

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Definitiestudie modellering van stroming

3D rekenen rond constructies

Verslag

december 1998

Q2487-2

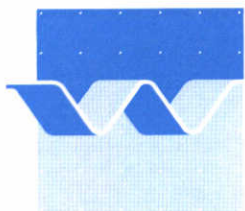
Q2487

wl | delft hydraulics

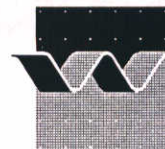
Definitiestudie modellering van stroming

3D rekenen rond constructies

S.A.H. van Schijndel en R.J. de Jong



wL | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044
2600 GA Delft

TITEL: Definitiestudie modellering van stroming, 3D rekenen rond constructies

SAMENVATTING:

In 1998 is WL een samenwerkingsovereenkomst aangegaan met DWW met als doel het komen tot een gezamenlijke ontwikkeling van nieuwe kennis en producten in de waterbouwkunde, passend binnen de kerntaken van Rijkswaterstaat en de missie van WL als GTI. In het kader van deze overeenkomst is ook een onderzoek gestart naar 3D-rekenen rond constructies.

In deze definitiestudie is een begin gemaakt met dit onderzoek. Na een inventarisatie van de bestaande 3D-modellen en een vergelijking is een keuze gemaakt voor het gebruik van Delft3D in het verdere verloop van de studie.

Vervolgens is voor Delft3D aangegeven wat de huidige status is en wat de gewenste ontwikkelingen zijn in de toekomst. Hiervan is gebruik gemaakt om een opzet te maken voor het vervolg van de studie in de jaren 1999 tot en met 2001.

REFERENTIES: opdrachtbrief DWW no. AB/983579d.d.18/8/98

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
01	S.A.H. van Schijndel	20/11/98	concept	E. Mosselman	H.J. Opdam
02	S.A.H. van Schijndel	10/12/98	definitief		H.J. Opdam
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
Samenwerkingsovereenkomst DWW, 3D rekenen, kribben, Delft3D, werkplan			TEKST:	27	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT XDEFINITIEF
			TABELLEN:	1	
			FIGUREN:	6	
			APPENDICES	1	
PROJECTNUMMER: Q2487					

Inhoud

Lijst van Figuren

Lijst van Tabellen

1	Inleiding.....	1-1
1.1	Kader van de studie.....	1-1
1.2	Opzet van de studie.....	1-2
1.3	Probleemstelling.....	1-2
1.4	Doelstelling.....	1-2
2	Afbakening probleemgebied	2-1
2.1	Problematiek rond kribben	2-1
2.2	Kribvormen	2-2
2.3	Randvoorwaarden.....	2-3
2.4	Toetsingscriteria.....	2-4
2.5	Eisen aan het 3D-model.....	2-4
3	Inventarisatie beschikbare modellen.....	3-1
3.1	Aanwezige modellen.....	3-1
3.2	Vergelijking van aanwezige modellen	3-3
3.3	Flankerende ontwikkelingen.....	3-5
4	Delft3D.....	4-1
4.1	Beschrijving programma	4-1
4.2	Mogelijkheden en ontwikkelingen Delft3D	4-2
4.3	Hoe adequaat beschrijft Delft3D verschillende stromingsverschijnselen? ..	4-4

4.4	Hoe adequaat beschrijft Delft3D verschillende morfologische verschijnselen?	4-6
4.5	Aspecten die betrekking hebben op het rooster	4-9
5	Concept werkplan	5-1
5.1	Wat is nodig voor een berekening?.....	5-1
5.2	Metingen	5-2
5.3	Meerjarenplan.....	5-3
5.4	Kosten	5-5
	Literatuur	1

Appendices

- A Delft3D folder inclusief beschrijving FLOW-module en MOR-module**

- B Overzicht literatuur kribmetingen**

Lijst van Figuren

Figuur 1	Stromingen nabij en tussen kribkoppen en de gevolgen daarvan
Figuur 2	Basiskrib met mogelijke wijzigingen
Figuur 3	Opbouw Delft3D
Figuur 4	Rooster met σ -transformatie
Figuur 5	Vaste-lagen-optie
Figuur 6	Roosteropbouw staggerd grid

Lijst van Tabellen

Tabel I Vergelijking van genoemde 3D-modellen

I Inleiding

I.1 Kader van de studie

In 1998 is WL een samenwerkingsovereenkomst aangegaan met DWW om te komen tot een gezamenlijke ontwikkeling van nieuwe kennis en producten in de waterbouwkunde, passend binnen de kerntaken van Rijkswaterstaat en de missie van WL als GTI. In het kader van deze samenwerkingsovereenkomst zijn vijf deelprojecten gedefinieerd, die in de periode 1998 - 2001 uitgevoerd zullen worden.

1. Numeriek model voor brekende golven
2. Ondiepe voorlanden
3. Steenstabiliteit
4. Inundatie van dijkkringen
5. Modellering van stroming

Deze definitiestudie heeft betrekking op deelproject nummer 5, waarbij 3D-modellering van stroming en morfologische processen nabij waterbouwkundige constructies voorop staat. In samenspraak met DWW is gekozen om als basis voor de studie in eerste instantie de problematiek rondom kribben te beschouwen. Ook in het kader van de huidige aandacht, die op het moment bestaat voor het beheer en onderhoud van de kribben langs de grote Nederlandse rivieren. Tot nu toe waren uitvoeringstechnische eisen maatgevend voor de afmetingen van kribben. Op dit moment is er echter behoefte aan meer inzicht in de werking van kribben, zodat de aanleg en het beheer geoptimaliseerd kunnen worden. Daarom moet een hulpmiddel beschikbaar komen om de effecten van ontwerp-alternatieven en beheersmaatregelen te kunnen beoordelen.

Dit project wordt opgedragen in het kader van de samenwerkingsovereenkomst met RWS DWW, zoals verwoord in het contract dat 15 januari 1998 ondertekend is. Het betreft hier document DWW-1382, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Dit project is daarin genoemd als project 5 (pag. 36 e.v.). Op deze tekst is een aanvulling gepleegd in verband met de start in 1998; zie opdrachtbrief DWW no. AB/983579d.d.18/8/98.

Van de zijde van DWW wordt het project geleid door ir. R.E.A.M. Boeters en ir. P.K. Klok en van de zijde van WL wordt het project geleid door ir. R.J. de Jong. Als projectingenieur voor inventarisatie en verslaggeving is ir. S.A.H. van Schijndel toegevoegd aan het team. Naast bovengenoemde personen is in het project gebruik gemaakt van de expertise van een aantal personen binnen WL. Op het gebied van modellen is prof. dr. ir. G.S. Stelling te noemen, op het gebied van de morfologie dr. ir. E. Mosselman en wat betreft kribben ir. H.J. Verheij. De laatste twee zijn ook verantwoordelijk geweest voor het reviewen van de verschillende stadia van deze definitiestudie.

1.2 Opzet van de studie

Via een definitiestudie moet duidelijk worden welke mogelijkheden op het moment bestaan om 3D te rekenen rondom kribben. Tegelijkertijd moet aandacht worden besteed aan het numerieke model dat gebruikt zal worden in het verdere verloop van de studie en moet worden vastgesteld wat de mogelijkheden en onmogelijkheden van het desbetreffende model zijn en wat de nodige ontwikkelingen zijn. Dit rapport heeft betrekking op de genoemde definitiestudie. In een eerder stadium is in de vorm van drie afzonderlijke memo's een inventarisatie gemaakt van de problematiek rondom kribben en de beschikbare 3D-modellen. In voorliggend rapport worden genoemde memo's gebundeld en wordt een aanzet gegeven voor het verdere verloop van het samenwerkingsverband.

Voor wat betreft het verloop van het project kan grofweg onderstaande fasering worden aangehouden. In hoofdstuk 5 wordt hierop nog in detail teruggekomen.

- 1998 Definitiestudie
- 1999 Opzetten model en maken proefberekeningen stroming
- 2000 Koppeling met morfologie
- 2001 Maken berekeningen, analyse en rapportage

1.3 Probleemstelling

Op dit moment is het niet mogelijk om de aanleg en het onderhoud aan kribben langs de Nederlandse rivieren optimaal uit te voeren. Hiervoor ontbreekt het ons onder andere aan de juiste rekenmodellen. De mogelijkheden om het 3D-stroombeeld en de daarmee samenhangende morfologische processen nabij constructies te berekenen zijn nu nog zeer beperkt.

1.4 Doelstelling

Doel van deze definitiestudie is het nagaan van de mogelijkheden van rekenkundige 3D-modellering voor de simulatie van de stroming rondom een krib en de morfologische gevolgen hiervan, zodat in het vervolg van het project berekeningen kunnen worden gemaakt, deze gevalideerd kunnen worden en eventueel ontwikkelingen gestart kunnen worden.

Het doel van het totale project, dat deels buiten de samenwerkingsovereenkomst valt, is om uiteindelijk antwoord te kunnen geven op een aantal vragen zodat de aanleg en het beheer van kribben in de toekomst geoptimaliseerd kunnen worden. Het gaat hier om onderstaande vragen:

- Is het mogelijk om de afmetingen van kribben dusdanig te kiezen dat de effectiviteit gelijk blijft, maar de weerstand bij hoog water kleiner wordt?
- Kan een krib dusdanig gedimensioneerd worden dat de erosiekuil kleiner wordt en de krib dus langer meegaat?
- Kan achterloopsheid voorkomen worden?

Een ander probleem bij het berekenen van stroming rond kribben en minder goed zichtbaar in bovenstaande figuur is het aspect dat de kribkruin een helling heeft. Dit kan er toe leiden dat een deel van de krib als verdronken overlaat fungeert en een deel als volkomen overlaat (④). Dit kan tot complicaties leiden in het rekenproces en moet dus ook een punt van aandacht zijn bij het bepalen van het te gebruiken rekenmodel.

Buiten bovengenoemde aspecten is het feit dat de krib doorlatend kan zijn ook van belang. Het doorlatend zijn heeft invloed op het stroombeeld rondom de krib en zal dus ook gevolgen hebben voor de morfologische processen rondom de krib.

In het kort kan gezegd worden dat het belangrijk is dat de verticale versnellingen op de juiste wijze berekend kunnen worden, dat situaties met $Fr \approx 1$ berekend moeten kunnen worden, dat de energieomzetting in vertragingsgebieden juist berekend moet kunnen worden en dat in alle gevallen sprake is van turbulente stroming (grote Reynolds-getallen). Daarnaast moet ook aandacht besteed worden aan het vertalen van het stroombeeld naar de morfologische processen die zich rond een krib afspelen (zie onderste deel bovenstaande figuur).

2.2 Kribvormen

Op dit moment wordt op de Waal hoofdzakelijk één type krib gevonden, te weten een ondoorlatende krib met een kern van zand en een bekledingslaag bestaande uit stortsteen en/of zetsteen. In de afgelopen jaren is gebleken dat deze constructiewijze een aantal problemen met zich mee brengt.

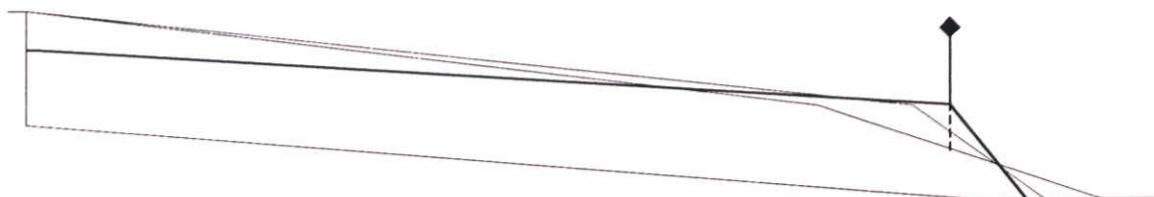
- de huidige constructietypen kunnen slechts gedurende een beperkt deel van het jaar gebouwd worden
- de toepassing van een combinatie van bekledingstypen betekent dat ergens op de krib een kwetsbare overgangsconstructie moet worden aangebracht

Beide nadelen komen nog eens sterker naar voren zodra de configuratie van de krib gewijzigd moet worden [Verheij, 1997].

Omdat bovengenoemde nadelen bestaan, komt in dit project een aantal alternatieve kribvormen aan de orde. Rekening houdend met de eisen zoals deze zijn genoemd in het rapport 'Effectiviteit van kribben' komen dan de traditionele kribvorm, bestaand uit losgestort materiaal, en de prefab krib naar voren. Verder is in de studie naar effectiviteit van kribben ook nog ingegaan op de kribvorm zoals deze wordt gebruikt in de VS: doorlatende kribben bestaande uit palenrijen opgevuld met stortsteen. Deze constructie is ook toegepast in Bangladesh in het kader van FAP21/22. Hierop wordt nog teruggekomen bij de bespreking van aanwezige metingen.

Omdat uitgegaan wordt van de bestaande situatie wordt de keuze in kribsoorten beperkt tot drie: de conventionele krib met gezette bekledingslaag op de kop, die met een losgestorte kop én de volledig gestorte krib. Van alle drie de soorten zal in het kader van dit onderzoek de helling van de kruin en de helling van de kribkop gewijzigd worden. Eventueel kan in een later stadium nog een andere kribvorm, zoals een T-vorm of een 'hockeystick', of een krib bestaande uit bijvoorbeeld prefab elementen worden gemodelleerd, maar deze vormen zijn op dit moment nog niet relevant voor de Nederlandse situatie.

Voor wat betreft de mogelijkheden voor het wijzigen van de verschillende hellingen wordt naar onderstaande figuur verwezen.



Figuur 2 Basiskrib met mogelijke wijzigingen

Als uitgangspunt wordt gebruikt dat het knikpunt op hetzelfde niveau moet blijven als het huidige knikpunt en dat de positie van het bakken ten opzichte van de oever gehandhaafd blijft. De teen van de kribkop heeft wel enige speling in de orde grootte van 5 tot 10 m afhankelijk van de gewenste afstand van schepen tot het bakken op de krib. De helling van de kribkruin kan variëren als gevolg van de eis dat de kruin moet aansluiten op het maaiveld of een steilrand. In het algemeen kan wel gezegd worden dat de helling van de kribkruin steiler wordt. Op het moment is die helling 1:100 en in de toekomst zal dat 1:35 tot 1:50 zijn.

