

# Modellering bij de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek

Mostaert, F.; Maeghe, K.; Van Eerdenbrugh, K.; De Mulder, T.; Viaene, P.; Vereecken, H.; Laforce, E.;  
Meersschaut, Y

Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek

## 1. Inleiding

In de volgende nota wordt besproken waarom de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek modellen gebruikt, wat er gemodelleerd wordt en hoe modellering in een breder kader van meetnetten, databanken en onderlinge afstemming gezien wordt.

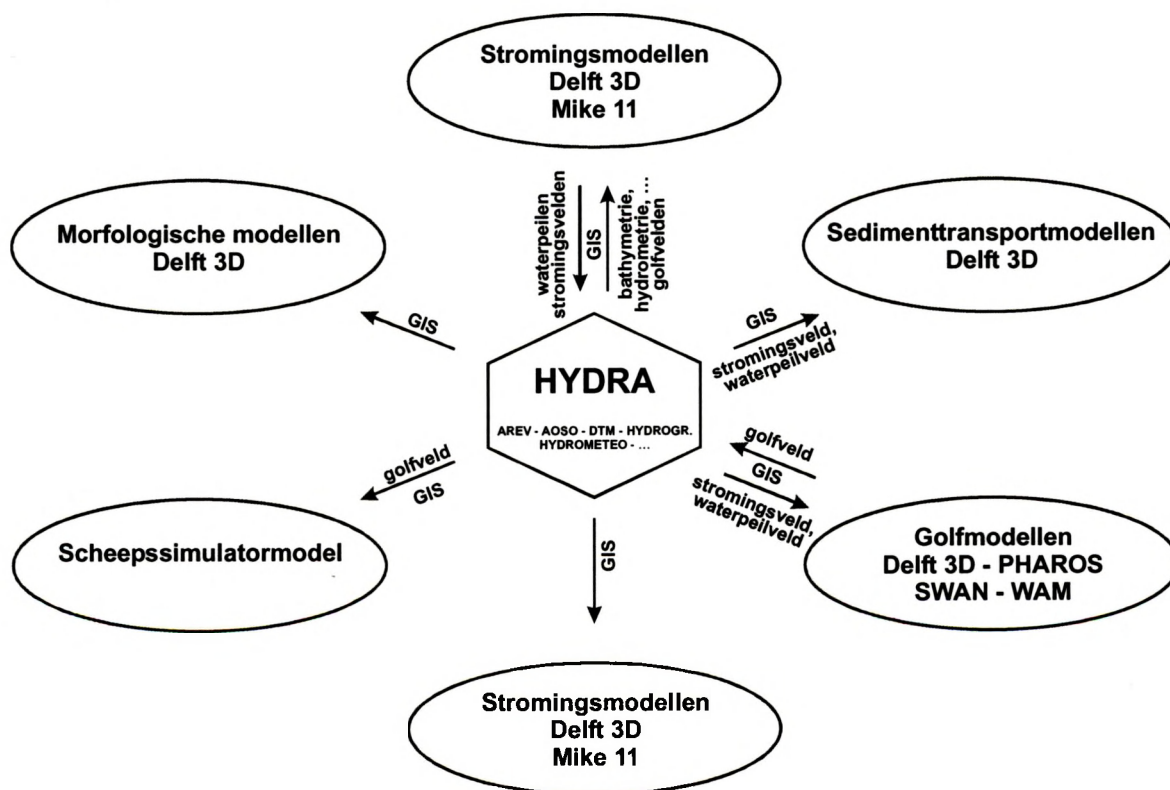
## 2. Wat is er beschikbaar op de afdeling?

De afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek voert met behulp van fysische en numerieke modellen onderzoek uit binnen de onderzoeksdomeinen hydraulica, morfologie, hydrologie, nautica en aquatische ecologie. Het beschikt hiervoor over specifieke applicaties, dit zijn softwarepakketten en de gepaste hardware.

HYDRA is het informatiesysteem waarin alle relevante gegevens inzake de watersysteemkennis gestockeerd worden, inclusief de resultaten van de modelleringen voor de diverse toepassingen.

