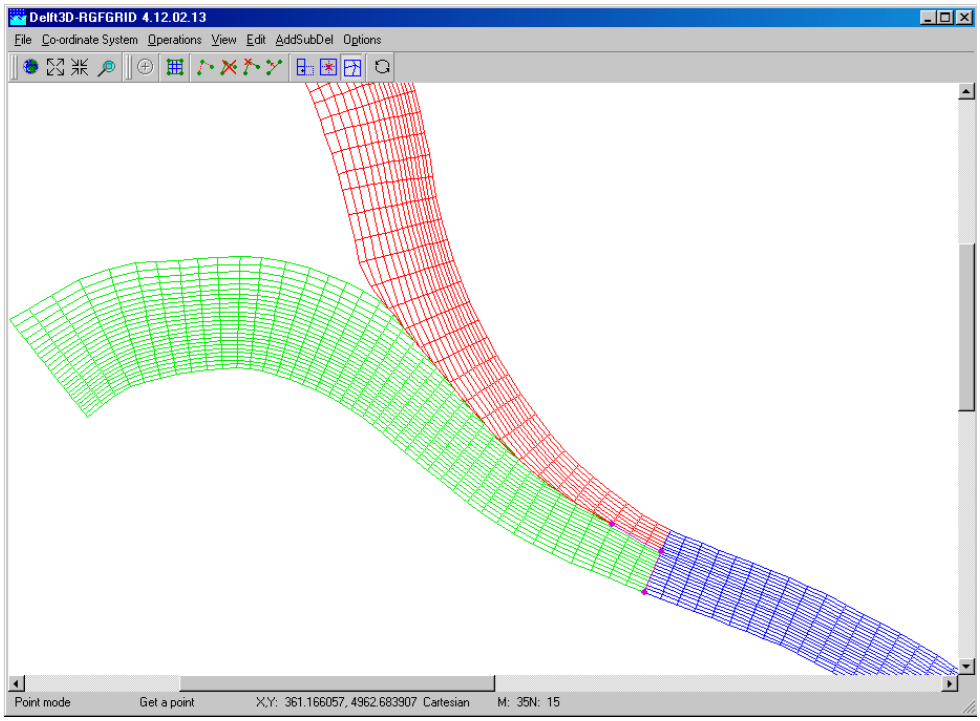


Figuur 4.4 Rekenrooster van het gebied van de Pannerdensche Kop met slechts één roosterlijn in de door Waal en Pannerdensch Kanaal ingesloten uiterwaard.

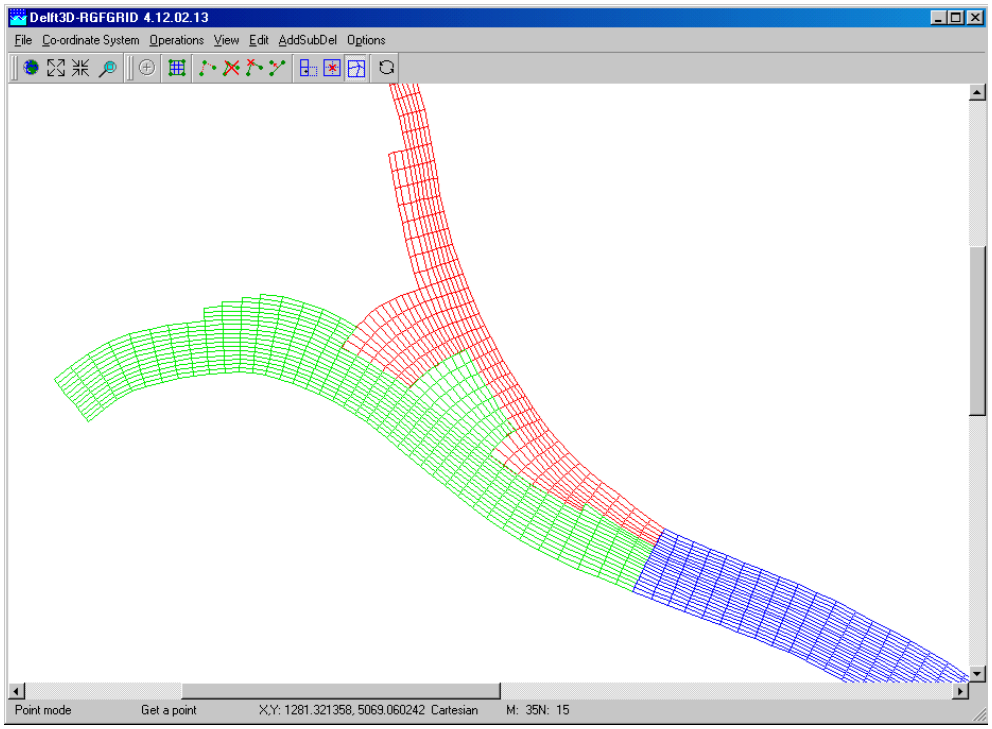
Het verdient echter aanbeveling om bij het genereren van dit rooster rekening te houden met een latere overstap op een aanpak volgens Figuur 4.9. Dit houdt in dat de roostercelafmetingen in langsrichting in beide takken gelijk moeten zijn.

Figuur 4.6 Opdeling van het rekenrooster voor de Pannerdensche Kop in drie subdomeinen.

Figuur 4.7 Rekenrooster voor de Pannerdensche Kop met overlap en trapjeslijnen in de door Waal en Pannerdensch Kanaal ingesloten uiterwaard.



Figuur 4.8 Rekenrooster voor de Pannerdensche Kop met toepassing van *cut-cell*-technieken.



Figuur 4.9 Rekenrooster voor de Pannerdensche Kop opgebouwd uit twee in elkaar hakende roosters.

Gezien de driehoekige vorm van de door Waal en Pannerdensch Kanaal ingesloten uiterwaard zou daar in de toekomst ook een ongestructureerd rooster belegd kunnen worden. Dat behoort voorlopig echter niet tot de mogelijkheden.

4.3 Afmetingen van rekencellen

Aangezien de verschillende Rijntakken niet allemaal even breed zijn, ligt het voor de hand om voor iedere tak een ander aantal roosterlijnen per dwarsprofiel toe te staan bij gebruik van een zelfde absoluut criterium voor de nauwkeurigheid. In Paragraaf 4.2 is hieraan nog geen aandacht besteed omdat daar werd uitgegaan van het bestaande Delft3D-rekenrooster in Figuur 4.3.

Voor het zomerbed gelden de volgende roostereisen:

1. Een onnauwkeurigheid van 10 m in de bepaling van de begrenzing van de vaarbaan vergt minstens een resolutie van 20 m in dwarsrichting. Voor lineaire of cosinusvormige dwarsprofielen zou met een iets grovere resolutie volstaan kunnen worden, maar een dergelijke resolutie is noodzakelijk voor een realistische weergave van lokale ingrepen en constructies zoals baggeren, vaste lagen en kribben. Het rooster van het Grensproject (Baur & Jagers, 2002; Baur & al, 2002) was wat grover, maar de recentere roosters voor de Waal bij Nijmegen (Sloff & Jagers, 2005) en benedenstrooms van Nijmegen (Sloff, 2004) zijn even fijn of zelfs fijner. Rekentechnisch is het meest efficiënt wanneer de roostercellen enigszins langgerekt zijn in stroomrichting. Omdat de langsafmetingen ook weer niet teveel van de dwarsafmetingen moeten verschillen, wordt voor de rekencellen een maximale lengte-breedteverhouding van 4 nagestreefd. Bij een resolutie van 20 m in dwarsrichting hoort derhalve een discretisatie met roostercellen van maximaal 80 m in langsrichting.
2. Een goede reproductie van het dwarsprofiel vergt minimaal 6 roosterlijnen in het zomerbed.
3. Om kribmaatregelen te kunnen weergeven, dienen kribvakken met minimaal 1 à 2 roostercellen geschematiseerd te worden.
4. De resolutie van het rooster moet voldoende zijn om naijlingen in de aanpassing aan veranderende omstandigheden goed te kunnen weergeven. Tabel 4.1 geeft enkele karakteristieke aanpassingslengen voor deze naijlingen, tezamen met de uit deze aanpassingslengten afgeleide interactieparameter die een voorname rol speelt in de theorie van Struiksma et al (1985). De naijlingen komen goed tot hun recht wanneer de aanpassingslengten minstens 5 roostercellen lang zijn (vgl. Baur & Mosselman, 2002). Een roostercellengte van 60 m biedt dus in alle takken voldoende resolutie voor de waterbeweging. De cellengte is voor morfologische aanpassingen geschikt in de Waal, maar aan de krappe kant in de Boven-Rijn en onvoldoende in de IJssel. Aangezien de studie zich echter met name op de Waal en de Boven-Rijn richt, vormt het tekortschieten in de IJssel geen probleem. Bovendien heeft de ijking van een morfologisch model van de Boven-IJssel met een cellengte van 50 m toch tot bevredigende resultaten geleid (Sloff & Baur, 2003).