Zoals genoemd in bovenstaande paragraaf zal onder andere een volledig gestorte krib worden bestudeerd. Dit brengt met zich mee dat het aspect doorlatendheid ook bekeken moet worden.

2.3 Randvoorwaarden

Om een kader te creëren waarin de studie uitgevoerd moet worden is een aantal randvoorwaarden noodzakelijk. Deze hebben betrekking op modelkundige randvoorwaarden, zoals bijvoorbeeld prototype en gewenste nauwkeurigheid, en op beperkingen ten aanzien van de variatiemogelijkheden van kribvormen.

Modelkundige randvoorwaarden

- De nieuw aan te leggen krib bij Dodewaard wordt als prototype gebruikt voor de modellering.
- In principe worden permanenties doorgerekend met drie afvoeren. In dit stadium is nog niet vastgesteld wat de hoogte van deze afvoeren is, maar ze zullen in elk geval tussen OLR en MHW liggen.
- De benedenstroomse randvoorwaarden in de vorm van waterstanden volgen uit het IVR_DSS (Integrale Verkenning Rijntakken _ Decision Support System).
- De stroming buiten de zomerades wordt niet gemodelleerd in verband met rekentijd. Omdat rekening moet worden gehouden met de stroming door het winterbed bij hogere afvoeren moet dan wel met een kleinere afvoer gerekend worden. Hoe veel kleiner deze afvoer moet zijn, kan bijvoorbeeld bepaald worden aan de hand van WAQUA resultaten.
- In eerste instantie wordt een recht riviertracé gekozen, maar ook de mogelijkheid van een gebogen tracé moet meegenomen worden.
- De invloed van getij en windopzet wordt verwaarloosd.

- De invloed van scheepvaart op stroming en morfologische ontwikkeling wordt in eerste instantie buiten beschouwing gelaten, maar de mogelijkheid om hier in de toekomst nog wel aandacht aan te besteden moet open worden gelaten [Verheij, 1991]. Een eerste aanzet hiertoe is reeds door Kazi gegeven [Kazi, 1998].

Randvoorwaarden met betrekking tot de krib

- Er wordt vooralsnog gekozen voor gelijke afstanden tussen de kribben.
- De teen van het talud van de kribkop heeft een speelruimte in orde grootte van 5 à 10 m.
- Het niveau van het knikpunt blijft gehandhaafd.
- In eerste instantie wordt uitgegaan van drie soorten kribben. De conventionele krib met een kern en een gezette bekleding, de conventionele krib met een kern en een losgestorte kop in plaats van een gezette bekleding en de krib van losgestort materiaal.
- Voor het wijzigen van de krib komen de volgende opties aan de orde:
 - verlagen van de kribkruin
 - flauwer maken van de helling van de kribkop
 - steiler maken van de helling van de kribkruin

2.4 Toetsingscriteria

Om te kunnen bepalen of een bepaalde ingreep het gewenste effect heeft, is vanzelfsprekend een aantal toetsingscriteria nodig. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de toetsingscriteria die mogelijk zouden kunnen zijn. Enkele hiervan zijn eenvoudig vast te stellen per berekende kribconfiguratie, maar dit overzicht geeft ook aan waar nog aandacht aan moet worden besteed binnen deze studie, zoals bijvoorbeeld de diepte van de ontgrondingskuil.

- diepte van de vaargeul
- weerstand bij hoog water
- afmetingen ontgrondingskuil en sedimentatiegebied achter krib
- diepte ontgrondingskuil kribkop
- in hoeverre beïnvloed de configuratie van de krib de achterlooptheid

2.5 Eisen aan het 3D-model

Om te kunnen voldoen aan de doelstelling moet een aantal eisen gesteld worden aan het 3D-model. Deze eisen zijn af te leiden uit onder andere de afmetingen van de krib en wensen ten aanzien van het bestuderen van bepaalde effecten. Hieronder volgt een overzicht van deze eisen. Hierbij moet vermeld worden dat niet alle eisen op korte termijn te realiseren zijn en dat in sommige gevallen concessies moeten worden gedaan, maar het geeft wel aan wat gewenst is.

- Het moet mogelijk zijn om de stroming en de morfologische gevolgen daarvan te kunnen berekenen.
- Het moet mogelijk zijn om te rekenen met een niet-hydrostatische drukverdeling, zodat de verticale versnellingen op de juiste manier worden berekend.
- Het effect van de doorlatendheid van de krib op de omstroming van de krib moet meegenomen kunnen worden in de schematisatie.
- De wensen ten aanzien van gridafmetingen worden onder andere bepaald door de afmetingen van de krib en de afmetingen van de ontgrondingskuil. De bestaande kribben in Nederland hebben alle een kruin met een breedte van 1 m. Daarnaast vereist de helling van de kribkruin en de mogelijke verlaging van de kruin een gridafstand van 0,25-0,5 m en om de juiste locatie van de ontgrondingskuil te kunnen bepalen is een gridafstand van 2,5 m wenselijk.
- Om conclusies te kunnen trekken ten aanzien van de ontgrondingskuil moet de diepte hiervan met een nauwkeurigheid van 1 m berekend kunnen worden.
- De stroombaanverschuiving als gevolg van het veranderen van de kribconfiguratie moet met een nauwkeurigheid van 2 m berekend kunnen worden.
- De waterstanden moeten worden berekend met een absolute nauwkeurigheid van 10 cm. Voor de relatieve nauwkeurigheid wordt echter een waarde van 1 mm als uitgangspunt genomen.
- De gewenste relatieve nauwkeurigheid van de stroomsnelheid is 1 %. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat wanneer een krib verlaagd wordt met ongeveer 1 m dit een snelheidsreductie van ongeveer 5 % in de hoofdgeul tot gevolg heeft. Aangezien de snelheid een van de bepalende factoren is voor de erosie en sedimentatie wordt deze 5 % als uitgangspunt gebruikt voor het bepalen van de nauwkeurigheid. Het is in dit stadium niet mogelijk om iets te zeggen over de absolute nauwkeurigheid.

De gewenste nauwkeurigheid met betrekking tot bodemschematisatie en schematisatie van de kribben is nog onderwerp van discussie. De meetnauwkeurigheid die wordt gehaald bij bodemmetingen is doorgaans 2 dm.

Omdat het probleem bestaat uit grootschalige en kleinschalige effecten op zowel het gebied van de morfologie als op het gebied van de stroming kan onderscheid gemaakt worden in bijvoorbeeld een detailmodel en een overzichtsmoedel. Hierbij moet gedacht worden aan het onderscheid tussen de ontgrondingskuil en het zakken van de bodem van de rivier als gevolg van de aanwezigheid van kribben. Zo kan bijvoorbeeld voor het berekenen van de stroming rond kribben een gedetailleerd 3D-model gemaakt worden waaruit afgeleid kan worden welke weerstand ingebouwd moet worden in een 2D-model om daarin goed de kribben te modelleren, zodat de grootschalige morfologische ontwikkelingen in een rivier bepaald kunnen worden. Bij modellering van een bocht is het van belang om de spiraalstroming goed weer te geven. De extra lengte die nodig is om dat te realiseren stelt hoge eisen aan de combinatie van een overall berekening en detailberekening.

Verder is het van belang het verschil te onderscheiden in horizontale en verticale maten. In beide richtingen zijn de effecten van een dusdanig ander karakter dat een andere gridafstand vereist is. Daarnaast kan in het horizontale vlak ook onderscheid gemaakt worden in dwars- en langsrichting.

3 Inventarisatie beschikbare modellen

3.1 Aanwezige modellen

Uitgaande van de randvoorwaarden, eisen en criteria zoals deze zijn genoemd in vorig hoofdstuk wordt een keuze gemaakt voor het in de toekomst te gebruiken rekenmodel. Hiertoe wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de modellen die op het moment op de markt zijn tezamen met hun mogelijkheden en beperkingen. Daarbij wordt in eerste instantie uitgegaan van de versie zoals deze officieel is uitgebracht. Pas in een later stadium wordt ingegaan op ontwikkelingen die gaande zijn en ontwikkelingen die gewenst zijn om te kunnen voldoen aan de gestelde eisen.

Voor wat betreft de 3D-modellen¹ die op het moment op de markt zijn kan grofweg een onderscheid gemaakt worden in twee soorten, te weten:

- Modellen die gebruik maken van een eindige differentie methode
- Modellen die gebruik maken van een eindige elementen methode

Het voordeel van modellen die gebruik maken van de eindige elementen methode is dat ze in principe nauwkeuriger zijn dan de modellen die gebruik maken van de eindige differentie methode, doordat ze de mogelijkheid bieden om ongestructureerde roosters door te rekenen. Het nadeel hiervan is echter dat de benodigde rekentijd groot is en dat de keuze uit turbulentiemodellen en dergelijke zeer beperkt is. Met name dit laatste vormt een groot bezwaar in dit project. Bovendien is grote nauwkeurigheid van de oplossing in vloeistoffen maar een betrekkelijk voordeel, omdat de gehanteerde vergelijkingen geen 100% benadering vormen van de werkelijkheid. Vandaar dat reeds in dit stadium de mogelijkheid om te rekenen met een eindig elementen pakket afvalt. Daarnaast hebben de ontwikkelingen van dergelijke pakketten de laatste jaren vooral plaatsgevonden in de hoek van staalconstructies en dergelijke.

In onderstaand overzicht zal dus enkel worden ingegaan op de modellen die gebruik maken van de eindige differentie methode. Binnen deze categorie kan onder andere onderscheid gemaakt worden tussen de modellen waarbij uitgegaan wordt van een hydrostatische drukverdeling en modellen die uitgaan van een niet-hydrostatische drukverdeling. Naast de modellen die hieronder genoemd worden, is nog een groot aantal andere modellen op de markt, maar deze bieden allemaal minder functionaliteit dan de genoemde modellen, zodat ze bij voorbaat al afvallen.

Wat betreft het onderbrengen in categorieën van de verschillende modellen is gekozen voor het onderscheid in hydrostatische en niet-hydrostatische drukverdeling (volledige 3D-benadering), omdat dat een belangrijk aspect is bij het bepalen van het stroombeeld en dus de morfologische activiteit rond een krib. De voorwaarde om uit te kunnen gaan van een hydrostatische drukverdeling is dat de afmetingen en verschillen in snelheid en dergelijke in de verticale richting relatief een stuk kleiner zijn dan in de horizontale richtingen. Bij constructies is dit in het algemeen niet het geval. Buiten het feit dat de afmetingen van een

¹ In het verleden is een model ontwikkeld om ontgrondingen rond kribben te berekenen. Dit is het model DUCT-SUSTRRA van G.J.C.M. Hoffmans. Dit is echter een 2DV-model en wordt hier dus niet beschouwd [Hoffmans, 1992].

constructie van gelijke orde van grootte zijn in alle richtingen, speelt ook mee dat de druk in de buurt van constructies in het algemeen niet als hydrostatisch verdeeld kan worden verondersteld.

Onder aanname van hydrostatische druk

- ✓ Delft3D (WL | Delft Hydraulics)
- ✓ MIKE3 (DHI)
- ✓ TRIWAQ (RWS)
- ✓ FL-3 (Svasek, [Versteegh, 1989])

De overeenkomst tussen bovenstaande modellen is dat ze alle vier zijn ontwikkeld vanuit een hydraulische achtergrond, maar met Delft3D en TRIWAQ is meer ervaring op het gebied van rivieren. MIKE3 is meer ontwikkeld vanuit de kusten en estuaria problematiek. Het programma FL-3 is een beetje een buitenbeentje. Dit programma maakt als enige gebruik van een in de ruimte variërende diffusiecoëfficiënt om de gemiddelde lokale turbulentie te simuleren. Dit in tegenstelling tot de andere drie modellen die gebruik maken van meer gecompliceerde turbulentiemodellen. Het gebruik van een diffusiecoëfficiënt, die slechts in de ruimte varieert en niet in de tijd, leidt tot grotere onnauwkeurigheden.

Alle vier de pakketten maken gebruik van de 3D-ondiepwatervergelijkingen en Delft3D, MIKE3 en TRIWAQ van sigma-transformatie. Sigma-transformatie is een methode waarbij het aantal lagen vastligt en dus de dikte ervan in de tijd varieert als gevolg van het variëren van de waterstand. Het voornaamste onderscheid tussen deze vier zit verder in het feit dat Delft3D en MIKE3 modules hebben voor waterbeweging, sedimenttransport, waterkwaliteit, terwijl TRIWAQ en FL-3 enkel een module hebben voor de waterbeweging. Daarnaast is MIKE3 ook in staat om te rekenen zonder de aanname van hydrostatische drukverdeling.

Opgemerkt wordt hier dat een nieuwe versie van de Delft3D familie in de maak is, genaamd Delft2D_Rivieren. Dit pakket is gericht op een optimale weergave van het overall stroombeeld in rivieren en de morfologie. Het zal ook met gegradeerd beddingmateriaal kunnen rekenen. Dit pakket is met opzet 2D gedoopt omdat de morfologische berekeningen gebaseerd zijn op dieptegemiddelde snelheden. De hydraulische berekening verloopt met Delft3D, maar daarbij wordt wel uitgegaan van één enkele laag en bovendien wordt de hydrostatische drukverdeling als uitgangspunt gebruikt.

Bij bovenstaande opsomming moet vermeld worden dat er op het moment plannen zijn om tot één modellenstelsel voor de Nederlandse markt te komen. Dit kan dus invloed hebben op de ontwikkeling van zowel Delft3D als TRIWAQ. Dit zal echter niet op korte termijn gebeuren (5 jaar), zodat hier vooralsnog geen rekening mee wordt gehouden.