De modellen worden in essentie gebouwd rond de drie strategische projecten van de afdeling:

- de waterbeheersing
- het nautisch onderzoek
- het hydraulisch onderzoek met inbegrip van de morfologie en van de milieugerelateerde waterbouwkunde



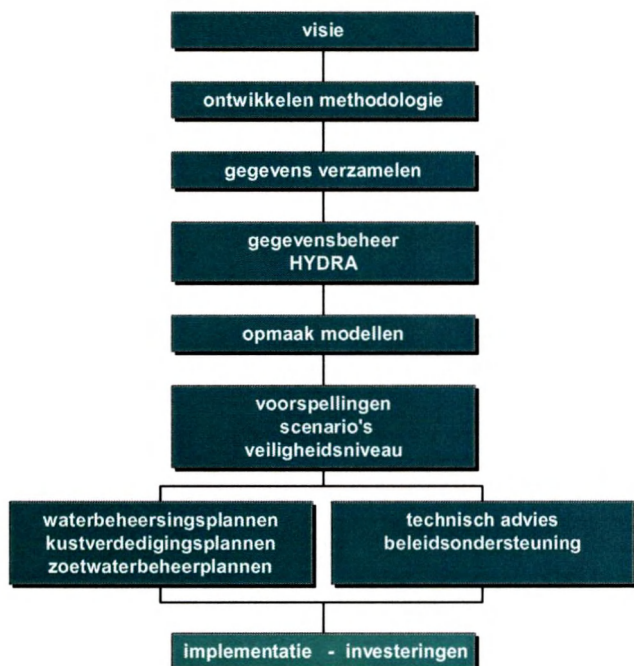
### 3. Modelleren in het kader van de waterbeheersing

Hieronder worden de inspanningen op het vlak van de modellering gekaderd in de algemene benadering, visie, organisatie en methodologie ontwikkeld voor de waterbeheersing van de waterwegen.

In de loop van het jaar 2000 heeft het project “Veiligheidsniveau Vlaanderen” het statuut gekregen van een strategische doelstelling van de minister onder de titel “Afstemmen van het waterpeilbeheer op de waterlopen en van het veiligheidsniveau van de zeewering op de principes van integraal waterbeheer en integraal kustzonebeheer”.

Dit impliceert dat volgens het voorgestelde concept alle initiatieven inzake zoetwaterbeheer en de waterbeheersing, *zowel langs de waterwegen met inbegrip van de Westerschelde als langs de kust*, gepland zijn tot 2004 en een belangrijk aandeel van de huidige activiteiten van WLH omvatten. Het betekent ook dat WLH het mandaat heeft om het Hydrologisch Informatiecentrum verder te ontwikkelen.

Net zoals voor de strategische projecten hydraulisch onderzoek en nautisch onderzoek zit het modelleren vervat in een processenstroom die voor de respectieve projecten specifiek concreet wordt ingevuld.



Figuur: processenstroom voor het strategisch project waterbeheersing

#### 3.1. Het Hydrologisch Informatiecentrum

Het Hydrologische Informatiecentrum (HIC) werd in 2000 opgericht in de schoot van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek te Borgerhout. Dit centrum staat in voor het verzamelen, valideren en bewaren en exploiteren van hydrologische gegevens. In dit Hydrologisch Informatiecentrum bevindt zich een databank HYDRA waarin alle hydrologische gegevens, metingen en voorspellingen, verzameld worden.