Alle roostereisen voor het zomerbed in overweging nemend, wordt een rooster aanbevolen met een resolutie van 60 m in langsrichting en 15 à 20 m in dwarsrichting, afhankelijk van de beschouwde riviertak.

Tabel 4.1 Aanpassingslengten voor waterbeweging en morfologie in de Rijntakken.

Riviertak	Aanpassingslengte (m)		Interactie-parameter (-)	Bron
	2D waterbeweging	2D morfologie		
Boven-Rijn	1000 – 1500	150 – 250	0,1 – 0,25	Baur & Jagers, 2002
Waal	400 – 1000	400 – 600	0,4 – 1	Sloff & Jagers, 2005
Boven-IJssel	300 – 500	40 – 80	0,1 – 0,3	Sloff & Baur, 2003

In principe kan het rooster in een eerste fase ook grover zijn zolang alleen het globale eendimensionale gedrag beschouwd wordt. Dit levert voor de eerste berekeningen een winst in rekentijd, maar vergroot later de inspanningen en de bijbehorende doorlooptijd. Zijn de afmetingen van de grovere roostercellen precies het dubbele van die van de cellen in het fijne rooster, dan zijn de extra inspanningen voor een latere roosterverfijning betrekkelijk gering. Toch blijven controles en handmatige aanpassingen daarbij noodzakelijk, zodat de verfijning niet met een eenvoudige druk op de knop gerealiseerd kan worden. De tussenstap via een grover rooster wordt hier niet aanbevolen.

4.4 Coördinatensysteem

Omdat het modelgebied zich uitstrekt van de Rijnmond in Nederland tot Duisburg in Duitsland, zijn er in principe vier kandidaten voor het te gebruiken coördinatensysteem:

1. Rijksdriehoekcoördinaten, die in Nederland gebruikelijk zijn;
2. Gauss-Krügercoördinaten, die in Duitsland gebruikelijk zijn en ook in het Grensproject zijn toegepast;
3. UTM-coördinaten (Universal Transverse Mercator), een internationaal gangbaar “lokaal” coördinatensysteem;
4. WGS84- coördinaten (World Geodetic System 1984), een “globaal” coördinatensysteem gebaseerd op lengte- en breedtegraden.

Aangeraden wordt om het model op te zetten op basis van Rijksdriehoekcoördinaten, omdat dat goed aansluit bij de bestaande Baseline-bestanden en WAQUA-modellen. Het is te zijner tijd nog altijd mogelijk om het coördinatensysteem te wijzigen in een van de andere systemen.

Het gebruik van Rijksdriehoekcoördinaten vereist dat de gegevens van het te modelleren gebied in Duitsland met de nodige zorg geconverteerd worden van Gauss-Krügercoördinaten naar Rijksdriehoekcoördinaten. Evenzo dienen de Duitse hoogteliggingen geconverteerd te worden van Normal-Null naar NAP.

4.5 Aanpak en begroting voor bouw van rekenrooster

De kwaliteit van het rekenrooster wordt niet alleen bepaald door het al of niet voorkomen van trapjeslijnen langs de normaallijnen van het zomerbed, maar ook door de mate waarin het rekenrooster voldoet aan eisen ten aanzien van gladheid en orthogonaliteit.

Slechts voor een deel van de Waal is op dit moment een rekenrooster beschikbaar dat goed aan al deze eisen voldoet. Het is daarom noodzakelijk om een nieuw rekenrooster te maken.

De bouw van het rekenrooster verloopt in de volgende stappen:

1. Keuze van ***bovenstroomse en benedenstroomse randen***;
2. Bouw van een ***zomerbedrooster*** langs de normaallijnen die in Baseline zijn gedefinieerd;
3. Bouw van een ***winterbedrooster*** vanuit het nieuwe zomerbedrooster.

Deze stappen worden hieronder nader uitgewerkt.

Bij de keuze van ***bovenstroomse en benedenstroomse randen*** geldt enerzijds de overweging om het model uit oogpunt van rekentijd zo klein mogelijk te houden en anderzijds de overweging dat storingen vanuit de randen moeten kunnen worden opgevangen zonder het interessegebied te beïnvloeden. Aangenomen wordt dat de bovenrand even bovenstrooms van Duisburg (km 780) wordt gelegd en dat de benedenranden worden gelegd bij Gorinchem (km 953), Driel (km 891) en Doesburg (km 903). De totale lengte van het model bedraagt dan circa 220 km. Verder wordt ervan uitgegaan dat het rekenrooster zal worden opgesplitst in subdomeinen die kunnen worden toegepast in de aanpak met domeindecompositie in Delft3D. Speciale aandacht verdient de aansluiting van de deelroosters ter plaatse van de splitsingen. Daarbij moeten in ieder geval alle lijnen van het grofste rooster doorlopen in het fijnere rooster om een goede doorgifte van rekengrootheden mogelijk te maken.

Het ***zomerbedrooster*** wordt gedefinieerd langs de Baseline-normaallijnen, waarbij wordt gezorgd voor een voldoende geleidelijk verloop. De rekencellen zijn gemiddeld 60 m lang en 15 à 20 m breed. Dit houdt in dat er in het zomerbed gemiddeld 16 cellen in dwarsrichting zijn en dat het totale aantal rekenpunten ongeveer 180.000 bedraagt, waarvan circa 60.000 in het zomerbed.

Het ***winterbedrooster*** ontstaat door uitbreiding van het zomerbedrooster naar kribvakken, oevers en het winterbed. De volgende punten verdienen hierbij speciale aandacht:

1. Vermijding van sterke gradiënten in celgrootte bij de overgang van smalle zomerbedcellen op brede winterbedcellen;
2. Zekerstelling van een zone langs de normaallijn waar met één of meer roostercellen de oever- en kribbenzone wordt geschematiseerd;
3. Minimalisering van het orthogonaliteitsverlies. Op basis van het bestaande WAQUA-rooster wordt geschat dat voldaan kan worden aan de gebruikelijke orthogonaliteitseis dat roosterhoeken minder dan circa 5° van rechte hoeken mogen afwijken.

Trapjeslijnen langs de bandijken aan de buitenzijde van het rooster zijn niet zo bezwaarlijk als interne trapjeslijnen langs de begrenzingen van het zomerbed. Het is dus mogelijk om de bandijken deels met roosterlijnen en deels met trapjeslijnen te volgen.

Tijdens de workshop van 8 april 2005 is besproken dat het van groot belang is om het rooster zo snel mogelijk gereed te maken. Rekening houdend met de beschikbaarheid van mensen en de benodigde tijd voor gegevensaanlevering en overleg, bedraagt een reële schatting van de doorlooptijd twee maanden. Tabel 4.2 specificeert deze schatting nader.