Onder aanname van niet-hydrostatische druk

- ✓ CFX
- ✓ Fluent
- ✓ Tascflow
- ✓ Phoenix
- ✓ Easy Flow (versie van Phoenix met een eenvoudiger user-interface)
- ✓ Star-CD
- ✓ MIKE3

De eerste zes pakketten vallen in principe alle onder de noemer CFD, Computational Fluid Dynamics [Kruisbrink, 1992]. Dit staat voor de numerieke berekening van stromingen in de ruimste zin des woords. Fysische processen als impuls-, massa-, warmtetransport kunnen worden gesimuleerd, maar ook het berekenen van de beweging van vaste deeltjes, mengen, concentraties en chemische reacties is mogelijk. Deze pakketten worden voor een groot deel toegepast in de procestechologie en de chemische industrie en zijn met name ontwikkeld voor toepassingen in gesloten systemen.

Zij bieden alle de mogelijkheid om complexe geometrieën te berekenen met een groot scala aan turbulentiemodellen en bijvoorbeeld verbrandingsmodellen ter ondersteuning. Voor het genereren van een rooster maken alle zes gebruik van een body-fitted-grid, zodat elk detail gemodelleerd kan worden. Het is echter niet bij alle pakketten mogelijk om te rekenen met een echt vrij wateroppervlak, hoewel dat in enkele gevallen wel gesimuleerd zou kunnen worden door het invoeren van een tweefasenstroming.

Daarnaast is de mogelijkheid om sediment in te voeren in het model in sommige gevallen wel aanwezig, maar het is niet eenvoudig. Het gebeurt door het volgen van individuele deeltjes in tegenstelling tot de pakketten die gevalideerd zijn voor waterbeweging en morfologie, waarbij totale sedimenttransporten worden berekend, zodat ook de bodem verandert als gevolg van bepaalde ingrepen.. Wel bestaat de mogelijkheid om CFD pakketten uit te breiden met een sediment model. Iets dergelijks heeft HR Wallingford gedaan met het pakket Phoenix, zodat dat nu in staat is om sedimenttransporten te berekenen.

De bezwaren bij bovengenoemde pakketten, zoals het niet kunnen rekenen met een vrij wateroppervlak en het niet kunnen berekenen van bodemveranderingen, zijn bij MIKE3 niet aanwezig, omdat dat specifiek ontwikkeld is voor toepassingen met sediment en een vrij wateroppervlak.

3.2 Vergelijking van aanwezige modellen

In voorgaande paragraaf is een aantal modellen genoemd zonder in te gaan op hun voor- en nadelen en wat dat betekent voor het berekenen van stroming rond een krib. In het kader van de definitiestudie moet echter wel een keuze worden gemaakt. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende modellen en een waardeoordeel voor een aantal eisen zoals deze zijn genoemd in hoofdstuk 2. Niet alle eisen komen hier aan de orde, omdat ze niet allemaal relevant zijn in dit stadium van de studie of omdat ze voor alle modellen gelijk gewaardeerd worden.

	Delft 2d_R	Delft 3d	MIKE 3	TRI WAQ	FL-3	CFX	Fluen t	Tasc flow	Phoe- nics	Star- CD	Easy Flow
Volledige 3D benadering	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Ingewikkelde geometrieën	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Sediment	+	+	+	-	-	+-	+-	+-	+	+-	+-
Morfologie	+	+-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Delft 2d_R	Delft 3d	MIKE 3	TRI WAQ	FL-3	CFX	Fluen t	Tasc flow	Phoe- nics	Star- CD	Easy Flow
Vrij wateroppervlak	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+ -	+
Rooster generatie	+	+	+	+	?	+ -	+ -	+ -	+ -	+ -	+ -
Kromlijng rekenen	+	+	-	+	?	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Ontwikkel- mogelijkheden	+	+	-	+ -	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaarheid	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-

Tabel 1 Vergelijking van genoemde 3D-modellen

In bovenstaand schema kan een onderscheid gemaakt worden tussen de pakketten die sterk zijn in het doorrekenen van grootschalige situaties met waterbeweging en morfologie aan de ene kant (Delft2D_Rivieren, Delft3D, MIKE3) en pakketten die sterk zijn in het doorrekenen van stroming zonder aanname van hydrostatische drukverdeling in complexe constructies aan de andere kant (CFX, Fluent, Tascflow, Phoenix, Star-CD en Easy Flow). Omdat TRIWAQ en FL-3 geen module hebben om sedimenttransport uit te rekenen vormen zij geen optie in het verdere verloop van deze studie.

Uit de beschikbare modellen blijkt dat een onderscheid gemaakt moet worden tussen een grootschalige aanpak en een aanpak in detail. Vooral nog zal voor de grootschalige aanpak een keuze moeten worden gemaakt tussen Delft2D_Rivieren, Delft3D en MIKE3 en voor de kleinschalige aanpak zou een keuze kunnen worden gemaakt uit de overige pakketten, hoewel Delft3D of MIKE3 op de wat langere termijn ook mogelijkheden bieden om in detail te rekenen. Zeker op termijn zal het enige voordeel van enkele van de overige pakketten zijn dat die met een body fitted grid werken; dat is iets dat niet gepland is in Delft3D en (voor zover bekend) MIKE3. De vraag is echter of dat voor de berekening van de stroming bij een krib zo relevant is.

Voor de vergelijking van Delft3D en MIKE3 wordt in eerste instantie verwezen naar een onderzoek van de universiteit van Hannover [Weilbeer et al., 1997], waarbij Delft3D en de 2D-versie van MIKE3 met elkaar vergeleken zijn voor een bepaald traject van de Rijn. Daaruit is gebleken dat beide ongeveer gelijk presteren wat betreft functionaliteit en dergelijke met rechte lijnige roosters, maar dat Delft3D superieur is wat betreft de kromlijngige roosters. Aan de andere kant heeft MIKE3 het voordeel dat het reeds in staat is om te rekenen zonder de aanname van hydrostatische drukverdeling. Delft2D_Rivieren is op dit moment het beste pakket voor de berekening van overall stroombeelden en morfologische processen in rivieren.

Het is echter niet zo dat er geen ontwikkelingen plaatsvinden voor Delft3D op het gebied van de niet-hydrostatische drukverdeling. Op het moment wordt binnen WL hard gewerkt aan een researchversie van Delft3D waarbij hydrostatische drukverdeling geen voorwaarde meer is. Dit heeft ondertussen geresulteerd in een werkend rekenmodel, dat echter nog niet is geïmplementeerd in Delft3D. Dit geeft ook meteen een van de grootste voordelen aan van Delft3D ten opzichte van MIKE3. Aangezien WL Delft3D zelf ontwikkeld heeft, beschikt het over de code en is dus in staat om zelf de gewenste ontwikkelingen uit te voeren.

Wat betreft het mogelijke pakket voor de detailberekeningen geldt dat alle pakketten min of meer eenzelfde functionaliteit bieden. In dat geval zou de keuze voor CFX een logische keuze zijn, omdat WL hier reeds een licentie van heeft. Bovendien loopt op het moment speurwerk waarin Delft3D gekoppeld wordt aan CFX. Het gaat hier om een waterkrachtcentrale waarbij de grovere aanstroming met Delft3D wordt bepaald en de gedetailleerde stroming in de turbine-opening met CFX.

Omdat blijkt dat geen van de nu beschikbare pakketten alle wensen vervult, is op het moment geen eenduidige keuze mogelijk. Daarom moet gekeken worden naar wat de mogelijkheden op korte termijn en de wensen op lange termijn zijn. In verband met de gewenste ontwikkelingsmogelijkheden die hieruit voortvloeien is het logisch om een keuze te maken voor Delft3D. In het volgende hoofdstuk zal in detail worden ingegaan op het modelsysteem Delft3D, de huidige mogelijkheden en ontwikkelingen en de gewenste ontwikkelingen in de toekomst.

3.3 Flankerende ontwikkelingen

Buiten de ontwikkelingen die gaande zijn met betrekking tot Delft3D wordt in een geheel andere hoek ook aan zaken gewerkt die een relatie hebben met dit project. Hierbij kan gedacht worden aan de zogenaamde Large Eddy Simulation (LES). Dit is een alternatieve rekenmethode voor de simulatie van turbulente stroming in ondiep water. In dat geval is er sprake van 3D turbulentie met een kleine lengteschaal in combinatie met grootschalige horizontale neren.

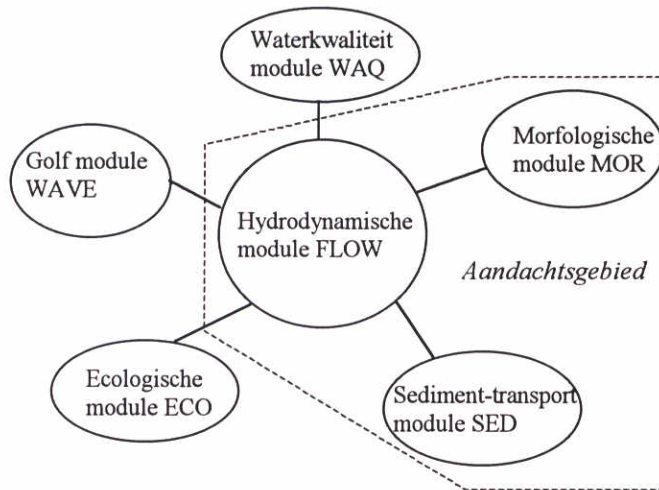
Op dit moment moeten beide met hetzelfde turbulentiemodel worden beschreven en dat levert fouten of een extreem groot aantal rekenpunten op. Zodra LES gebruikt wordt, worden de grote wervels berekend en wordt enkel voor de kleine wervels een turbulentiemodel gebruikt. Omdat die grote wervels vaak de oorzaak zijn van de processen die een rol spelen bij bijvoorbeeld uitwisseling in kribvakken kan dit een betere benadering opleveren.

Een ontwikkeling die parallel loopt aan LES is de ontwikkeling van Direct Numerical Simulation (DNS). Hierbij worden alle turbulente schalen vanaf de kleinste schaal opgelost. Het bezwaar hierbij is ook weer de rekentijd, maar een combinatie van LES met DNS is in de toekomst zeker denkbaar en zou voor onze toepassingen een oplossing kunnen betekenen. Hoewel niet met zekerheid te zeggen is over welke termijn hier gepraat wordt, is de verwachting dat binnen een jaar tot anderhalf jaar een werkend model beschikbaar zal zijn.

4 Delft3D

4.1 Beschrijving programma

Delft3D is het 3D-rekenpakket dat ontwikkeld is door WL | Delft Hydraulics waarmee in de loop der tijd een grote ervaring is opgebouwd. Het systeem is modulaair opgebouwd en heeft de onderstaande structuur. In bijlage A is een folder bijgevoegd van het systeem.

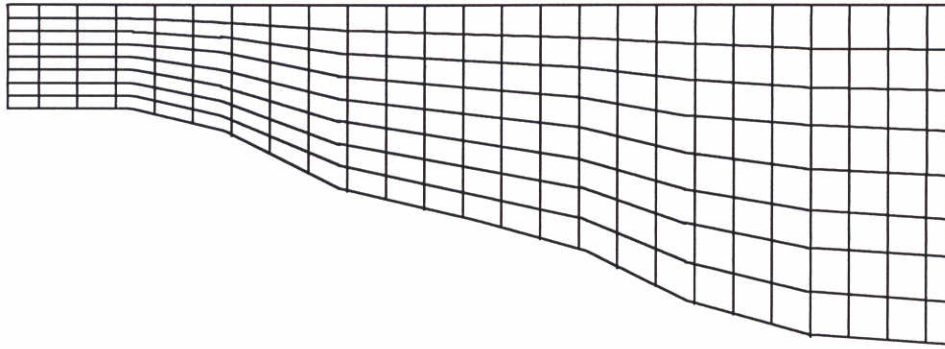


Figuur 3 Opbouw Delft3D

Met behulp van de diverse modules kan een groot aantal verschijnselen dat met water te maken heeft worden gesimuleerd, zoals golven, stromen, waterkwaliteitsproblemen en morfologische verschijnselen. Delft3D kan worden toegepast in estuaria, havens, meren en in dit geval de belangrijkste, complexe riviersystemen.

De basis van Delft3D is de hydrodynamische module Delft3D-FLOW. Alle andere modules zijn op één of andere manier gekoppeld met deze centrale module. Deze hydrodynamische module is in staat om zowel 2D- als 3D niet-stationaire stroming en transportverschijnselen op een kromlijinig, zogenaamd boundary fitted, rooster te berekenen. De 2D-optie kan gebruikt worden door het definiëren van slechts een enkele laag. Deze toepassing wordt met name gebruikt voor rivieren en wordt derhalve ook Delft2D_Rivieren genoemd.

Zodra meerdere lagen gedefinieerd worden om gebruik te kunnen maken van de mogelijkheden om 3D te rekenen wordt gebruik gemaakt van σ -transformatie. Dit betekent dat het aantal lagen een constante is en dat deze lagen gedefinieerd zijn als een vast percentage van de diepte (zie ook figuur 4). Zodra de waterstand of de bodem wijzigt zullen de lagen mee veranderen. Omdat het totaal aantal lagen constant blijft kan een hoge efficiëntie met betrekking tot rekentijd worden bereikt.



Figuur 4 Rooster met σ -transformatie

Zoals al genoemd wordt in Delft3D gebruik gemaakt van de ondiep-watervergelijkingen en wordt verondersteld dat de druk hydrostatisch is. Dit stelt een aantal beperkingen aan de verschijnselen die kunnen worden gesimuleerd. Met name in de buurt van constructies waar veelal sprake is van discontinuïteiten in de bodem is de aanname van hydrostatische drukverdeling niet altijd geldig. Op dit aspect wordt in de volgende paragraaf in detail teruggekomen.

Om de resultaten berekend met Delft3D te kunnen visualiseren wordt gebruik gemaakt van GPP (General Post Processing). Hiermee kunnen op diverse manieren de resultaten gepresenteerd worden. Hierbij moet dan gedacht worden aan onder andere vectorplots en 2D-contourplots van alle mogelijke parameters.