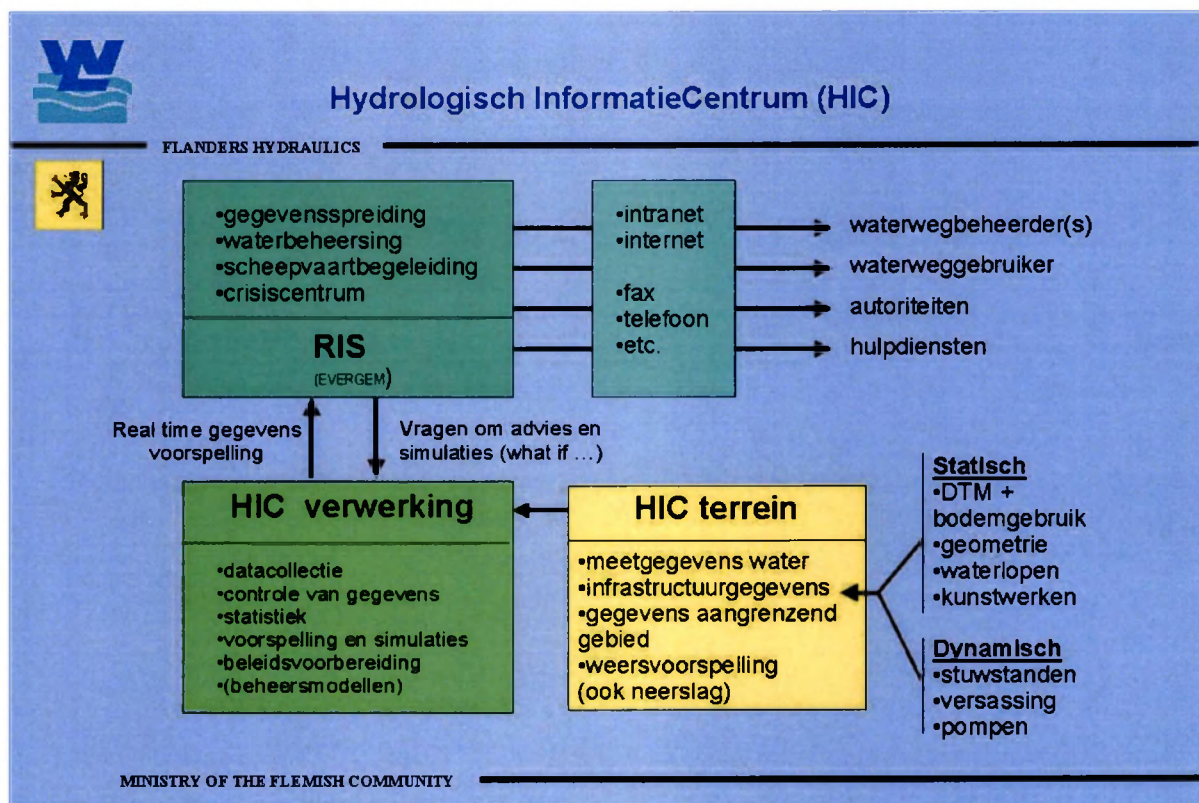
Daarnaast wordt het HIC uitgebouwd tot een kenniscentrum, waar met behulp van numerieke hydrologische en hydraulische modellen voorspellingen gemaakt worden van te verwachten waterstanden en debieten. Op vraag van de beheerders van de waterlopen zullen ook simulaties uitgevoerd worden om het effect van maatregelen in of langs de waterloop na te gaan. Naast de dagelijkse voorspellingen van waterstanden en debieten zullen er op vraag ook berekeningen gebeuren om de effecten van voorgestelde maatregelen en ingrepen op het terrein te vergelijken.

Deze kennis moet gecombineerd worden met de ervaring en de terreinkennis van de beherende afdelingen om de bestaande waterbeheersplannen steeds te actualiseren en te verbeteren.

Om optimaal de taken en doelstellingen te kunnen realiseren, wordt een kenniscentrum met betrekking tot hydrologie uitgebouwd. Onderzoek en studies gebeuren er blijvend in functie van volgende taken:

- onderbouwen van waterbeheersingplannen
- ondersteuning van het zoetwaterbeheer
- uitvoeren van morfologisch onderzoek langs de waterlopen
- leveren van dagelijkse hydrologische voorspellingen
- regionale hydrologische studies
- leveren van gegevens, expertise en adviezen (aan het beleid, de beheersafdelingen en aan derden)

Hiervoor wordt de **methodologie voor het modelleren** van de waterafvoer blijvend verbeterd en aangepast aan nieuwe wetenschappelijke inzichten en technologieën. Ook de methodes voor het genereren van betrouwbare overstromingskaarten, met vermelding van de overstromingsdiepte, -oppervlakte en -duur, bij verschillende statistisch bepaalde randvoorwaarden worden voortdurend geoptimaliseerd. De randvoorwaarden, zoals watertekorten en verdroging, moeten gekend zijn. Al deze gegevens worden verzameld in een hydrologisch documentatiecentrum.