Tabel 4.2 Begroting van activiteiten voor de bouw van het rekenrooster.

Activiteit	**Doorlooptijd (weken)**
Zomerbedrooster	3
Uitbreiding naar winterbedrooster	3
Koppelingen, analyse, overleg, rapportage	3
Totaal	**9**

5 Rekentijd

Als de roostercellen gemiddeld 60 m lang zijn, wordt 220 km rivier bedekt door circa 3600 cellen in langsrichting. Met 50 roostercellen over de breedte zal het totale aantal roostercellen derhalve 3600 × 50 = 180.000 bedragen. Dat is hetzelfde aantal als dat van een recent tweedimensionaal kustmodel voor een project bij Dubai in de Verenigde Arabische Emiraten. De rekentijd bedroeg daar 70 uur voor 113.000 tijdstappen van een simulatie van de waterbeweging met een te advecteren grootheid. Veronderstellend dat voor het DVR-model dezelfde tijdstap van 6 seconden gehanteerd kan worden als in het bestaande Waalmodel, kan in 70 uur (3 dagen) een periode van 113.000 × 6 s / (3600 s/h × 24 h/dag) = 8 dagen prototypetijd worden doorgerekend. Deze eerste schatting lijkt echter nodeloos somber, want de ervaringen met het Waalmodel leiden tot een veel gunstiger schatting van de rekentijd. Wel toont de ervaring met het model voor Dubai dat het aantal rekenpunten geen belemmering vormt voor de geheugencapaciteit.

Met het uit 42.000 roostercellen bestaande Waalmodel werden slechts 42.500 tijdstappen voor de waterbeweging berekend in een simulatie van de morfologische ontwikkeling over een periode van 5 jaar. De morfologische simulatie duurde 18 uur. Tevoren waren echter wel 140.000 tijdstappen gebruikt om bij 1400 verschillende afvoerniveaus stabiele initiële stromingsvelden te verkrijgen. Hiervoor had Delft3D-MOR ongeveer 26 uur nodig. Omrekening naar het DVR-model met 180.000 roostercellen en de bij het model voor Dubai genoemde 113.000 tijdstappen geeft een rekentijd van 26 uur × (180.000/42.000) × (113.000/140.000) = 90 uur. Dat dit 20 uur meer is dan de 70 uur voor Dubai komt door de onderverdeling van de berekeningen in 1400 afzonderlijke waterbewegingssimulaties van elk 100 tijdstappen en mogelijk ook door extra iteratieslagen in situaties rond droogvallen.

Aangezien Delft3D-MOR ongeveer 26 uur nodig had om 140.000 tijdstappen voor de waterbeweging door te rekenen, duurt de berekening van 42.500 tijdstappen voor de waterbeweging in de simulatie van 5 jaar morfologische ontwikkeling met het Waalmodel naar schatting 26 uur × (42.500/140.000) = 8 uur. De verhouding tussen de totale morfologische simulatieduur en de hydraulische simulatieduur bedraagt blijkbaar 18/8 = 2,3. Dit geeft voor de 42.500 tijdstappen van 5 jaar morfologische simulatie met het DVR-model een geschatte rekentijd van 2,3 × 26 uur × (180.000/42.000) × (42.500/140.000) = 75 uur, ofwel 3 dagen, uitgaande van slechts één processor en voldoende geheugen. Dit lijkt een acceptabele rekentijd.

Bij de uit de ervaringen met het Waalmodel afgeleide gunstige schatting van de rekentijd dienen echter de volgende kanttekeningen gemaakt te worden:

1. Het DVR-model zal niet op Delft3D-MOR maar op Delft3D-FLOW met *Sediment Online* gebaseerd worden. Hiervoor moet de efficiënte quasi-stationaire aanpak van de waterbeweging nog uitgewerkt worden, inclusief de bij het Waalmodel toegepaste optimalisatie door berekende stromingsvelden op te slaan en waar nodig later weer aan te roepen (“database-methode”). Het effect hiervan op de rekentijd is nog niet vast te stellen;

2. Snellere processoren en de inzet van meerdere parallelle processoren kunnen het rekenwerk versnellen. Het gebruik van een enkele *multi-processor* machine onder Windows of Linux heeft daarbij de voorkeur boven de thans meer gangbare Linux-cluster met gedistribueerde architectuur, bestaande uit meerdere gekoppelde *single-processor* machines. Recente IT-ontwikkelingen wijzen op een toename van de *multi-processor* machines;
3. De schattingen op basis van ervaringen met het Waalmodel betreffen uniform sediment op basis van totaaltransportformuleringen. Het simuleren van meerdere fracties gegradeerd sediment voegt naar verwachting slechts een beperkte hoeveelheid extra rekentijd toe. Fracties zwevend sediment zijn op zich eenvoudig toe te voegen, maar vergen waarschijnlijk meer waterbewegingstijdstappen voor een correcte afhandeling van hun naijlend gedrag. Daardoor kan de rekentijd aanzienlijk oplopen.

Met slechts één processor lijkt op dit moment het grove DVR-model op basis van totaaltransportformuleringen geschikt voor simulaties van periodes in de orde van 10 jaar. Veel langere periodes lijken op dit moment niet praktisch met de gekozen aanpak en resolutie. Met meerdere parallelle processoren lijkt sneller rekenen mogelijk, maar er is nog onvoldoende ervaring om de te behalen tijdwinst goed te schatten.

Hoewel behaalde resultaten geen garantie geven voor de toekomst, biedt de in de afgelopen 30 jaar gebleken geldigheid van de Wet van Moore een aanvullend perspectief. Deze wet stelt dat de rekenkracht van computers elke 18 maanden verdubbelt. Dit betekent dat een berekening die in 2005 haalbaar is voor een simulatieduur van 10 jaar, in 2008 haalbaar zal zijn voor een simulatieduur van 40 jaar.

6 Aanpak voor bouw van grof model

6.1 Inleiding

Eind 2005 of begin 2006 zal een eerste draaiend “grof” model met bijbehorende resultaten beschikbaar moeten zijn. De term “grof” slaat daarbij niet op het rooster, maar op de functionaliteit en de mate van kalibratie. Dit model is bedoeld voor studie naar het morfologisch gedrag op hoofdlijnen, waarbij het met name gaat om een diagnose van historische trends en om prognoses van grootschalige morfologische veranderingen die het eendimensionale gedrag van de rivier weerspiegelen. Voor het grove model kan worden volstaan met de op dit moment in Delft3D beschikbare functionaliteit voor waterbeweging en morfologie. Belangrijk is dat daarbij vooralsnog uniform sediment gekozen wordt, of een mengsel van een zeer beperkt aantal fracties gegradeerd sediment.

6.2 Stapsgewijze aanpak

Na de in Paragraaf 4.5 besproken bouw van het rekenrooster volgen de schematisatie en de kalibratie. Daarbij wordt eerst de waterbeweging behandeld en vervolgens de morfologie.

Hydraulische schematisatie en kalibratie

Voor de waterbeweging verlopen de werkzaamheden in de volgende stappen:

1. Hydraulische schematisatie op basis van een actuele uit Baseline gegenereerde WAQUA-schematisatie, waarbij per domein bodemligging, ruwheid en kades en overlaten op het voorgestelde rekenrooster worden geprojecteerd.
2. Definitie van randvoorwaarden voor hydraulische ijking. Het gaat hierbij om afvoeren en waterstanden.
3. Hydraulische ijking, eerst per afzonderlijk domein en vervolgens voor het gekoppelde model. Een onderdeel van de ijking is de keuze van het type ruwheden, met name voor het zomerbed, waarbij ongewenste sprongen in ruwheid moeten worden voorkomen. Dergelijke sprongen leiden immers tot sterke gradiënten in het sedimenttransport. De Chézy-waarde is bij voorkeur relatief uniform in dwarsrichting. Dit hangt samen met de keuze van een in dwarsrichting constante sedimentkorreldiameter bij de morfologische schematisatie.
4. Bij de hydraulische ijking wordt onder meer de uitwisseling van water tussen zomer- en winterbed afgeregeld aan de hand van resultaten uit WAQUA-berekeningen. Gestreefd wordt naar automatisering van deze afregeling. Daarbij verdient de consistentie tussen berekeningen met WAQUA en Delft3D nog aandacht, want hoogwaterberekeningen met WAQUA worden afgeregeld met de zomerbedruwheid terwijl het voorspelinstrument veeleer vraagt om een afregeling met de winterbedruwheid.