4.2 Mogelijkheden en ontwikkelingen Delft3D

Huidige mogelijkheden met Delft3D

De ontwikkelingen van Delft3D zijn op dit moment zo ver dat de stroming rond een ondoorlatende krib kan worden doorgerekend met dien verstande dat een gridafstand wordt gekozen, die een stuk kleiner is dan de afmetingen van de krib. Dit beperkt de mogelijkheden tot het doorrekenen van één enkele krib, omdat anders het aantal cellen te groot wordt. Daarnaast ligt de nadruk op het berekenen van de stroming, omdat nog steeds wordt uitgegaan van een hydrostatische drukverdeling, zodat verticale versnellingen niet worden uitgerekend en de ontgrondingsprocessen niet kunnen worden berekend.

Een ander punt van aandacht is dat het programma niet in staat is om schietend water correct te berekenen, omdat het in dat geval niet impulsbehoudend is. Het is echter wel dusdanig robuust dat het doorrekent. Dit levert problemen op bij het berekenen van de situatie waarbij de kribben juist zijn overstroomd, maar heeft voor de andere afvoeren geen gevolgen.

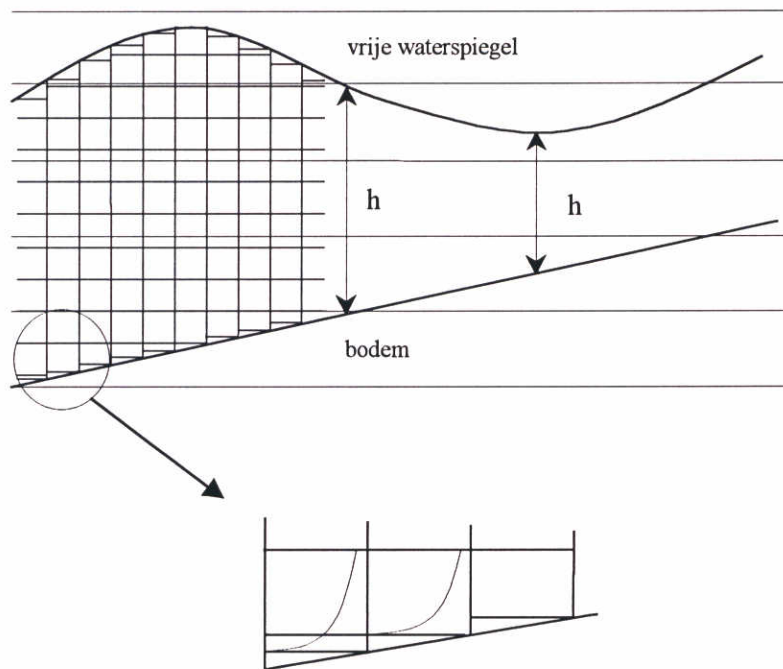
Huidige ontwikkelingen met betrekking tot Delft3D

De voor dit project belangrijkste lopende ontwikkeling is het implementeren van de mogelijkheid om te rekenen zonder de aanname van hydrostatische drukverdeling. Het betreft een onderzoeksversie die gebruik zal maken van vaste lagen in tegenstelling tot de reeds genoemde σ -transformatie en die de volledige 3D Navier Stokes vergelijkingen oplost. Het implementeren van de vaste-lagen-optie is reeds gebeurd en hiermee wordt eind 1998 een aantal sommen gemaakt. De daadwerkelijke implementatie van de volledige 3D Navier Stokes

vergelijkingen in Delft3D is op dit moment nog niet gereed, maar verwacht wordt dat een eerste versie eind maart 1999 beschikbaar is.

Het oplossen van de volledig 3D Navier Stokes vergelijkingen heeft tot gevolg dat de snelheden en versnellingen in alle richtingen kunnen worden uitgerekend. Het correct kunnen uitrekenen van deze snelheden en versnellingen is daarnaast ook nog afhankelijk van de keuze van het turbulentiemodel.

Het oplossen van de volledige Navier Stokes vergelijkingen levert een dusdanig gecompliceerde matrix op dat afgestapt is van de huidige roosteropbouw en dat gekozen is voor een vaste-lagen-optie. Dit houdt in dat voor het onderzoeksgebied, onafhankelijk van het rooster, een aantal horizontale lagen wordt gedefinieerd. Vervolgens wordt binnen het gebied van deze lagen het probleem gedefinieerd, zie figuur 5.



Figuur 5 Vaste-lagen-optie

Door middel van integratie van de continuïteitsvergelijking wordt vervolgens de waterstand uitgerekend en de positie van de vaste bodem bepaald. Daarna wordt bepaald in welke laag het wateroppervlak ligt en worden alle vergelijkingen opgelost. Het voordeel van de vaste-lagen-optie ligt in het feit dat ook bij een sterk gekromde bodem en topografie de juiste oplossing wordt gevonden voor de complexe 3D-vergelijkingen en dat een reductie van kunstmatige numerieke verschijnselen optreedt. Met name in het geval van kribben is dat belangrijk, omdat de helling van de krib dwars op de stroming ongeveer 1:3 is. Een andere reden om de vaste-lagen-optie toe te passen is het feit dat wanneer gebruikt wordt gemaakt van sigma-transformatie in combinatie met een sterk variërende bodem een moeilijk oplosbare matrix ontstaat. Met een dergelijk complexe matrix bestaat de kans dat geen oplossing wordt gevonden. Door het gebruik van de vaste-lagen-optie wordt deze matrix een stuk eenvoudiger, zodat te allen tijde een oplossing wordt gevonden. Dit verbetert het rekenproces.

Het nadeel van de vaste-lagen-optie is dat de lagen horizontaal zijn en dat de bodem van een rivier nooit horizontaal is. Dit resulteert in een bodem bestaande uit stapjes waar ongewenste effecten met betrekking tot schuifspanningen kunnen optreden. Met name in relatie tot de morfologische effecten is dit een vervelend bijkomend effect. Verwachting is dat dit probleem in de toekomst wel opgelost kan worden. Het probleem ontstaat doordat in de verticaal een logaritmisch snelheidsprofiel aanwezig is. Aan de bodem wordt de snelheid bepaald door het gemiddelde te nemen van de snelheid in deze onderste cel. Dit gemiddelde is dus afhankelijk van de grootte van de cel en dat betekent dat bij de overgang van een praktisch hele cel naar een hele kleine cel een plotselinge sprong in de snelheid ontstaat die kan leiden tot problemen. Dit probleem kan opgelost worden door aan de bodem het gemiddelde te nemen over twee cellen. Zie hiervoor ook het detail in figuur 5.

Een ontwikkeling die zijdelings verband houdt met de kribbenproblematiek is die van het implementeren van de bodemschermen-optie.

De ontwikkeling van Delft2D_Rivieren is in volle gang. Feitelijk kan er al mee gerekend worden, maar er blijft voorlopig nog veel te ontwikkelen.

Een ander aspect is de berekening van lokale erosiekuilen. Hiervoor is recent een aan Delft3D gerelateerde ontwikkeling gestart. Met eenvoudiger programma's kan dit soort erosie wel berekend worden (CLODES) en bekeken moet worden in hoeverre hier gebruik van kan worden gemaakt.

Verder moet gekeken worden naar de mogelijkheid om te rekenen aan een doorlatende krib. Binnen WL is een aantal modellen beschikbaar dat in staat is om te rekenen aan doorlaatbare constructies. Het nadeel van deze programma's is echter dat ze erg rekenintensief zijn, zodat het gecompliceerd is om ze te koppelen aan een 3D-rekenprogramma. Bovendien zijn deze programma's uitsluitend 2D in de verticaal. Wel is de expertise aanwezig om het doorlaatbaar zijn van de krib te modelleren door middel van een verhoogde weerstand.

4.3 Hoe adequaat beschrijft Delft3D verschillende stromingsverschijnselen?

Als gekeken wordt naar het stroombeeld rond kribben komt een aantal zaken naar voren, dat bepalend is voor het juist berekenen van het stroombeeld. Hieronder volgt een kort overzicht:

- ✓ loslaten van stroming op de kop van de krib
- ✓ zog achter de krib
- ✓ droogvallen en weer nat worden van locaties
- ✓ schietend water
- ✓ horizontale neren en vrije grenslagen in het kribvak
- ✓ doorlatendheid van de krib

Loslaten van stroming op de kop van de krib

Het correct berekenen van het loslaten van stroming op de kop van de krib is afhankelijk van het bepalen van de juiste locatie van de grenslaag. Hiervoor is het van belang dat de mogelijkheid bestaat om te kunnen rekenen zonder de aanname van hydrostatische drukverdeling. In voorgaande paragraaf is reeds genoemd dat op het moment een onderzoeksversie beschikbaar is waarbij dit mogelijk is.

Zog achter de krib

Voor het zog achter de krib kan hetzelfde gezegd worden als voor het loslaten van de stroming op de kop van de krib.

Droogvallen en onderlopen

Wat betreft het droogvallen en onderlopen van roosterpunten zijn er op het moment geen obstakels als het om kribben gaat. Elke keer wordt gecontroleerd hoeveel water er boven een bepaald roosterpunt staat en afhankelijk van het vooraf ingestelde criterium wordt vervolgens bepaald of dat roosterpunt droog is of niet. Als dat inderdaad het geval is dan wordt dat roosterpunt als het ware uitgezet. Andersom werkt de procedure exact hetzelfde.

Schietend water

In het geval van een afvoer waarbij de kribben juist overstroomd is sprake van schietend water. Dit is een situatie die niet precies berekend kan worden in het huidige Delft3D-FLOW. Op dit gebied zijn wel ontwikkelingen gaande, maar die hebben vooralsnog enkel betrekking op 2D toepassingen, zoals Delft FLS. Het programma is op dit moment echter dusdanig robuust dat, mocht in het rekenproces een keer voorkomen dat de overlaat niet geheel verdronken is, het toch doorrekenet. Dit betekent dat wanneer gekeken wordt naar de situatie waarbij de kribben juist overstroomd er niet in detail gekeken moet worden naar de stromingssituatie op de krib.

Horizontale neren

Met betrekking tot het berekenen van de horizontale neren in het kribvak is de flankerende ontwikkeling LES genoemd. Hiervan is in dit stadium echter moeilijk vast te stellen welke kant deze ontwikkelingen opgaan. Daarom wordt hieronder in het kort een overzicht gegeven van de verschillende opties met betrekking tot modellering van horizontale neren.

1. Delft3D-FLOW met (b.v.) $k-\epsilon$ turbulentiemodel voor 3D turbulentie maar nog zonder adequaat model voor de invloed van 2D horizontale wervels op impulsuitwisseling en stoftransport.
2. Delft3D-FLOW in combinatie met LES (Large Eddy Simulation) waarbij 3D turbulentie nog steeds door het $k-\epsilon$ turbulentie model wordt beschreven maar waarbij de grootste tijd- en plaatsafhankelijke 2D horizontale wervels door Delft3D-FLOW worden gesimuleerd terwijl de netto bijdrage van kleinere horizontale wervels, die nog groter dan de 3D wervels zijn maar binnen tijdstap en roostergrootte vallen, met een zogenaamd subgrid model wordt beschreven. Dit betekent dat de wervelstructuren die groter zijn dan circa 2 á 5 keer Δx gewoon worden opgelost door Delft3D.
3. LES met alleen een subgrid model voor 3D turbulente wervels waarbij alle 2D en de grotere 3D wervels in de tijd op het rekenrooster worden weergegeven. Op deze manier wordt LES veel toegepast in de industrie.
4. Bij Directe Numerieke Simulatie (DNS) wordt geen enkel turbulentiemodel toegepast en alle turbulente wervels worden in de tijd en op het rekenrooster weergegeven.

In relatie tot de eerste optie kan worden genoemd dat op het moment een onderzoek loopt naar een geschikt model voor de netto weergave van de invloed van alle tijdafhankelijke grote horizontale wervels.

Wat de tweede optie betreft zijn twee uitbreidingen nodig om Delft3D-FLOW in te zetten als LES systeem. Ten eerste een geschikt subgridmodel gericht op de subgrid 2D horizontale wervels zoals genoemd onder optie 2. Ten tweede moet de mogelijkheid worden geschapen om op de instroomrand random randvoorwaarden met betrekking tot snelheid op te leggen, zodat ongeordende wervels het systeem kunnen worden ingeleid. Onderzoek naar een geschikt subgridmodel is vergevorderd. Op het moment is een dergelijk model geïmplementeerd in een researchversie en ook al voor praktijkproblemen met succes toegepast.

Delft3D-FLOW beschikt momenteel over uitgebreide mogelijkheden om op elk roosterpunt op een instroomrand snelheid, debiet en waterstand voor te schrijven in de vorm van tijdreeksen of harmonische reeksen. Wat resteert om correct LES uit te voeren is het maken van een routine die de instroomranden van random snelheden en/of waterstanden voorziet behorende bij de kenmerkende grootschalige wervels die stroomopwaarts in de rivier aanwezig zijn.

Gezien de geometrische details zullen bij opties 1 en 2 ruwweg dezelfde roosterdimensies en tijdstappen (gerelateerd aan roostergrootte) gebruikt worden. Bij 1 dienen veel tijdstappen genomen te worden om een ingespeelde eindtoestand te bereiken terwijl bij 2 veel tijdstappen nodig zijn om goede statistische informatie te verkrijgen. Bij 1 moeten extra transportvergelijkingen voor de 2D horizontale wervels worden opgelost, terwijl bij 2 on-line de gemiddelde stroming wordt berekend met een module (FOUMOD) die al in Delft3D-FLOW zit voor het berekenen van de reststroming in getijdegebieden.

Met betrekking tot de laatste twee opties 3 en 4 kan vermeld worden dat voor rivier toepassingen (ondiepwater toepassingen) de horizontale roosterafstand vele malen groter kan zijn dan de verticale roosterafstand en ook moet zijn om de rekentijd niet onaanvaardbaar groot te laten worden. Dit heeft een dusdanig groot aantal rekenpunten tot gevolg dat beide opties in dit stadium afvallen.