Figuur: processtroom van de operationele werking van het hydrologisch Informatiecentrum; simulaties en voorspellingen zijn de output van de numerieke 1D-modellering

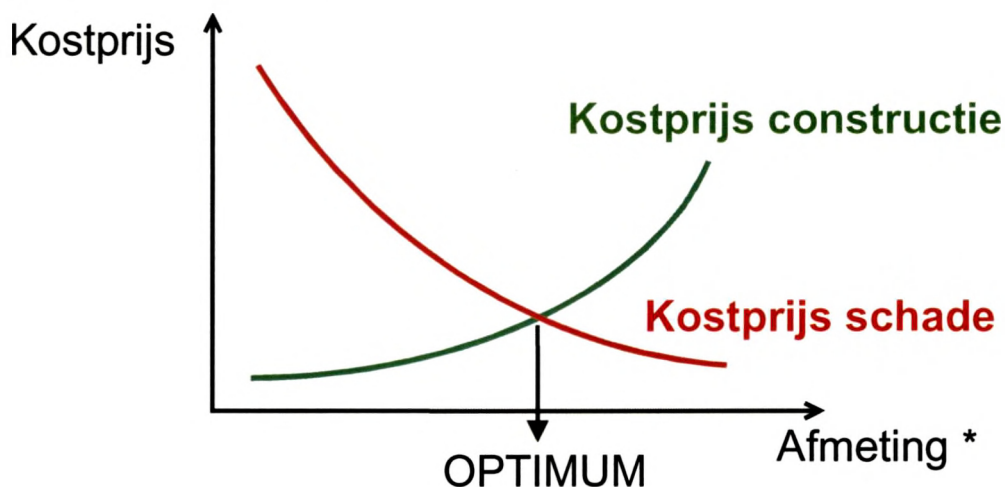


### 3.2. Nieuwe visie inzake waterbeheersing (voor het bevoegdheidsdomein van de waterwegen)

Volgens de nieuwe visie zal een gedifferentieerde bescherming tegen overstromingen worden verwezenlijkt. Het uitgangspunt wordt daarbij dat overstromingen niet altijd kunnen vermeden worden. Immers, natuurlijke veranderingen (klimaatwijzigingen, zeespiegelrijzing) en menselijke ingrepen (rechttrekken van waterlopen, urbanisatie,...) kunnen tot een verhoogde belasting van de waterkeringen leiden. Eveneens wordt het veiligheidsvraagstuk tegenwoordig bekeken vanuit een geïntegreerde benadering, waarbij erover gewaakt wordt dat de diverse functies van het watersysteem gewaarborgd blijven voor de komende generaties.

De opdracht van de waterbeheerder wordt dan ook om de onvermijdbare overstromingen dermate onder controle te brengen dat zij een minimale schade toebrengen. De veiligheid tegen overstromingen wordt daarbij afhankelijk van een aantal factoren.

Eerst en vooral moet een inzicht verkregen worden in de gevolgen van een potentiële overstroming, zoals het mogelijk aantal slachtoffers, de mate van ontredde, de directe en indirecte materiële schade en de vele vormen van immateriële schade. Hiertegenover staan de offers en kosten die de maatschappij moet brengen om waterkeringwerken te realiseren, zoals de kosten van aanleg en onderhoud, maar ook het schaden van waardevolle landschappen en de teloorgang van culturele objecten. In het project Veiligheidsniveau Vlaanderen worden deze aspecten economisch en sociaal-maatschappelijk tegenover elkaar afgewogen.



\* Afmetingen waterbeheersingsinfrastructuur

Naarmate de gevolgen van een overstroming groter zijn moet bijgevolg de kans van voorkomen van deze overstroming dalen. Anderzijds kan waterbeheersingsinfrastructuur in gebieden waar de gevolgen van een overstroming minder ernstig zijn lichter gedimensioneerd worden.

De nieuwe visie gaat bijgevolg uit van een **bescherming tegen schade** in plaats van een bescherming tegen hoogwaterstanden.