Morfologische schematisatie en kalibratie

Voor de morfologie verlopen de schematisatie en de kalibratie als volgt:

1. Schematisatie van de ondergrond van het zomerbed. Hierbij worden de sediment-samenstellingen van de toplaag en de eventuele onderlagen vastgesteld. Voor het grove model is in eerste instantie een in langsrichting geleidelijk variërende en in dwarsrichting constante korreldiameter voldoende. Later zal op basis van zeefkrommen van het bodemmateriaal een beginconditie voor de ondergrond in het fijne model worden vastgesteld.
2. Schematisatie van de vaste, niet-erodeerbare lagen in het model. Hiertoe behoren naast de vaste lagen in het zomerbed ook het gehele winterbed, de oevers en de kribvakken.
3. Definitie van hydraulische en morfologische randvoorwaarden voor morfologische berekeningen. De hydraulische randvoorwaarden betreffen afvoeren op instroomranden en waterstanden op uitstroomranden. De morfologische randvoorwaarden betreffen de bodemligging of het sedimenttransport op de instroomrand als functie van de tijd. Wanneer wordt gerekend met gegradeerd sediment, komt er ook voor de bodemsamenstelling nog een voorwaarde op de instroomrand als functie van de tijd.
4. Definitie van de tijdhuishouding. Dit betreft de keuze van tijdstappen en de morfologische factor.
5. Optimalisatie van het rekenwerk door middel van de “database-methode”. Hierbij worden resultaten van een aantal ingespeelde waterbewegingssimulaties opgeslagen in een database waaruit waarden tijdens de berekening weer opgeroepen kunnen worden. Deze waarden worden gebruikt als startcondities voor de waterbeweging na elke afvoerwijziging tijdens een langdurige quasi-stationaire morfologische berekening. De voorziene toepassing van domeindecompositie leidt ertoe dat de bestaande Matlab *scripts* voor dit doel niet meer te gebruiken zijn. Er zal dus een *upgrade* nodig zijn waarbij mogelijk dergelijke procedures rechtstreeks in het Delft3D-systeem worden ingebouwd.
6. Definitie van historisch baggerwerk voor morfologische ijking. Het gaat daarbij om hoeveelheden, de exacte locaties en de eventuele terugstort. Omdat van historisch baggerwerk slechts beperkte gegevens beschikbaar zijn, valt te verwachten dat het baggerwerk slechts als een zeer ruwe benadering in het model kan worden geïntroduceerd, op een wijze die te vergelijken is met die van de Rijntakkensimulaties met SOBEK. Suppleties kunnen op dezelfde wijze als baggerwerk gesimuleerd worden.
7. Schematisatie van buitenaf opgelegde geleidelijke bodemdalingen door tektoniek of mijnzakkingen voor het bestuderen van historische en toekomstige trends. Er zal nog een methode bedacht moeten worden om dergelijke bodemdalingen in Delft3D weer te geven. Mogelijkerwijs zijn deze bodemdalingen per tijdseenheid zo gering dat ze binnen de numerieke onnauwkeurigheid van het model vallen. Misschien is daarom zelfs een aanpassing van de code van Delft3D noodzakelijk.
8. Morfologische kalibratie. Deze richt zich eerst op de grootschalige morfologische veranderingen en de jaarlijkse sedimenttransporten, waarbij de sedimenttransportformule, de bodemsamenstelling en eventueel de bodemruwheid gevarieerd worden. Voor bodemdwarshellingen wordt in dit stadium een grove schatting van de parameters voor de invloedsfactoren gebruikt. Vervolgens *zoomt* de ijking in op de breedtegemiddelde bodemligging op kleinere schaal, waarna tenslotte een slag gemaakt wordt om het tweedimensionale gedrag ruw af te regelen. Deze procedure is vergelijkbaar met de aanpak die bij het Grensproject is gevolgd (Baur & Jagers, 2002).

6.3 Uitgangspunten en aandachtspunten

Belangrijke uitgangspunten en aandachtspunten bij het opzetten van het morfologische model zijn:

1. Voor het grove model zal gebruik gemaakt worden van de aanpak met uniform sediment in Delft3D. De initiële bodemsamenstelling en de uit WAQUA afgeleide bodemruwheid zijn daarbij bij voorkeur constant in dwarsrichting. Wel worden in langsrichting variaties van korreldiameter en bodemruwheid geïntroduceerd. Deze spelen ook een rol bij de eerste ijking op grootschalige morfologische veranderingen, waarbij vooral de weergave van de "autonome" bodemdaling van belang is. De uiteindelijke korreldiameter van het sediment moet in het model overeenstemmen met de karakteristieke gemeten bodemsamenstelling, rekening houdend met de bandbreedte en gebruikmakend van metingen van meerdere jaren.
2. Zoals gebruikelijk in eerdere tweedimensionale morfologische modellen van delen van de Rijntakken wordt gerekend met een aanpak op basis van totaaltransport. Hierbij wordt het bodemtransport en het zwevende transport van bodemmateriaal berekend met een transportformule die uitdrukt dat het sedimenttransport zich instantaan aanpast aan de lokale hydraulische omstandigheden. Deze aanpak voldoet goed voor het grootschalige morfologische gedrag waarop het model wordt afgeregeld. Hij wordt voor meer gedetailleerde berekeningen van de Rijntakken echter minder nauwkeurig wanneer de roostercellen beduidend kleiner zijn dan 100 m, omdat naijling van het sedimenttransport dan een rol gaat spelen (Baur & Mosselman, 2002). Wellicht zal de voor het grove model gehanteerde aanpak op basis van totaaltransport later in het fijne model verlaten moeten worden. In het nieuwe *Sediment On-line* systeem van Delft3D is overigens de overstap naar een aanpak met naijleffecten een peulenschil.
3. De keuze van een geschikte sedimenttransportformule vraagt nog de nodige zorg. De Boven-Rijn en de Niederrhein vergen een formule met een drempelwaarde voor het begin van beweging, zoals de formule van Meyer-Peter en Müller (1948). In deze takken is overwegend sprake van bodemtransport. In benedenstroomse trajecten van onder andere de Waal geeft de formule van Meyer-Peter en Müller daarentegen geen goede resultaten en voldoet een totaaltransportformule zonder drempelwaarde, zoals de formule van Engelund & Hansen (1967), aanzienlijk beter. In Delft3D moet voor het gehele model, met alle domeinen, een zelfde transportformule met dezelfde bijbehorende coëfficiënten gehanteerd worden. Sieben (1998) heeft een gegeneraliseerde formule samengesteld die stroomopwaarts de formule van Meyer-Peter en Müller benadert en stroomafwaarts de formule van Engelund & Hansen. Een nadeel is echter dat de formule van Sieben meer afregelparameters heeft, terwijl uit een vergelijking met metingen niet blijkt dat de formule beter presteert dan de andere formules (Sloff & Mosselman, 1998). Nu een model van het gehele riviersysteem tussen de Rijnmond en Duisburg gemaakt wordt, verdient de toepassing van formules als die van Sieben desalniettemin een heroverweging.
4. De vaste lagen bij Nijmegen en Sint Andries worden, evenals bodemkribben en "*Kolkverbauungen*" in Duitsland, gemodelleerd met de vaste-laagoptie in Delft3D, die gebaseerd is op de theorie van Struiksma (1999) voor sedimenttransport over niet-erodeerbare bodemlagen. De niet-erodeerbare laag moet in het model op de juiste diepte, op de juiste locatie binnen het rekenrooster en met de juiste bodemruwheid worden ingebracht. Speciale aandacht vraagt de ontgronding die benedenstrooms van de vaste laag optreedt.