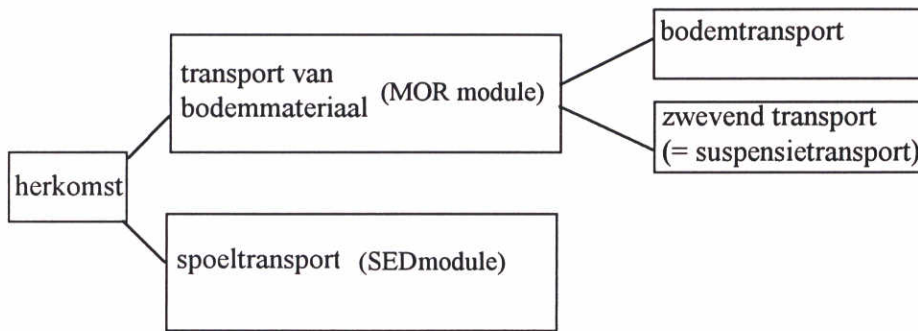
Doorlatendheid van de krib

Het doorlatend zijn van de krib is een aspect dat ondervangen kan worden door de ruwheid van de krib aan te passen. In dit stadium kan niet gezegd worden wat de waarde van deze ruwheid dan zou moeten zijn. Dat is iets dat bekeken moet worden zodra de eerste som gedraaid gaat worden. Een andere optie is de fysieke grens van de krib ietwat lager te leggen en de ruimte erboven op te vullen met cellen met een hoge weerstand. Op dit moment is binnen WL de kennis voorhanden om hier een goede schatting voor te maken.

4.4 Hoe adequaat beschrijft Delft3D verschillende morfologische verschijnselen?

De mogelijkheden binnen het Delft3D-systeem om grootschalige morfologische effecten in rivieren te berekenen, beperken zich op het moment tot de versie Delft2D_Rivieren. Dit wordt voor een deel veroorzaakt door het feit dat alle transportformuleringen uitgaan van een gemiddelde snelheid over de verticaal, hetgeen is ingegeven door het feit dat men vroeger wegens rekencapaciteit niet in staat was om een gedetailleerd 3D snelheidsveld te berekenen. Het gevolg hiervan is dat de morfologische module MOR enkel gekoppeld is aan Delft2D_Rivieren en niet aan Delft3D. In het verleden zijn wel al activiteiten ondernomen om de koppeling tot stand te brengen, maar dit heeft nog niet geresulteerd in een werkende versie van Delft3D met MOR.

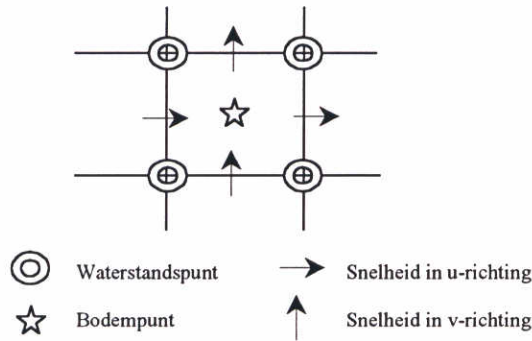
Als gesproken wordt over morfologie moet het onderscheid worden gemaakt tussen de diverse soorten sediment die zich in een rivier bevinden. In onderstaand overzicht wordt in het kort weergegeven welk onderscheid bestaat:



De MOR module is in principe ontwikkeld om grootschalige morfologische effecten te beschrijven in rivieren en is minder nauwkeurig dan de hydraulische module. Bij grootschalige effecten moet gedacht worden aan de locatie van zandbanken en de uitschuring in bochten en dergelijke. MOR is dus niet in staat om kleinschalige effecten als duinen en ribbels te beschrijven. Dit komt doordat de transportformuleringen uitgaan van dieptegemiddelde omstandigheden. Delft3D-MOR zal niet zonder meer in staat zijn om lokale ontgrondingen te berekenen. Om dergelijke kleinschalige effecten te kunnen berekenen moet in eerste instantie het 3D-stroombeeld berekend kunnen worden en van daaruit zou dan een koppeling gemaakt moeten worden met morfologieberekeningen.

Op dit moment zijn in de literatuur geen modellen bekend waarbij transport van bodemmateriaal volledig 3D wordt beschreven. Voor spoeltransport (zie overzicht) is dit wel het geval. Hiervan is zelfs een formulering aanwezig in Delft3D in de vorm van de sedimenttransport module SED. Om in detail bodemtransport te kunnen beschrijven zou dus een aangepaste theorie moeten worden ontwikkeld, deze zou gevalideerd moeten worden én geïmplementeerd in Delft3D. Een tussenweg is waarschijnlijk mogelijk waarbij MOR ingezet kan worden en gebruik gemaakt wordt van bijvoorbeeld de onderste laag uit Delft3D (hydrostatische optie) voor de grootte en de richting van de snelheid. Naast de snelheid zal ook turbulentie met een schaal die kleiner is dan de roosterafstand een rol spelen. Deze turbulentie zou meegenomen kunnen worden door het toepassen van parametrisatie. Hiertoe zijn in het verleden reeds aanzetten gemaakt. Met parametrisatie wordt bedoeld dat met behulp van een analytische uitdrukking en de waarde voor de schuifspanningen bijvoorbeeld een diepte van een ontgrondingskuil wordt bepaald.

Het koppelen van morfologie aan een nieuwe versie van Delft3D (zonder aanname van hydrostatische drukverdeling) zal ook inspanningen vergen vanwege het scheef door de roosterlaag lopende bodem en het staggerd grid dat gebruikt wordt. Voor een uitleg van staggerd grid wordt verwezen naar figuur 6.



Figuur 6 Roosteropbouw staggered grid

Spiraalstroming

Een van de fenomenen die zich met name manifesteren in rivieren is spiraalstroming. Dit is een stroming in de vorm van een spiraal met een horizontale as waarbij de stroming aan de oppervlakte zich in de richting van de buitenbocht beweegt en de stroming aan de bodem in de richting van de binnenbocht. Vanzelfsprekend heeft dit grote gevolgen voor de morfologie. Op het moment wordt deze stroming in Delft2D_Rivieren en Delft3D op een verschillende manier afgehandeld.

In Delft2D_Rivieren wordt deze stroming geparametriseerd als een spiraalstromingsintensiteit. Het transport van deze intensiteit wordt berekend met een vergelijking die afhankelijk is van de waterdiepte en de kromtestraal van de bocht. In Delft3D worden de bodemschuifspanningen aan de bodem rechtstreeks uitgerekend en hierin is dus impliciet de spiraalstroming verwerkt. De methode zoals in Delft2D_Rivieren gebruikt lijkt vooralsnog betere overeenkomsten met de werkelijkheid te geven. In geval gebruik gemaakt wordt van het bestaande Delft3D (hydrostatisch) zou voor de berekening van effecten op de morfologie ook een parametrisatie kunnen worden toegepast. Op het moment loopt een promotieonderzoek naar de uitwisseling tussen hoofdgeul en uiterwaarden waarin ook gekeken wordt naar het fenomeen spiraalstroming [Havinga, 1998].

Uit bovenstaande opmerkingen blijkt dat het combineren van een al of niet volledige 3D aanpak voor het stroombeeld niet eenvoudig te koppelen is aan morfologieberekeningen. Dat ligt aan de complexiteit van het probleem. Een stromingsberekening moet dan ook vooral juist zijn, zodat de correcte effecten voor de morfologie ervan kunnen worden afgeleid. Ook heeft de beperking van het aantal rekenpunten vanwege de benodigde rekentijden van morfologische processen een belangrijke invloed (zie § 4.4 Rooster). De kans bestaat dat het binnen het kader van dit project niet mogelijk zal zijn om het nieuwe Delft3D aan volledige 3D-morfologieberekeningen te koppelen. Voorzien wordt nu dat het mogelijk moet zijn om het bestaande Delft3D wel te koppelen aan de morfologie module, waarbij ook rekening gehouden kan worden met effecten van neren middels toepassing van parametrisatie of door de grootste tijdafhankelijke wervels op het rooster op te lossen door middel van LES.

4.5 Aspecten die betrekking hebben op het rooster

Naast bovengenoemde aspecten, die betrekking hebben op de fysische verschijnselen van de stroming rond kribben, is de ervaring dat de roosterlay-out een van de belangrijkste punten kan zijn in het op correcte wijze berekenen van het stroombeeld. De vorm en afmetingen van het rooster bepalen de mate van detail en de rekentijd van de berekeningen. Maar belangrijker is dat de kans bestaat dat het rooster van invloed is op de resultaten. In het verleden is gebleken dat loslatingen beïnvloed kunnen worden door de oriëntatie van het rooster. Met name aan de begrenzingen van het rooster kan dit een ongewenste invloed hebben. Zeker in dit geval waarbij het rooster relatief ingewikkelde vormen moet volgen, zijn zigzag-roosterranden, als gevolg van orthogonaliteitseis, waarbij dit fenomeen met name op kan treden niet te vermijden. Om deze gevoeligheid te testen in het geval van kribben zou het verstandig zijn om een berekening te maken met verschillende roosterlay-outs.

Een ander probleem dat zich voor kan doen in relatie tot het rooster en dan specifiek de roosterafstand, is het ontstaan van kunstmatige numerieke stromingen als gevolg van grote gradiënten. Met name in het geval van rivieren, waar in het algemeen sprake is van steile oevers zal dit fenomeen zich voordoen. Omdat de bodemgegevens sterk wijzigen over de grote van één roostercel kunnen problemen optreden met interpolatie en deze problemen kunnen tot gevolg hebben dat waterbeweging en sedimenttransport niet juist worden beschreven. Dit probleem kan opgelost worden door het toepassen van de vaste-lagen-optie zoals deze al genoemd is in § 4.2 of door het verkleinen van de roosterafstand.

In relatie tot de fysische verschijnselen is een zo klein mogelijke roosterafstand gewenst. Als een roosterafstand van 1 mm mogelijk zou zijn, zou het stroombeeld zonder problemen kunnen worden berekend. De beschikbare rekencapaciteit maakt dit echter onmogelijk. Het is dus belangrijk een optimum te vinden tussen rekentijd en gewenste details in het stroombeeld. Hierbij moet vermeld worden dat een mogelijkheid bestaat om de rekentijd te verkleinen wanneer enkel steady state gerekend wordt, hetgeen in dit geval alleszins acceptabel lijkt. Een afvoergolf zou in dat geval gesimuleerd kunnen worden door het berekenen van meerdere steady-state sommen met een verschillende afvoer.

De rekentijd is ook afhankelijk van welke modules van Delft3D gebruikt worden. Een module als FLOW heeft lang niet zo veel rekentijd nodig als MOR. Hiertussen kan wel een factor 200 tot 300 zitten, onder andere als gevolg van het feit dat de FLOW-module ieder keer moet worden aangeroepen. Dit vormt een extra reden om een niet te fijn rooster te kiezen en bijvoorbeeld de invloed van kleine wervels op morfologische processen via parametrisatie mee te nemen in plaats van ze in detail te berekenen.

Domeindecompositie en nesting

In deze definitiestudie is al meermalen gesproken over het verschil tussen grootschalige en kleinschalige verschijnselen. In dat kader is eerder al de optie genoemd om in detail te rekenen met CFX en voor het grote geheel te rekenen met Delft3D. In dit verband kan ook onderscheid gemaakt worden tussen Delft2D-Rivieren, het bestaande Delft3D (hydrostatisch) en een nieuw Delft3D (niet hydrostatisch). In verband met koppelen van verschillende roosters en modellen bestaan in het algemeen twee mogelijkheden, domeindecompositie en nesting.

Het belangrijkste onderscheid tussen beide is dat bij nesting sprake is van zogenaamd één-richtingsverkeer en dat bij domeindecompositie wel informatie uitgewisseld kan worden tussen de verschillende roosters.

Bij nesting wordt met behulp van een grof rooster de algemene waterbeweging uitgerekend en vervolgens worden de resultaten van deze berekening gebruikt als randvoorwaarden voor een

kleiner model dat een veel fijner rooster heeft. Dit is echter een eenmalige actie en kan dus ook alleen worden toegepast als de waterbeweging in het gebied met het fijne rooster geen invloed meer heeft op de stroming in het gebied met het grove rooster. In het geval van stroming rond kribben is deze interactie duidelijk wel aanwezig, zodat de optie van nesten niet bruikbaar is.

Een andere genoemde optie is domeindecompositie. Hierbij wordt een groot gebied opgedeeld in losse componenten, die min of meer afzonderlijk van elkaar rekenen. Vervolgens worden de resultaten op de randen met elkaar vergeleken door middel van zogenaamde domeindecompositie koppelingsvergelijkingen en als de verschillen te groot zijn, wordt een nieuwe berekening gemaakt, totdat de randvoorwaarden op elkaar aansluiten. Het grote voordeel van deze methode is dat relatief complexe geometrieën eenvoudiger gemodelleerd kunnen worden en dat plaatselijk roosterverfijningen kunnen worden toegepast.

Het onderzoek is op dit moment in het stadium dat een werkende versie met bovengenoemde optie bestaat met als beperking dat de roosters exact op elkaar aan moeten sluiten op de randen. Dit heeft een aantal beperkingen tot gevolg voor het verfijnen van roosters. Voor wat betreft dit project bestaat de wens om domeinen aan elkaar te kunnen koppelen onafhankelijk van de roosterconfiguratie, maar dit is op het moment nog niet mogelijk. Omdat op dit moment onzeker is wanneer deze ontwikkeling zal plaatsvinden, is het nu te vroeg om hier een uitspraak over te doen.

Grootte van het rekengebied

De beperkingen aan een rooster worden met name gesteld door de te accepteren rekentijd. In verband met dit project lijkt het verstandig een maximale rekentijd van 48 uur aan te houden. In dat geval is het maximaal aantal cellen afhankelijk van welke modules van Delft3D gebruikt worden. Als bijvoorbeeld enkel de FLOW-module wordt gebruikt is een groter aantal cellen toegestaan dan wanneer ook de MOR module wordt gebruikt. Omdat in dit geval uiteindelijk morfologische verschijnselen een belangrijke rol spelen moet vanaf het begin rekening worden gehouden met het feit dat in een later stadium berekeningen moeten worden gemaakt met morfologie. Het maximaal aantal roostercellen bedraagt in dat geval ongeveer 50.000 à 100.000. Mocht echter blijken dat dat niet voldoende is om een afdoende hydraulische berekening uit te voeren dan kan overwogen worden om voor deze berekening een roosterverfijning toe te passen (domeindecompositie).