### 3.3. Standaardmethode

Een waterkering is ontworpen om laaggelegen gebieden te beschermen tegen wateroverlast van de rivier. Falen van deze constructies veroorzaakt overstromingen die aanleiding geven tot schade. Deze schade wordt berekend uit de formule:

$$E = \sum p(h)S(h)$$

met E = verwachte waarde van de schade per bekken per jaar

p(h) = overschrijdingsfrequentie van extreme waterpeilen en afvoeren

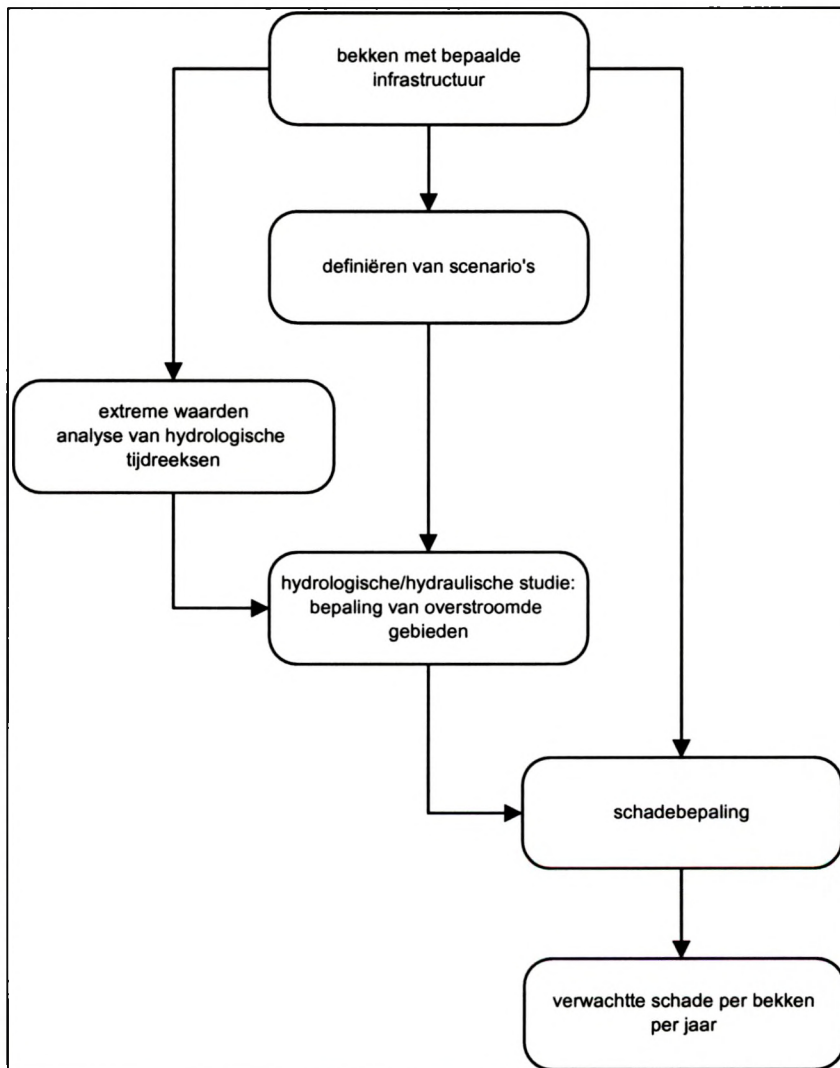
S(h) = schade horende bij de frequentie p

Dit betekent dat Veiligheidsniveau Vlaanderen er voorlopig van uitgaat dat het falen van de beschermende constructies enkel te wijten kan zijn aan golfoverslag en overlopen van de constructies.

Eigenlijk zouden ook de ruimtelijke veranderingen en veranderingen in de tijd van alle belastingen op de waterkeringen, de sterkte-eigenschappen van de waterkeringen, de meetfouten, de modelon nauwkeurigheden, enz. moeten worden beschouwd. Vereenvoudigingen zijn noodzakelijk om te komen tot een praktisch haalbare beheersbare indicatieve rekenwijze.

Falen van de constructies zoals dijken gebeurt meestal door wateroverloop, golfoverslag of bresvorming en -groei ten gevolge van:

- instabiliteit t.g.v. afschuiven van het binnen- en/of buitentalud
- piping (onderloopsheid en terugschrijdende erosie)
- falen van kunstwerken in de waterkering
- combinatie van verschillende factoren



Het ontstaan van bressen kan bovendien op verschillende locaties gebeuren. Op die manier wordt een oneindige set van door te rekenen scenario's bekomen.