5. In het grove model wordt aangenomen dat alleen het zomerbed daadwerkelijk morfologisch actief is. Aanzanding van het winterbed en sedimentuitwisseling met kribvakken worden in eerste instantie niet in beschouwing genomen. De morfologisch inactieve zones worden als vaste lagen gemodelleerd, net als in de modellen voor het Grensproject (Baur & Jagers, 2002) en de Boven-IJssel (Sloff & Baur, 2003).
6. De morfologische veranderingen tijdens hoogwater kunnen gesimuleerd worden door een kleinere morfologische factor te kiezen. Tijdelijke verkleining van de morfologische factor binnen een langjarige simulatie vraagt om de mogelijkheid om deze factor tijdens een berekening te variëren. Deze mogelijkheid is reeds in onderzoeksversies van Delft3D getest, maar maakt nog geen onderdeel uit van de standaardversie.
7. Duinen, lokale ontgrondingen en kribvlammen worden in het grove model niet beschouwd. Ze worden beschreven met empirische relaties die eventueel via een nabewerking van de modelresultaten kunnen worden toegepast. Te verwachten is dat bij het fijne model meer aandacht aan deze aspecten besteed zal moeten worden.
8. De hydraulische schematisatie kan onderdelen bevatten die voor de morfologische modellering ongunstig zijn. Zo kunnen brugpijlers bijvoorbeeld in WAQUA gemodelleerd zijn als een plaatselijk verhoogde ruwheid, zoals de brugpijlers in de Waal bij Nijmegen. Deze ruwheid beïnvloedt naast de hydraulica ook de Shieldswaarde en dus het sedimenttransport. De brugpijlers genereren daardoor een onterecht grote bodemverandering. Daarnaast zijn de WAQUA-modellen per traject geijkt. De daardoor ontstane ruwheidssprongen bij de trajectovergangen leiden tot ongewenste gradiënten in het sedimenttransport. Dergelijke schematisaties zullen, indien nodig, in het morfologische model moeten worden gewijzigd of ongedaan gemaakt. Nico Struiksma adviseert in een e-mail van 30 april 2005 om brugpijlers in eerste instantie buiten beschouwing te laten.
9. De uitwisseling van water tussen zomer- en winterbed wordt geijkt aan de hand van resultaten uit WAQUA-berekeningen. De afregeling vindt hierbij plaats door de ruwheden van het winterbed te variëren. Wellicht verdient het aanbeveling om hiervoor een automatische kalibratieprocedure te ontwikkelen.
10. In het verleden zijn verschillende methoden ontwikkeld voor het simuleren van baggerwerk en stort. Voor onderhoudsbaggerwerk zoals dat in de Nederlandse rivieren plaatsvindt, is in principe de methode waarbij een “contractbodem” kan worden opgegeven het meest geschikt. Deze methode moet echter nog worden overgezet naar de laatste versie van Delft3D om te kunnen worden toegepast in combinatie met domeindecompositie. Ook andere methoden kunnen worden overwogen. De methode zal uiteindelijk de effecten van baggeren en storten moeten kunnen weergeven op zowel de gemiddelde bodemligging als de kleinschalige bodemfluctuaties (duinen, kribkuilen, kribvlammen).
11. Kribben worden als overlaten gemodelleerd op vergelijkbare wijze als in WAQUA. Het is daarbij niet mogelijk het effect van het talud van de kribkop mee te nemen, zodat ook het effect van de maatregel kribkopverflauwing niet rechtstreeks met deze overlaten te simuleren is. Wel zijn maatregelen als verlaging, verlenging of verkorting van de kribben te simuleren, al zullen dergelijke maatregelen zelfs in het fijne model worden toegepast voor groepen van kribben, niet voor afzonderlijke kribben.

12. Zomerkades en andere lijnelementen in het winterbed worden door Baseline eveneens in overlaten vertaald. Daardoor ligt het modelwinterbed vol met overlaatjes die het stroombeeld tijdens hoogwater sterk kunnen beïnvloeden. Delft3D biedt, in tegenstelling tot WAQUA, geen mogelijkheden om schuin over het rooster lopende overlaten te definiëren, maar uit eerdere simulaties voor de Rijntakken is gebleken dat dit geen merkbare gevolgen heeft voor het stroombeeld en de morfologie. Opgemerkt moet verder worden dat de taluds van kleine dijkjes en wegen in het winterbed op een fijn rooster vertaald worden in twee parallelle overlaatjes. Deze schematisatie leidt waarschijnlijk niet tot een goede beschrijving van de waterbeweging bij deze dijkjes. Een enkele overlaat met een brede kruin geeft een betere weergave.
13. Er zijn nog geen testen uitgevoerd met overlaten op domeinranden. Hoewel hierbij geen grote problemen worden voorzien, verdient dit toch enige aandacht.

7 Conclusies en aanbevelingen

Het voorspelinstrument zal geleidelijk ontwikkeld worden, waarbij het volledige “fijne” model over een aantal jaren (binnen 2012) beschikbaar zal komen. In het eerste kwartaal van 2006 zullen echter al een eerste draaiend “grof” model en bijbehorende resultaten beschikbaar zijn. De termen “grof” en “fijn” slaan hier niet op het rekenrooster, maar op de functionaliteit (“de hoeveelheid toeters en bellen”) en de mate van kalibratie. De resultaten in het eerste kwartaal van 2006 betreffen met name het eendimensionale profiel van de hele rivier, waarbij echter wel tweedimensionale effecten van de uitwisseling van water met de uiterwaarden tot uitdrukking komen. Dit rapport presenteert een stapsgewijze aanpak alsmede uitgangspunten en aandachtspunten voor de bouw van het grove model.

Voor het grove model kan worden volstaan met de op dit moment in Delft3D beschikbare procesbeschrijvingen voor waterbeweging en morfologie. Voor het uiteindelijke fijne model schieten deze procesbeschrijvingen echter tekort. Parallel aan de modelontwikkeling blijft daarom procesonderzoek noodzakelijk. Lopend onderzoek aan universiteiten en nieuw onderzoek in het werkpakket “Riviermorfologie” van Delft Cluster zijn hierop gericht.

Het aanbevolen rekenrooster heeft cellen die gemiddeld 60 m lang en in het zomerbed 15 à 20 m breed zijn. Een eerste fase met een rekenrooster van 120 m lange en 30 à 40 m brede cellen wordt afgeraden. De roosterlijnen moeten de normaallijnen langs het zomerbed zo goed mogelijk volgen om onnauwkeurigheden en onnodige verstoringen in het morfologisch gedrag te voorkomen. Voor de bandijken op de rand van het winterbed is het minder noodzakelijk om met roosterlijnen samen te vallen. Lokale belemmeringen om de normaallijnen langs het zomerbed te volgen kunnen op termijn worden opgeheven door gebruikt te maken van domeindecompositie. Omdat trapjeslijnen op de randen van het rekendomein minder problematisch zijn, worden *cut-cell*-technieken niet aanbevolen.

Begin 2006 is een simulatie van 10 jaar met het grove model naar verwachting praktisch haalbaar. Door de voortgaande groei van rekencapaciteit is naar verwachting een simulatie van 40 jaar in 2008 praktisch haalbaar.

De eerstvolgende stap is de bouw van het rekenrooster. Hiervoor is een doorlooptijd van 2 maanden begroot.

8 Literatuurverwijzingen

Baptist, M. (2005), Modelling floodplain biogeomorphology. PhD thesis, Delft University of Technology, ISBN 90-407-2582-9.