Een mogelijkheid is om, indien het rekengebied te krap is voor een betrouwbare weergave van verschijnselen en er van uitgegaan mag worden dat er een repetitiefactor schuilt in de processen als gevolg van de kribben op rij, dat een verbetering hiervan bereikt kan worden door berekende verschijnselen op boven- en benedenranden in het rekenproces uit te wisselen.

5 Concept werkplan

5.1 Wat is nodig voor een berekening?

In onderstaande paragraaf wordt ingegaan op de activiteiten die moeten worden ondernomen om een berekening te kunnen maken. Hiervoor moeten de volgende aspecten aan de orde komen:

- keuze modelgebied en inzamelen prototype gegevens
- vaststellen randvoorwaarden
- genereren rooster
- invoegen bodemgegevens
- ijken model
- rekenen
- presenteren en tegelijkertijd controleren en interpreteren van de resultaten

Op een aantal van bovengenoemde aspecten wordt hieronder in het kort teruggekomen. Voor keuze modelgebied en inzamelen gegevens wordt voor deze studie verwezen naar § 4.4 Rooster.

Bepalen randvoorwaarden

Zoals al genoemd in hoofdstuk 2 worden de benedenstroomse randvoorwaarden bepaald door de waterstanden uit het IVR_DSS en de bovenstroomse randvoorwaarden door nog nader te bepalen afvoeren. Tegelijkertijd met de randvoorwaarden wordt ook het ijken van het model op de waterstand worden genoemd. Dit is een belangrijk aspect zodra grootschalige effecten bekeken worden, maar zolang het om kleinschalige effecten en stroombeelden rond één krib gaat, is dit niet van belang. Bovendien gaat het in deze studie om verschillen in waterstand als gevolg van een gewijzigde kribconfiguratie. Op dat moment gaat het er vooral om of het stroombeeld kwalitatief goed is.

Genereren rooster

In het geval van het berekenen van de stroming rond kribben moeten twee situaties onderscheiden worden. Aan de ene kant een waarbij op kleine schaal naar het stroombeeld rond één krib wordt gekeken én aan de andere kant de situatie waarbij naar de grootschalige gevolgen van een groter aantal kribben wordt gekeken. In beide gevallen is er sprake van een verschillend rooster en misschien zelfs wel van een verschillend rekenprogramma.

Voor het grofweg bepalen van het aantal benodigde cellen van de berekening die de basis vormt voor de morfologieberekeningen in de buurt van de kribben wordt uitgegaan van het modelleren van een enkel kribvak (twee kribben) en de helft van de breedte van de rivier. Voor wat betreft de krib wordt uitgegaan van een lengte van 60 m, een totale breedte van 20 tot 40 m en een hoogte van 7 m. De lengte van het kribvak is (h.o.h.) ongeveer 200 m. Daarnaast is een aanstroomlengte van een half kribvak (100 m) vereist en een stuk van 100 m benedenstrooms van de krib.

In eerste instantie lijkt een half kribvak als aanstroombuig lengte ietwat kort, maar omdat informatie op de benedenrand gebruikt kan worden als randvoorwaarde voor de bovenstroomse rand en op deze manier dus een aanzienlijk langer model verkregen kan worden, is dit wel geoorloofd.

In het horizontale vlak is ter plaatse van de krib in de lengterichting van de krib een gridafstand vereist van 2 m en in de dwarsrichting een afstand van 4 m. Deze maten komen voort uit de randvoorwaarden en eisen zoals deze gesteld zijn in hoofdstuk 2. Voor het bepalen van de gridafstand in de verticale richting wordt uitgegaan van een gridafstand die voor iedere cel een nog nader te bepalen percentage toeneemt vanaf de bodem in opwaartse richting. Hierdoor wordt het aantal cellen in verticale richting min of meer onafhankelijk van de waterdiepte, tenminste zolang de cellen aan de bodem voldoende klein blijven.

Bovenstaande bepalingen resulteren in een aantal van 100 cellen in de lengterichting, 35 cellen in de dwarsrichting en ongeveer 20 cellen in de diepterichting, oftewel 70.000 cellen in totaal. Het aantal van 20 cellen in de verticaal is bepaald aan de hand van eerdere onderzoeken waarbij sprake was van een soortgelijk probleem met een waterdiepte van ongeveer 5 m.

Invoeren bodemgegevens

Wat betreft de bodem is de tijd die nodig is om deze te definiëren afhankelijk van het feit of wordt uitgegaan van een prototype of van een testschematisatie met een vereenvoudigde bodem. In eerste instantie is het waarschijnlijk raadzaam om een initieel vlakke bodem te definiëren. Hierbij moet dan wel onderscheid worden gemaakt tussen het niveau van de bodem in de rivier en in het kribvak. In dat geval is het definiëren van de bodem eenvoudig. In de toekomst zal ter vergelijking met de krib bij Dodewaard echter een realistische bodem moeten worden gedefinieerd. De tijd die hiermee gepaard gaat is afhankelijk van hoe de gegevens worden aangeleverd.

Presenteren resultaten

De presentatiemogelijkheden van Delft3D zijn aanzienlijk. In principe wordt gebruik gemaakt van het reeds genoemde GPP (General Post Processing). Hiermee kunnen kleurenplots en dergelijke worden gemaakt.

5.2 Metingen

Uit voorgaande hoofdstukken is gebleken dat de waterbeweging rondom kribben complex is en dat het maken van een rekenmodel dat in voldoende mate alle verschijnselen weergeeft niet triviaal is. Het is daarom zeer belangrijk dat berekende resultaten kunnen worden vergeleken met metingen. Dit kan door het doen van in-situ metingen of schaalmodelonderzoek om aan de hand daarvan voldoende informatie ten behoeve van ijking en validatie te verkrijgen. RWS DWW zal zorgdragen voor gegevens uit het prototype. Hiervoor zullen metingen gedaan worden aan de nieuw aan te leggen krib bij Dodewaard. Een andere optie is gebruik te maken van metingen die reeds zijn gedaan in andere situaties.

Van de zijde van WL is de laatste jaren vooral aandacht besteed aan metingen in kribvakken in relatie tot scheepsgeïnduceerde bewegingen in combinatie met sedimenttransport. Hierover zijn ook enkele rapporten verschenen. Daarnaast is met name onderzoek gedaan naar lokale ontgrondingen als gevolg van vernauwingen. In het kader van FAP21/22 zijn ook uitgebreide metingen in Bangladesh gedaan naar effecten van doorlatende kribben. Van de resultaten van deze onderzoeken kan gebruik gemaakt worden tijdens dit onderzoek. In bijlage B is een kort overzicht gegeven van rapporten met betrekking tot genoemde metingen.

In geval van nieuwe metingen is een nauwe samenwerking gewenst om die zaken te meten die van vitaal belang zijn voor de vergelijking met de berekeningen. Hierbij kan gedacht worden aan luchtopnamen van stroombeelden, snelheidsmetingen in het kribvak en peilingen in het kribvak om de locatie van aanzanding te bepalen. Stroombeelden kunnen bijvoorbeeld zichtbaar worden gemaakt door voorwerpen in het water te gooien en deze te volgen met de camera. Het probleem dat hier optreedt is dat op deze manier enkel de stroombeelden aan de oppervlakte zichtbaar zijn. Het zichtbaar maken van stroombeelden op groter diepte is iets dat veel gecompliceerder is en waar nog over nagedacht moet worden. Wel kan een beeld verkregen worden van de snelheidsfluctuaties op grotere diepte door het doen van snelheidsmetingen in het kribvak.

5.3 Meerjarenplan

Het uitgangspunt bij het meerjarenplan is dat relatief eenvoudig moet worden begonnen en snel resultaat moet worden verkregen. Met name de gevolgen van een ingreep op de waterstanden zijn van belang. Daarna kunnen de rekenwijzen en -resultaten verbeterd worden en kunnen berekeningen worden uitgebreid naar meer gecompliceerde gevallen.

In de loop van de definitiestudie is gebleken dat de mogelijkheden om 3D te rekenen rond constructies op het moment beperkt zijn. Het is nu nog niet mogelijk om in detail alle 2D en 3D wervels en neren en de morfologische gevolgen daarvan door te rekenen. Het is al wel mogelijk om in een rivier, onder aanname van hydrostatische drukverdeling, het grove 3D stroombeeld te berekenen. Daarnaast kunnen ook de grootschalige 2D morfologische verschijnselen worden berekend. Omdat dit echter 2D is wordt hierbij gebruik gemaakt van dieptegemiddelde gegevens.

Zoals al genoemd in hoofdstuk 4 zijn op dit moment veel ontwikkelingen gaande op het gebied van Delft3D en het zal in de nabije toekomst (1999) mogelijk zijn om het 3D stroombeeld zonder aanname van hydrostatische drukverdeling te berekenen. De koppeling van deze toepassing met het berekenen van de morfologische aspecten zal echter niet op korte termijn tot stand kunnen komen en moet worden doorgeschoven naar een later stadium in dit project (2000-2001).

De details ten aanzien van de planning en de ontwikkelingen worden in onderstaand overzicht per jaar besproken.

1999

Als basis moet begonnen worden met het bouwen van een rooster voor een geschematiseerde situatie van een stuk rivier met twee kribben (zie hiervoor), alsmede van een groter stuk rivier met meer kribben om randvoorwaarden te leveren. Vooralsnog kan zowel een gekromd als een recht stuk rivier worden gekozen. Het eerste model wordt 2-kribbendetailmodel genoemd; het tweede het overall model. Het is belangrijk dat het 2-kribbendetailmodelrooster nog enige flexibiliteit heeft ten aanzien van vergroten/verkleinen aantal cellen en 2D/3D rekenen. Dit rooster kan dan als basis dienen voor alle berekeningen. Het overall modelrooster is alleen bedoeld voor Delft2D_Rivieren.

overall-model

Dit model is bedoeld om een overall stroombeeld te leveren en de overall bodemligging en sedimenttransporten voor een aantal debieten. Het rooster wordt geproduceerd met de beschikbare middelen en er wordt vanuit gegaan dat afhankelijkheid van de resultaten van het rooster hier niet zo'n rol speelt omdat de loslaatpunten voor de stroom duidelijk zijn. Vergelijking met in-situ metingen wordt echter zeer gewenst voor wat betreft de bodemligging.

Deze berekende gegevens worden gebruikt als randvoorwaarden voor het 2-kribbendetailmodel.

2-kribbendetailmodel

Als eerste moeten de roostergevoeligheidsberekeningen worden gemaakt zoals deze hierboven zijn genoemd. Vooropgesteld dat hier geen vreemde dingen uitkomen wordt vervolgens met dit rooster een berekening uitgevoerd met Delft2D_Rivieren in combinatie met MOR. Vergelijking van deze berekening met metingen is gewenst om te kunnen bepalen in welke richting verbetering van het rekenproces het beste gekozen kan worden.

Een volgende stap is waarschijnlijk het gebruik van huidig Delft3D (onder aanname van hydrostatische drukverdeling) waardoor meer detailinformatie van het stroombeeld in MOR gebruikt kan worden. Aanpassingen zijn vereist in verband met de invloed van spiraalstroomeffecten en lokaal sterke wervelvorming op de morfologie. In dit stadium kan ook bekeken worden hoever de ontwikkelingen met betrekking tot domeindecompositie gevorderd zijn, zodat dat ook meegenomen kan worden. Met name voor de effecten van lokale wervelvorming is literatuurstudie vereist. Voor deze werkzaamheden kan deels gebruik worden gemaakt van zaken die in het verleden reeds gemaakt zijn. Verwacht wordt dat het stroombeeld nog niet helemaal goed zal zijn, maar dat een duidelijk verbetering bereikt kan worden op het morfologiedeel.

Tegelijkertijd kan gestart worden met proefberekeningen van het stroombeeld met de nieuwe versie van Delft3D (niet-hydrostatische drukverdeling). Het verloop van het verdere traject is in grote mate afhankelijk van de resultaten van deze berekeningen. Als blijkt dat het stroombeeld correct wordt uitgerekend, kan de stap naar morfologie worden overwogen.

Het is wenselijk om aan het eind van 1999 in staat te zijn een uitspraak te doen over de invloed van bepaalde wijzigingen van kribconfiguraties op de waterstanden tijdens hoge afvoeren. In 1999 zal weinig tot geen aandacht worden besteed aan morfologie. Hoogstens wordt gekeken naar de koppeling van het huidige Delft3D met de MOR module. In deze richting is ook in 1998 reeds enige actie ondernomen.

2000

Er van uitgaande dat de volledige 3D-vergelijkingen op de juiste wijze zijn geïmplementeerd in Delft3D kan in 2000 worden bekeken of een directe koppeling met morfologieberekeningen zinvol is. Dit kan ook betekenen dat de keuze wordt gemaakt om niet de volledig 3D-morfologie te implementeren, maar dat wordt volstaan met een andere wijze van benadering.

In 2000 dienen in ieder geval modelleringen van diverse situaties tot stand te komen om voorbereid te zijn op een serie van berekeningen.

2001

In de laatste fase dienen met het beste model diverse situaties te worden berekend en geïnterpreteerd. Eventueel moet hiervoor de koppeling van Delft3D (niet-hydrostatisch) en morfologie tot stand worden gebracht.

Bij bovenstaand werkplan moet worden opgemerkt dat de tussentijdse resultaten als gevolg kunnen hebben dat een ander traject wordt gekozen. Het gaat hier in eerste instantie om de grote lijnen.

5.4 Kosten

Omdat in dit stadium geen goede indruk gegeven kan worden van de totale kosten van het project en omdat het ook niet mogelijk is om een exacte tijdsindicatie te geven van de duur van bepaalde berekeningen, wordt in onderstaande een overzicht gegeven van de kosten van bepaalde losse onderdelen. Met nadruk moet hier gezegd worden dat het hier om een schatting gaat van losse elementen. Het maken van één rooster in de vorm van een rechte bak kost dus ongeveer Hfl. 3000,-. Zodra een nieuw rooster gemaakt moet worden gelden dezelfde kosten weer.