Baur, T., H. Havinga & D. Abel (2002), Internationale Zusammenarbeit bei der Planung von Regulierungsmaßnahmen am Niederrhein: Durchführung flussmorphologischer Simulationen. HANSA International Maritime Journal, 10/2002, pp.51-56.

Baur, T. & H.R.A. Jagers (2002), Grensproject Bovenrijn / Grenzprojekt Niederrhein; Model construction, calibration and verification. Report Q2496, WL | Delft Hydraulics.

Baur, T. & E. Mosselman (2002), Morfologische effecten van kribverlaging langs een uiterwaard tijdens en na hoogwaters. Rapport Q3043, WL | Delft Hydraulics.

Blanckaert K., L. Glasson, H.R.A. Jagers & C.J. Sloff (2003a), Quasi-3D simulation of flow in sharp open-channel bends with horizontal and developed bed topography. Proc. Int. Symp. Shallow Flows, Delft, 16-18 June 2003, Vol. I, pp.93-100.

Blanckaert K., L. Glasson, M. Altinakar, H.R.A. Jagers & C.J. Sloff (2003b), A quasi-3D model for flow in sharp open-channel bends, Proc. 30th IAHR Congress, Eds. J. Ganoulis & P. Prinos, Thessaloniki, 24-29 August 2003, Vol.II, pp.317-324.

Blanckaert, K., L. Glasson, H.R.A. Jagers & C.J. Sloff (2003c), Quasi-3D simulation of flow in sharp open-channel bends with equilibrium bed topography. Proc. IAHR Symp. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona, 1-5 Sept. 2003, Eds. A. Sánchez-Arcilla & A. Bateman, Publ. IAHR, Madrid, ISBN 90-805649-6-6, pp.652-663.

Blanckaert, K. & H.J. de Vriend (2003d), Non-linear modeling of mean flow redistribution in curved open channels. Water Resources Res., AGU, Vol.39, No.12, p.1375.

Blanckaert, K. & H.J. de Vriend (2004), Secondary flow in sharp open-channel bends. J. Fluid Mech., Vol.498, pp.353-380.

Blom, A. (2003), A continuum vertical sorting model for rivers with non-uniform sediment and dunes. Ph.D. Thesis, Twente University, Enschede, The Netherlands.

Blom, A., J.S. Ribberink & G. Parker (2003), Sediment continuity for rivers with non-uniform sediment, dunes, and bed load transport. In: Sedimentation & sediment transport: At the crossroad of physics and engineering, Eds. A. Gyr & W. Kinzelbach, Kluwer Academic Publishers, Switzerland, pp.179-182.

Engelund, F. & E. Hansen (1967), A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen.

Hirano, M. (1972), Studies on variation and equilibrium state of a river bed composed of non-uniform material. Transactions JSCE, Vol.4.

Kalkwijk, J.P.Th. & H.J. de Vriend (1980), Computation of the flow in shallow river bends. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.18, No.4, pp.327-342.

Lauchlan, C. (2001), Sediment transport over steep slopes; An experimental investigation; Results and analysis. Report for Rijkswaterstaat-RIZA & Delft Cluster, August 2001, Delft University of Technology.

Lauchlan, C. (2004), Experimental investigation of bed-load and suspended-load transport over weirs. J. Hydr. Res., IAHR, Vol,42, No.5, pp.549-555.

Meyer-Peter, E. & R. Müller (1948), Formulas for bed-load transport. Proc. 2nd Congress IAHR, Stockholm, Paper No.2, pp.39-64.

Mosselman, E. (1991), Modelling of river morphology with non-orthogonal horizontal curvilinear coordinates. Communications on Hydr. and Geotech. Engrg., No.91-1, Delft Univ. of Technol., ISSN 0169-6548.

Mosselman, E. (1998), Transport van sediment over steilranden en overlaten. Rapport Q2423, WL | Delft Hydraulics.

Mosselman, E. & C.J. Sloff (1998), Probleemanalyse ijking Delft3D voor Pannerdense Kop. Verslag Q2494, WL | Delft Hydraulics.

Mosselman, E., A. Sieben, K. Sloff & A. Wolters (1999), Effect of spatial grain size variations on two-dimensional river bed morphology. Proc. IAHR Symp. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Genova, 6-10 Sept. 1999, Vol. I, pp.499-507.

Mosselman, E., K.I. Hassan & A. Sieben (2003), Effect of spatial grain size variations in two-dimensional morphological computations with uniform sediment. Proc. IAHR Symp. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona, 1-5 Sept. 2003, Eds. A. Sánchez-Arcilla & A. Bateman, Publ. IAHR, Madrid, ISBN 90-805649-6-6, pp.236-246.

Parker, G. & A. Andrews (1985), Sorting of bedload sediment by flow in meander bends. Water Resources Res., AGU, Vol.21, No.9, pp.1361-1373.

Rijkswaterstaat (1993), Toekomstvisie Waal Hoofdtransportas. Nota III, Eindrapportage, Rijkswaterstaat Directie Gelderland, Projectbureau Waal.

Sieben (1998), Combineren van transportformules. Concept interne notitie, Rijkswaterstaat RIZA, WSR, 7 juli 1998 (*beperkte verspreiding*).

Sieben, J. (2004a), Ruimtelijke variaties in duinhoogte. RIZA werkdocument 2004.166X.

Sieben J. (2004b), Bodemveranderingen tijdens hoogwater; Interpretatie van peilingen bij de Pannerdensche Kop. RIZA werkdocument 2004.211X.

Sieben, J., M.H.I. Schropp & E.H. van Velzen (2005), Voorspelinstrument duurzame vaarweg; Functioneel ontwerp. RIZA werkdocument 2005.058x, Rijkswaterstaat RIZA.

Sloff, C.J. & E. Mosselman (1998), Voorbereiding ijking Rijntakkenmodel. Report Q2460, WL | Delft Hydraulics, November 1998.

Sloff, C.J. & T. Baur (2003), Planstudie Boven-IJssel; Bouw en ijking van morfologisch model Boven-IJssel. Rapport Q3273.00, WL | Delft Hydraulics.

Sloff, C.J. (2004), Tweedimensionale bodemveranderingen in de vaarweg van de Waal. Rapport Q3811.00, WL | Delft Hydraulics.

Sloff, C.J. & H.R.A. Jagers (2005), 2D morfologische berekeningen Lent. Rapport Q3560.00, WL | Delft Hydraulics (*in voorbereiding*).

Smedes, R.H. (2005), Toekomstige Waal; Duurzame vaardiepte Rijndelta. Projectplan, Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland.

Struiksma, N., K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.23, No.1, pp.57-79.

Struiksma, N. (1998), Morfologisch model Pannerdense Kop op basis van DELFT2DMOR; IJking. Verslag rekenonderzoek, WL | Delft Hydraulics.

Struiksma, N. (1999), Mathematical modelling of bedload transport over non-erodible layers. Proc. IAHR Symp. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Genova, 6-10 Sept. 1999, Vol. I, pp.89-98.

Talmon, A.M., N. Struiksma & M.C.L.M. van Mierlo (1995), Laboratory measurements of the direction of sediment transport on transverse alluvial-bed slopes. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.33, No.4, pp.495-517.

Verheij, H.J., C. Stolker & D. Schwanenberg (2004), Flow velocities below a ship's keel and their effect on bed material; Progress report 2004. Report Q3430, WL | Delft Hydraulics.

Yossef, M.F.M. & H.J. de Vriend (2004), Mobile-bed experiments on the exchange of sediment between main channel and groyne fields. River Flow 2004, Proc. Second Int. Conf. Fluvial Hydraulics, 23-25 June 2004, Napoli, Italy, Eds. M. Greco, A. Carravetta & R. della Morte, Balkema Publ., ISBN 90-5809-658-0, pp.127-133.