Rooster rechte bak (70.000 punten)	Hfl. 3000,-
Rooster van prototype (70.000 punten)	Hfl. 8000,-
Basisgegevens verwerken en toekennen aan rooster	Hfl. 2000,-
Één som draaien	Hfl. 3000,-
Resultaten verwerken en interpreteren	Hfl. 2000,-

Literatuur

- Havinga, F.J. (1998). Case study Midden Waal, onregelmatige afvoer, Delft, 1998
- Hoffmans, G.J.C.M. (1992). Two-dimensional mathematical modelling of local-scour holes, TU Delft, Delft, juni 1992
- Kaze, S.A. (1998). Hydrodynamic modelling of vessel-induced water motion using Delft2D_Rivers. M.Sc. Thesis. He 009, IHE & WL | Delft Hydraulics, Delft, 1998
- Kruisbrink, A.C.H. (1992). De keuze van een CFD-pakket voor de sector IT, Waterloopkundig Laboratorium | WL, J 669, Delft, november 1992
- Mosselman, E. (1998). Morphological modelling of rivers with erodible banks. *Hydrological Processes* 12, p 1357-1370, John Wiley & Sons, Ltd., 1998
- Stelling, G.S. en Kester, J.A.Th.M. van (1994). On the approximation of horizontal gradients in sigma coordinates for bathymetry with steep bottom slopes. *International journal for numerical methods in fluids*, Vol. 18, p 915-935, John Wiley & Sons, Ltd., 1994
- Stelling, G.S. en Casulli, V. (1998). Numerical simulation of 3D quasi-hydrostatic free-surface flows. *Journal of hydraulic engineering*, Vol. 124, No. 7, July, 1998
- Verheij, H.J. (1997). Effectiviteit van kribben, bureaustudie. Waterloopkundig Laboratorium | WL, Q2360, Delft, december 1997
- Verheij, H.J. et al. (1991). Waterbeweging door scheepvaart op rivieren en in kribvakken, bureaustudie, Waterloopkundig Laboratorium | WL, Q1046, Delft, mei 1991
- Versteegh, J. (1989). Communications on hydraulic and geotechnical engineering. The numerical simulation of 3D flow through or around hydraulic structures. TU Delft, Delft, december 1989
- Weilbeer, H. et al. (1997). Bewertung von numerischen Modellen zur Simulation der Ausbreitung, Ablagerung und Resuspension von Schwebstoffen in Flüssen am Beispiel des Rheins. Hannover, november 1997

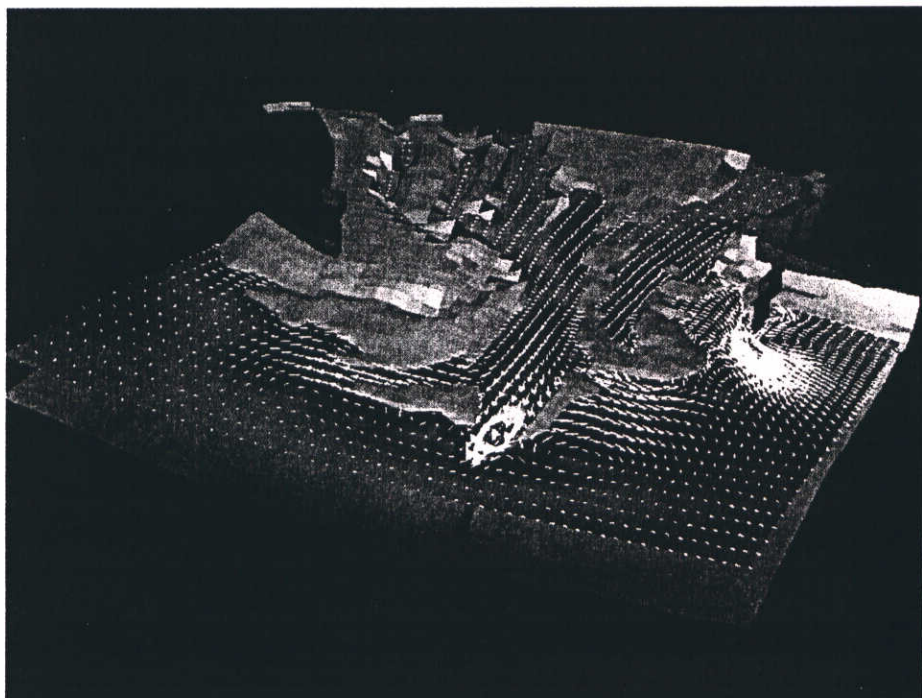
A Delft3D folder inclusief beschrijving FLOW-module en MOR-module

DELFT3D: another dimension

Increasingly, the designing of complex engineering projects and the management of water systems demands an integrated, multi-disciplinary approach. Figuratively speaking, one needs to be able to spin the problems around and examine them from many angles, not only from a spatial perspective, but also in terms of time. In response to this challenge, DELFT HYDRAULICS has developed a unique, fully-integrated, three-dimensional computer program: DELFT3D. This power package system, which is designed for coastal, river and estuarine areas, simulates flows, sediment transport, waves, water quality, morphological developments (bottom changes), and ecology. It is intended to be used by experts and non-experts alike, often at the same time, decision makers such as managers, regulators and governmental authorities, as well as consultants, contractors and engineers.

A few key features should be highlighted:

- linked, integrated programs
- cutting edge process knowledge built in
- user-friendly graphical interface.



Morphodynamics Waddenzee,
the Netherlands: strait between
Texel-Vlieland. Initial situation.



what it is: what it isn't

Spatially speaking, nature is three dimensional (3D). It extends in two planes horizontally - longitudinally and laterally - and on the vertical axis too. Natural processes are, of course, also three dimensional and inter-related. Hydrodynamics, for example, affects sediment transport, sediment transport influences morphology, and that in turn affects hydrodynamics. And so on, and so on. DELFT HYDRAULICS has always appreciated nature's complexity and approached its work accordingly. This understanding has now been translated into reliable, commercially available 3D software.

DELFT3D simulates six phenomena and their inter-relatedness: flows, sediment transport, water quality, waves, morphology and ecology. While suitable for a wide variety of situations, it will be used mostly for coastal, river and estuarine areas. DELFT3D consists of a number of tried, tested, and well-known modules, which are linked and integrated with each other. These modules, which we use ourselves at DELFT HYDRAULICS, include:

hydrodynamics module (TRISULA)

Simulates flows in relatively shallow water. Includes effects of tides, wind, density currents, waves, spiral motion and turbulence up to $k - \epsilon$. With integrated heat and mass transport solver. DELFT HYDRAULICS' front-running knowledge of stratified hydrodynamics is built into this package.

water quality module (DELWAQ/DELPAR)

Models far- and mid-field water quality problems. Includes several advection-diffusion solvers and advanced process modules. DELFT HYDRAULICS is on the cutting edge in the understanding of water quality.

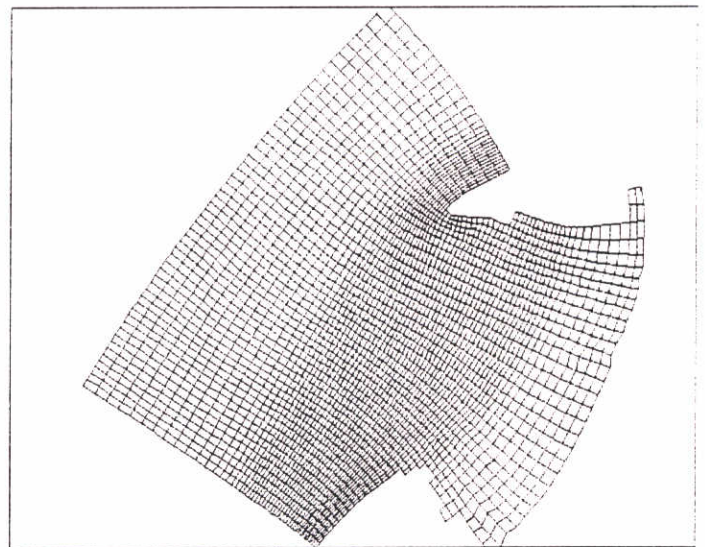
sediment transport module

Models equilibrium- and suspended-transport of sediment (sand or silty) using a variety of formulae. For rivers, the effects of spiral flow at bends are included. For coastal areas, the effects of wave motion on transport magnitude and direction are included. DELFT HYDRAULICS is on the cutting edge in knowledge of sedimentation and silt transport processes (which are increasingly important, because silt carries contaminants).

wave module (HISWA)

Computes the propagation of short-crested waves over an uneven bathymetry (bottom), utilizing varying water levels and velocity fields.

Curvilinear grid strait between Texel-Vlieland, the Netherlands.



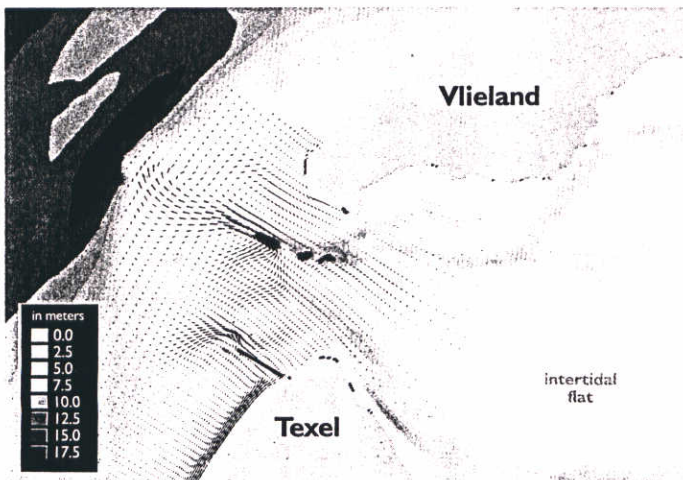
morphological module

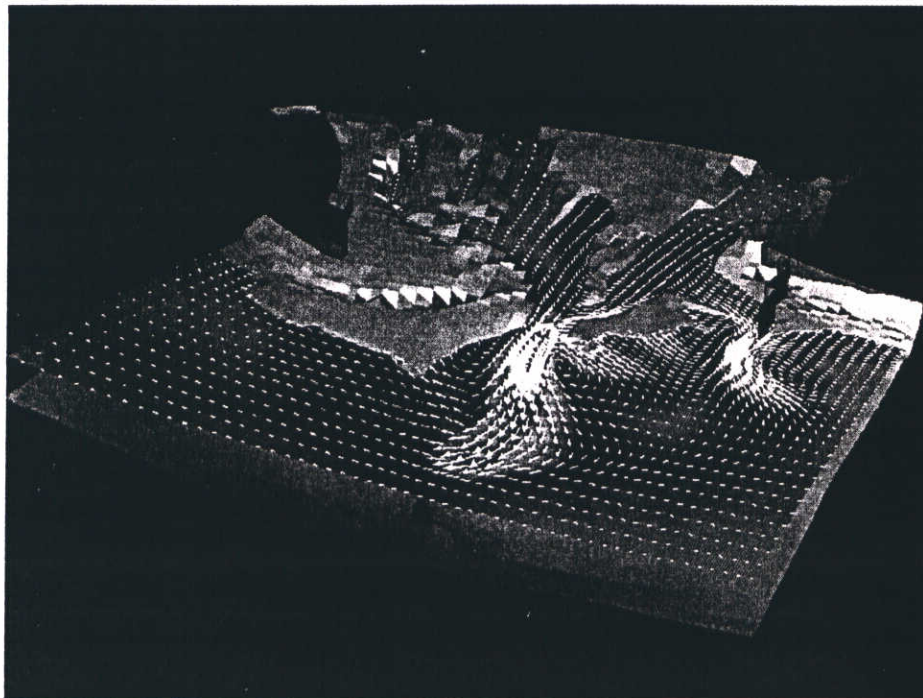
Computes bottom changes due to transport gradients and various types of boundary conditions. Keeps the user updated about the shape of things below. DELFT HYDRAULICS is in the forefront in this field.

ecological module

We have a variety of ecological modules that fit into the DELFT3D system. For example, modules describing the governing processes of biotic and abiotic ecosystems, and the interactions between them.

Overview strait between Texel-Vlieland, the Netherlands.





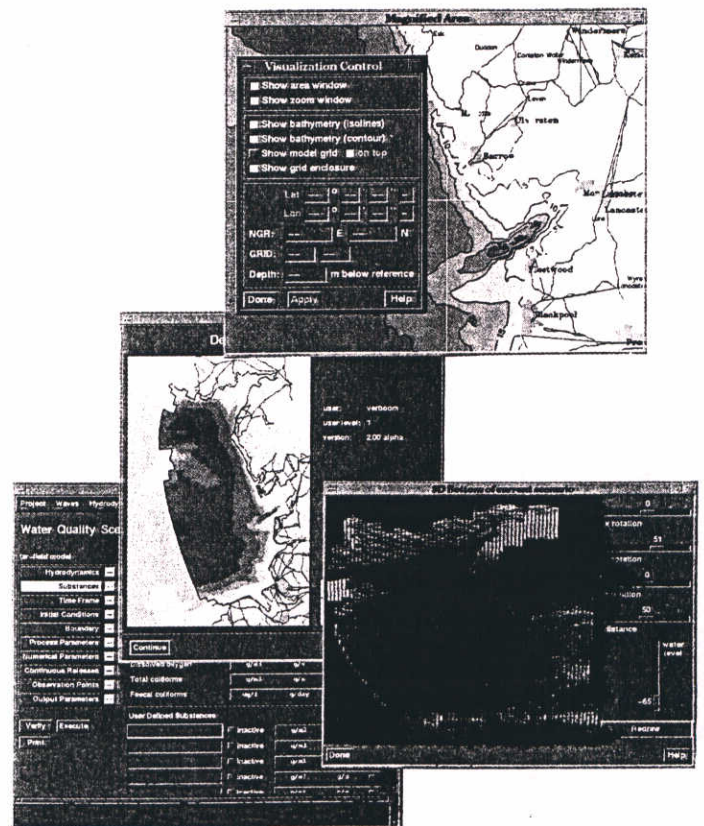
It is said that one picture is worth a thousand words (or formulae). This may be true. But it should be remembered that DELFT3D is not a virtual reality toy that pumps out colourful - but perhaps inaccurate - pictures. It is a scientific tool, based on our long-time research efforts, that is designed for managers, engineers, and others, people who need to look into real events - often murky and turbulent - and present and defend their findings in a clear and convincing manner.

other features and options

features

User-friendly graphical interface. Designed to facilitate a logical and structured application of the wide variety of models at your command. Features include data-entry and -management, visualization of model data and control of the computations. Another notable feature of the interface is the "Advanced Project Scenario Manager", which helps you keep track of where you started and what changes you have made: a kind of bookmark in your program. New scenarios can be created from zero, but they can also be derived from existing ones. Derivative scenarios are displayed as "descendent".