Zwaard, J.J. van der (1974), Roughness aspects of sand transport over a fixed bed. Delft Hydr. Lab. Publ. No.118.

A Presentatie workshop 8 april 2005

wl | delft hydraulics

Mogelijkheden en beperkingen van modellen

Erik Mosselman, Bert Jagers, Kees Sloff

Workshop
"Voorspelinstrument Duurzame Vaarweg"
Arnhem, 8 april 2005

wl | delft hydraulics

Uitdagend …

- 2-D morfologisch model Rijnmond-Duisburg
- Met bodemfluctuaties op diepteschaal (empirisch, maar inclusief variaties in tijd en ruimte + invloed daarvan op gemiddelde morfologie)

… en ambitieus!

- Absolute resultaten (baggervolumes) op 10% nauwkeurig

wl | delft hydraulics

Tijdpad

- Wat is het tijdpad?
  Korte actie van 1 à 2 jaar of ontwikkeltraject tot 2012?
- Ambitie ➔ langere periode ➔ prioritering en fasering
- Rekening houden met "externe" ontwikkelingen
- Processen niet vroegtijdig wegschrijven
  (punt 13 uit memo HKV)

RIZA (1997): Gegradeerd sediment in Delft3D heeft geen direct belang voor het rivierbeheer

wl | delft hydraulics

Grof Rijnmodel naast fijne trajectmodellen

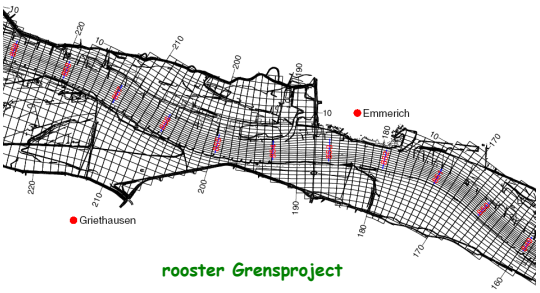
Tegen grof model:

- Levert geen vaarbaanbreedtes op 10 m nauwkeurig
- Veroorzaakt schematisatie-problemen (net als 1-D modellen): extra inspanningen
- Hoe geef je transport uit trajectmodellen op? (punt 11 HKV)
- Wat is meerwaarde boven 1-D model voor bodemlengteprofiel bij ijking op basis van gebrekkige historische gegevens?

Advies: overall Rijnmodel met roostercellen orde 20 × 60 m

- Voor specifieke toepassingen blijft achteraf vergroving van het rooster mogelijk
- Trajectmodellen kunnen uitgelicht worden

wl | delft hydraulics



rooster Grensproject

wl | delft hydraulics

Klassen van functionele eisen

Veeleisend:

- Fysische processen en verschijnselen (natuurlijk en veroorzaakt door ingrepen)
- Voorspelkwaliteit

} nadruk in deze presentatie

Eenvoudiger oplosbaar:

- Toepassingen en type resultaten
- Software-architectuur (b.v. Baseline)
- Computercapaciteit
  (Delft3D heeft functionaliteit voor domeindecompositie en parallel rekenen, maar performance nog niet goed bekend)

(uitwerking in stappenplan technisch ontwerp)

wl | delft hydraulics

Klassen van functionele eisen

Veeleisend:
- Fysische processen en verschijnselen (natuurlijk en veroorzaakt door ingrepen)
- Voorspelkwaliteit

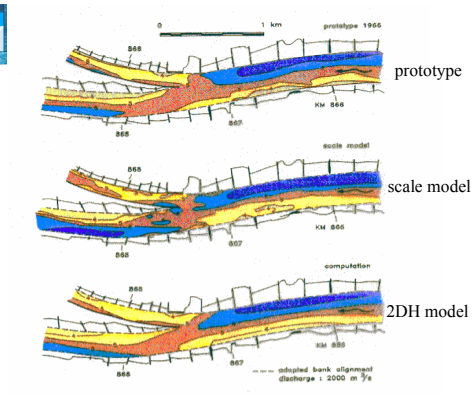
} nadruk in deze presentatie

Eenvoudiger oplosbaar:
- Toepassingen en type resultaten
- Software-architectuur (b.v. Baseline)
- Computercapaciteit
  (Delft3D heeft functionaliteit voor domeindecompositie en parallel rekenen, maar performance nog niet goed bekend)

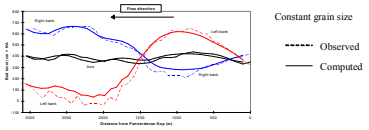
(uitwerking in stappenplan technisch ontwerp)

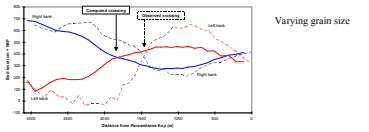
wl | delft hydraulics

Functionaliteit Delft3D	Hiaten
Spiraalstroom: parametrisatie voor eenvoudige geometrieën	Complexe stroming. Onderzoek samen met EPFL Lausanne
Effect bodemhellingen op sediment-transport: eenvoudige formules	Anisotropie door duinen. Formulering voor gegradeerd sediment (Shields-parameter voor mengsel of fracties?). STW-voorstel in voorbereiding
Vaste lagen: Struiksma-concept voor reductie in sedimenttransport	Afwijkende beddingvormen en bodem-ruwheid bij ondervoed transport. Ontgrondingskuil en sedimentatiebult benedenstrooms (opvulling: maatregel!)
Bodemfluctuaties (duinen) en bodemruwheid: alluviale ruwheids-voorspeller + Stuurboord-offerte	Variaties in ruimte en tijd. Onderzoek UT (+ TUD Delft Cluster). Interacties met gegradeerd sediment
Gegradeerd sediment: Hirano-concept.	Blom-concept (in aanbouw). Bimodale mengsels. Partieel transport. Pleistering. Zand-slibinteracties (Rijnmond)



wl | delft hydraulics





Genova 1999 Effect of spatial grain-size variations on 2-D river bed morphology 9

wl | delft hydraulics

Functionaliteit Delft3D	Hiaten
Baggeren en storten: bronnen en putten.	Opgave contractbodem nog niet in SED-Online. Geavanceerder bagger-strategieën. Mijnzakkingen en tectoniek
Sedimenttransport: op grotere schalen, in zomerbed	Sedimentuitwisseling met kribvakken (onderzoek Yossef) Sedimenttransport in uiterwaarden: vegetatie (Baptist), kades en overlaten
Kribben, kades en overlaten	Schematisatie in WAQUA en Delft3D eigenlijk fout. Schuine aanstroming. Sedimenttransport
Oevererosie	Roosteraanpassing aan verschoven oeverlijnen
	Invloed scheepvaart op sediment-transport, lokaal sedimenttransport (kuilen, kribvlammen), ijs

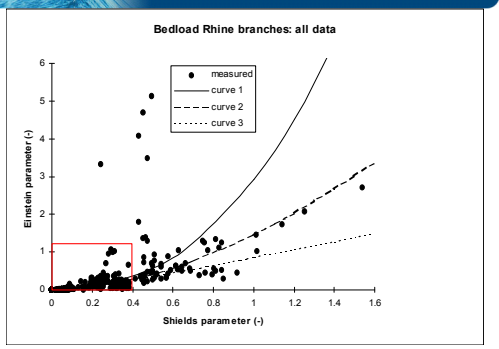
wl | delft hydraulics

Voorspelkwaliteit

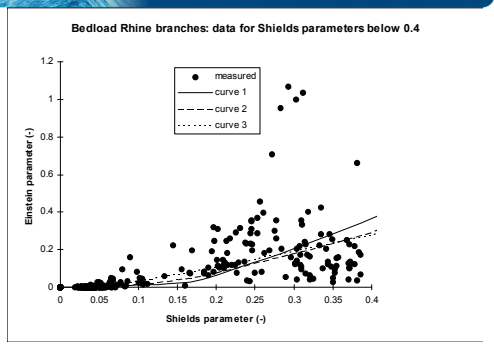
Factoren:
- Invoergegevens en modelparameters (natuurlijke variabiliteit, gebrek aan metingen, equifinaliteit)
- Kennis en beschrijving van processen
- Aannamen en verwaarlozingen
- Schematisatie en resolutie (incl. tijdstap en rekenrooster)