User interface DELFT3D.

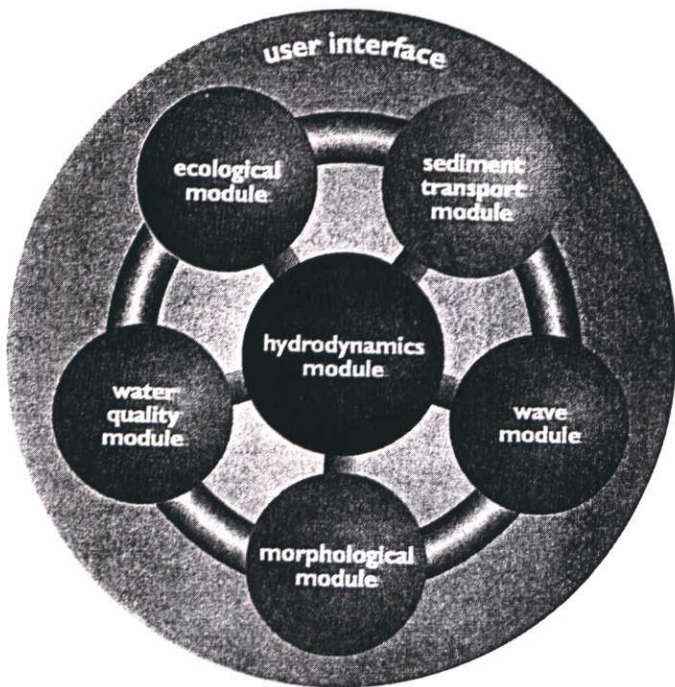


Morphodynamics strait between Texel-Vlieland, the Netherlands. Situation after 1 1/2 years.

DELFT3D is an integrated software package. That means it is more than the sum of its parts. In your water-system, for example, you can explore currents, morphology and water quality in sequence and be confident that the models are cross-referenced and inter-related, just as it is in nature. But, while too little information might be costly and dangerous, too much can be confusing. The graphical user interface is designed to tackle this headache.

The user interface facilitates an easy and structured application of the models, including data-entry and -management, visualization of model data and control of the computations. The interface assists you in the management of projects and scenarios, archiving of results, and logging of activities. It also provides error trails, import and export functions for data, model results, and graphical displays.

These programs, which can be bought separately or as an exceptionally nimble power package, allow you to visualize your results two- or three-dimensionally on your computer screen. Thus you can look at your system - an estuary, say - and examine the tides flowing in and out, gradually, fast forward or fast backwards. You can gather a wide, overhead perspective of your entire system. Or, on the contrary, zoom in on a particularly relevant and troublesome spot.



Curvilinear grid generator. A curvilinear grid simulates the boundaries of a natural system more accurately than the rectilinear grids normally found in computer software. This means a snugger fit between model and reality and the possibility of enlarging with high resolution and a great amount of detail complex and important areas of your system. This cuts computational costs and time.

Programs can be time-dependent or -independent.

options

DELFT3D may be purchased as an entire package or as individual programs.

If you wish, we can calibrate the programs for you, advise on the appropriate programs, and help you to use them to maximum advantage.

them built into the system - we are carrying out tests of the most likely combinations. The results of these tests are given in the Validation Documents that are supplied with the system.

technical talk

Hardware: DELFT3D works on HP 9000/700 and IBM RS/6000 Series work stations. Additional hardware requirements are:

- Memory: While the system can function on 32 Mb, 48 Mb is highly recommended. Depending on the models used, even more memory may be necessary.
- Hard Disk: Minimum 1 Gb
- Screen: either a console with a 19" colour monitor with 1280x1024 resolution, or an X-terminal with 10 Mb memory.

Software: Appropriate ANSI C and Fortran compiler must be available during installation of DELFT3D. During operations it uses the following software:

- X Window System and OSF/Motif libraries
- Uniras agX library and Unigraph+2000
- Oracle RDBMS

Graphical user interface is based on the OSF/Motif standard.

delft hydraulics

Decisive advice: from multidisciplinary policy studies tot design and technical assistance on all water-related issues.

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
telex 38176 hydelf-nl
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

validation

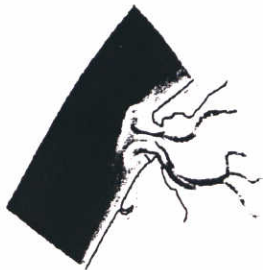
The validation of a compound modelling system such as DELFT3D requires continuous attention. Even though the individual components of the system have been thoroughly tested, the system as a whole must be tested and validated too. While it is impossible to test all possible combinations - due to the huge variety of

Delft 3D-MOR

the MOR module of Delft3D

The MOR module of Delft3D fully integrates the effects of waves, currents, and sediment transport on morphological development. It is designed to simulate the morphodynamic behaviour of rivers, estuaries and coasts on time-scales of days to years due to the complex interactions between waves, currents, sediment transport and bathymetry. This module simulates the processes on the curvilinear grid system as used in the FLOW module, which allows a very efficient and accurate representation of complex areas.

A steering module allows the user to link model inputs for the model components. The morphological process can be specified as a hierarchical tree structure of processes and sub-processes. Time intervals for the elementary processes are defined. Processes may be executed a fixed number of times, for a given time span or as long as a certain condition is not satisfied. The user is free to build up processes of increasing complexity, from a single call to the flow model to morphodynamic simulations spanning years, with varying boundary conditions. A variety of options are available to specify the time progress.



Initial bathymetry (left) and bathymetry after after 1.5 years (right) around Eierland dam (Texel - The Netherlands) due to effect of flow and waves.



areas of application

coastal areas

may include beaches, channels, sand bars, harbour moles, offshore breakwaters, groynes and other structures. The coastal areas may be intersected by tidal inlets or rivers and regions may be drying and flooding.

rivers

may include bars, river bends, bifurcations and may have arbitrary cross-sections. Various structures may be represented.

estuarine areas

include estuaries, tidal inlets and river deltas influenced by tidal currents, river discharges and density currents. Sediment can be sandy or silty. The areas may include tidal flats, channels and man-made structures, e.g. docks, jetties, land reclamations etc.

bottom change

- Contains several explicit schemes of the Lax-Wendroff type in update module
- Options on fixed or automatic time-stepping, fixed layers, and various boundary conditions.

special facilities

The link between the MOR module and the FLOW and WAVE modules occurs via a dynamic coupling. This allows a positive feedback between the processes which can affect water flow and sediment movement.

standard features

sediment transport

- Computes the bedload and (the equilibrium) suspended load on the curvilinear model grid as a local function of wave and flow properties and the bed characteristics
- Has two transport modes:
 - total transport (equilibrium) mode: bed load and equilibrium suspended load transport are added
 - suspended load mode: the entrainment, deposition, advection and diffusion of the suspended sediment is computed by a transport solver. Here, a quasi-3D approach is followed, where the vertical profiles of sediment concentration and velocity are given by shape functions
- Possess numerous options for the bed load and equilibrium suspended load transport formulations: Engelund-Hansen, Meyer-Peter-Muller, Bijker, Bailard and Van Rijn for sand, and a separate formulation for silt transport.
- Can take into account the effects of the bed slope on magnitude and direction of transport, and the effects of non-eroding layers for all formulations.
- Guarantees positive concentrations by applying a Forrester filter

WL | delft hydraulics

Decisive advice: from multidisciplinary policy studies to design and technical assistance on all water-related issues.

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Delft3D-FLOW

the FLOW module of Delft3D

The FLOW module of Delft3D is a multi-dimensional (2D or 3D) hydrodynamic (and transport) simulation program which calculates non-steady flow and transport phenomena resulting from tidal and meteorological forcing on a curvilinear, boundary fitted grid. In 3D simulations, the vertical grid is defined following the so-called sigma co-ordinate approach. This results in a high computing efficiency because of the constant number of vertical layers over the whole of the computational field.

areas of application

- River flow simulations
- Fresh water river discharges in bays
- Salt intrusion
- Thermal stratification in lakes, seas and reservoirs
- Cooling water intakes and waste water outlets
- Transport of dissolved material and pollutants
- Tide and wind driven flows (i.e. storm surges)
- Stratified and density driven flows
- Wave driven flows



Fresh water bell at the Rhine-Meuse river mouth.

The Netherlands

(picture made with separate post-processing package)



standard features

- Coriolis force
- Advection-diffusion solver included to compute density gradients with an optional facility to treat very sharp gradients in the vertical
- Inclusion of pressure gradients terms in the momentum equation (density driven flows)
- Space varying wind and barometric pressure, including the hydrostatic pressure correction at open boundaries
- Turbulence model to account for the vertical turbulent viscosity and diffusivity based on the eddy viscosity concept. Four options are provided: epsilon, k-L, algebraic and constant model
- Shear stresses exerted by the turbulent flow on the bottom based on a quadratic Chézy or Manning's formula
- Wind stresses on the water surface modelled by a quadratic friction law
- Simulation of the thermal discharge, effluent discharge and the intake of cooling water at any location and any depth in the computational field (advective-diffusion module)
- Facility to calculate drogue tracks
- Robust simulation of drying and flooding of inter-tidal flats (moving boundaries) for both 2D and 3D cases

special facilities

- Various options for the co-ordinate system (rectilinear, curvilinear and spherical)
- Built-in automatic switch converting 2D bottom-stress coefficient to 3D coefficient
- Built-in anti-creep correction
- Various options to model the heat exchange through free water surface
- Optional facility to calculate the intensity of the spiralling motion phenomenon in the flow (e.g. in river bends) which is especially important in sedimentation and erosion studies
- Optional facility for tidal analysis of output parameters using a separate program TRIANA

coupling with other programs

grid

The curvilinear grid and the model geometry are created by the RGFGRID grid generator that is a user-friendly, menu driven graphical user interface (GUI).

bottom topography

To prepare the model topography, a user-friendly, GUI-based, QUICKIN bottom topography editor is provided.

WAVE, MOR, SED, WAQ, PART, ECO

The hydrodynamic conditions (velocities, water elevations, density, salinity, etc.) calculated in the FLOW module are used as input to the other modules of Delft3D. The coupling between modules occurs through Graphical User Interfaces (GUI).

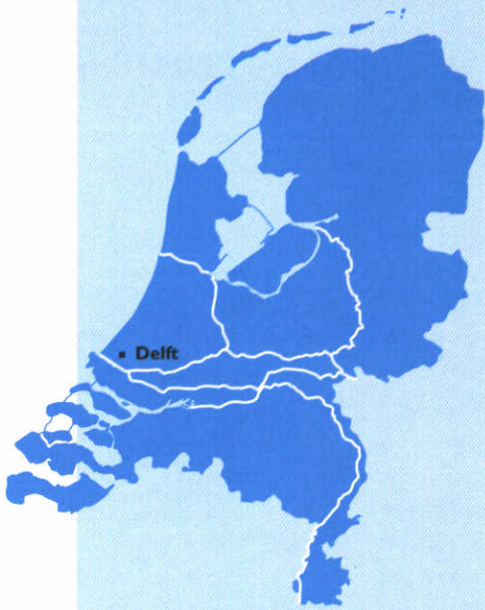
WL | delft hydraulics

Decisive advice: from multidisciplinary policy studies to design and technical assistance on all water-related issues.

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

B **Overzicht literatuur kribmetingen**

- Ariëns, E.E. (1993): Relatie tussen ontgroningen en steenstabiliteit van de toplaag. TUD, afstudeerverslag, Delft.
- DBW/RIZA (1987): Onderzoek naar de invloed van duwvaart op de water- en zandbeweging in het kribvak Druten. Nota 87.007, Arnhem.
- DBW/RIZA (1987): Onderzoek naar de invloed van duwvaart op de water- en zandbeweging in het kribvak St.Andries. Nota 87.008, Arnhem.
- DBW/RIZA (1987): Samenvattend verslag van onderzoeken naar de invloed van zesbakduwvaart op kribvakerosie. Nota 87.018x, Arnhem.
- Driel, G. van, D.G.Meijer en H.J.Verheij (1993): Scheepsgeïnduceerde waterbeweging in kribvakken - analyse prototypemetingen. WL, bureaustudie Q1046, Delft.
- FAP21/22 (19??): Final report (gaat om proeven met permeable and impermeable groynes).
- Hoffmans, G.J.C.M. (1992): Two-dimensional mathematical modelling of local scour holes. TU Delft, proefschrift, Delft.
- Lenders, R., B. van Maren en J-W.Mol (1998): Wind-, golf- en stromingsgeïnduceerd sedimenttransport in kribvakken langs de Waal - Kribvakmetingen Druten/Ochten juli 1996 tot april 1997. Vakgroep Fysische Geografie, Univ.Utrecht, afstudeerverslag, Utrecht.
- Mesbahi, J. (1992): On combined scour near groynes in river bends. IHE, M.Sc. Thesis, Delft.
- Nijdam, A. (1959): Onderzoek M1610. Waterloopkundig Laboratorium, verslag M610, Delft.
- RWS (1984): Kribvakmeting tbv zesbakduwvaart op de Waal bij Druten. RWS, nota 84.9, Arnhem
- Tey, C.B.(1984): Local scour at bridge abutments. Univ.of Auckland, report 329, Auckland.
- Verheij, H.J. en K.Vermeer (1987): Kribvakerosie door zes- en vierbakduwvaart op de Waal. WL, verslag modelonderzoek Q93/Q576, Delft
- Wal, M.van der (1990): Ontgroning bij een horizontale vernauwing. Waterloopkundig Onderzoek, verslag modelonderzoek Q935, Delft.



WL | delft hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