→ onzekerheden in sedimenttransport
→ problemen met rekenrooster
→ problematiek van goede validatie

wl | delft hydraulics



wl | delft hydraulics



wl | delft hydraulics

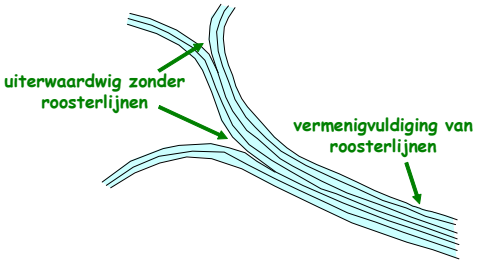
Onzekerheden in sedimenttransport

- Grote spreiding in metingen ten opzichte van transportformules
- MPM noodzakelijk voor Niederrhein en Bovenrijn maar volstrekt ongeschikt benedenstrooms van Tiel
- Niet ijken op sedimenttransporten, maar op bodemliggingen en bodemsamenstellingen
- Dan moeten die grootheden zich wel in de tijd ontwikkelen
- Pleit voor suppletieproef (Emiel van Velzen)

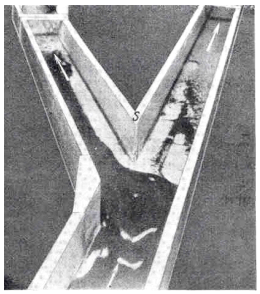
Havinga, H. (1982), Deventer baggerproef. Meetverslag, RWS Directie Waterhuishouding en Waterbeweging (District Zuidoost), nota 82.4

wl | delft hydraulics

Problemen met rekenrooster



wl | delft hydraulics

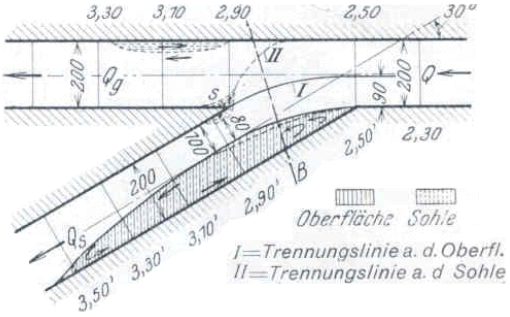


Experimental studies:

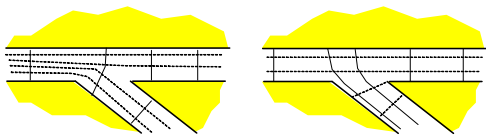
- Bulle (1926)
- Habermaas (1935)
- Riad (1961)

Bulle (1926)

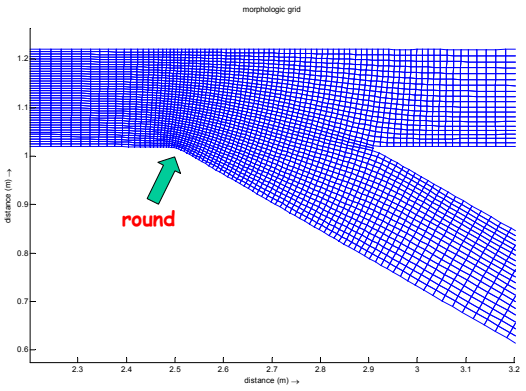
wl | delft hydraulics

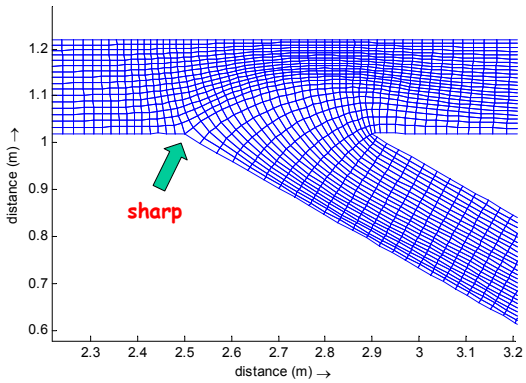


wl | delft hydraulics



basic structures of computational grids





wl | delft hydraulics

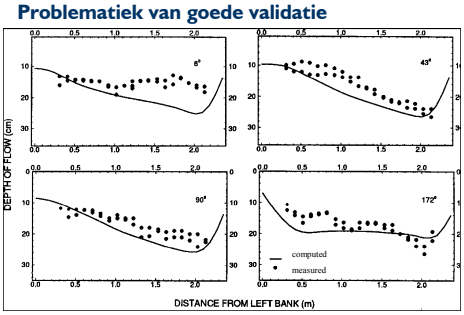
Problemen met rekenrooster

- Uiterwaardwig zonder roosterlijnen
- Vermenigvuldiging van roosterlijnen: op te lossen met domeindecompositie (op splitsing lokaal fijner rooster)
- Berekende stroming gevoelig voor geometrie (hoekpunten, gladheid, orthogonaliteit)
- Trapjeslijnen: cut-cell-technieken, maar … stroomlijnen volgen niet altijd zomerbedoever

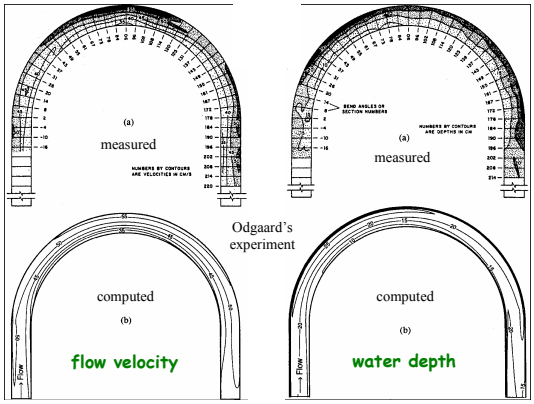
Op termijn van 5 jaar ontwikkeling van gestructureerde naar ongestructureerde roosters. Mogelijk mengvorm.

wl | delft hydraulics

Problematiek van goede validatie



Odgaard's experiment



wl | delft hydraulics

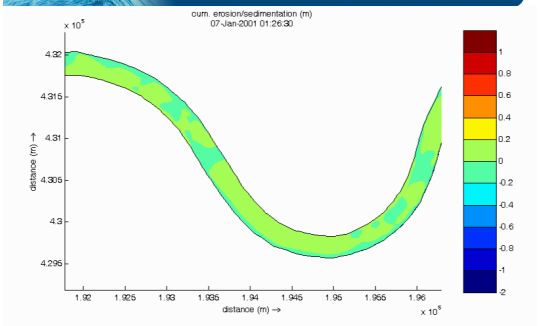
Problematiek van goede validatie

Statistiek van verschillen tussen rekenresultaat en referentie:

- **Waar kijk je naar?**
  (dwarsprofielen of kenmerken van patronen)
- **Zit fout in rekenresultaat of referentie?**
  (meetonnauwkeurigheid, vergelijking met WAQUA)
- **Extrapolatie van oordeel over modelkwaliteit naar situaties waarin verwaarloosde processen belangrijker zijn (rivierverruiming)**

wl | delft hydraulics

Samenvattend

- **Ambitieus doel: baggervolumes op 10% nauwkeurig**
- **Tijdpad: duur, prioritering, fasering**
- **Hiaten in proceskennis en procesbeschrijvingen**
- **Suppletieproef parallel aan modelbouw**
- **Problemen met rekenrooster: perspectief mengvorm met ongestructureerde roosters**
- **Validatie gaat verder dan statistiek**

wl | delft hydraulics