In een eerste benadering wordt het falen van de waterkering ten gevolge van een grondmechanische oorzaak buiten beschouwing gelaten. Aanvullende constructie-eisen, zoals de opbouw van het dijklichaam en de helling en bekleding van het riviertalud, zorgen voor voldoende stabiliteit. In de Vlaamse bevaarbare waterlopen, met uitzondering van de Beneden Zeeschelde, kan verder de golfoploop verwaarloosd worden, zodat falen van de waterkering betekent dat het waterpeil hoger stijgt dan het kruinpeil van de winterdijk.

Voor het uitvoeren van de studie heeft het Hydrologisch Informatiecentrum een standaardmethode ontwikkeld. Deze standaardmethode omvat het volledige proces dat doorlopen wordt om de schade in een bekken met een bepaalde kans van voorkomen te bepalen.

Voor elk deelproces wordt eveneens een standaardmethode ontwikkeld om een doorzichtige en herhaalbare rekentechniek te verkrijgen. Op die manier wordt het eveneens mogelijk om gevoeligheidsanalyses uit te voeren bij moeilijk kwantificeerbare parameters.

### 3.3.1 Extreme waarden analyse

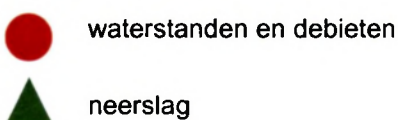
De optredende waterstanden worden beschouwd als de belasting die het falen van de waterkering veroorzaken. Het bepalen van de kans van voorkomen of de terugkeerperiode van deze extreme waterstanden en afvoeren, is dan ook de eerste uit te voeren stap.

In het verleden heeft het departement Leefmilieu en Infrastructuur verschillende **hydrometrische meetnetten** uitgebouwd die continu de waterstanden registreren. Voor de belangrijkste meetstations zijn er continue langdurige meetreeksen beschikbaar over tientallen meetjaren. Op basis van deze tijdreeksen wordt via een **extreme waarden analyse**, een statistische techniek, de kans van voorkomen van hoogwaterstanden en afvoeren bepaald. Uit deze analyse worden de hoogwaterstanden afgeleid en de bijbehorende frequentie van overschrijden van die waterstanden.

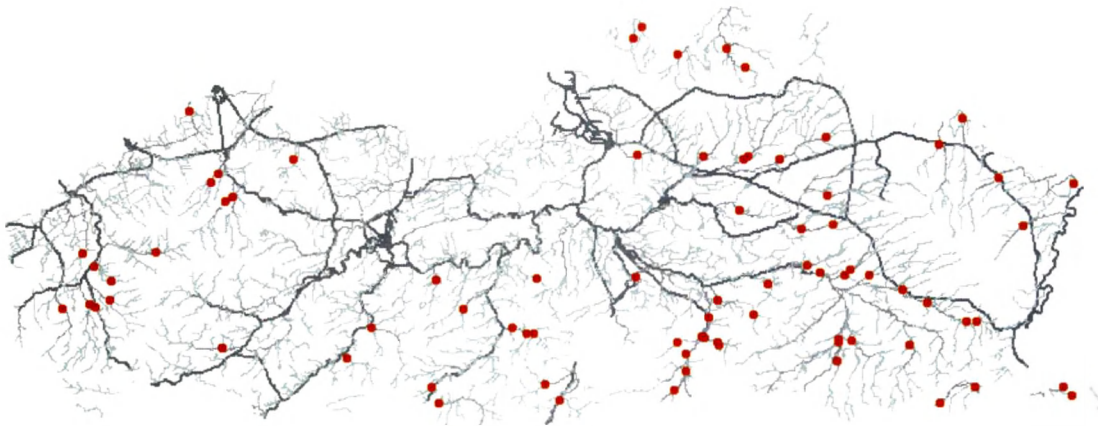
#### Hydrometrische meetnetten opgevolgd door het Hydrologisch Informatiecentrum



**Figuur: meetnet AWZ**







**Figuur: meetnet AMINAL**

Enkel deze extreme waarden in rekening brengen zou een vertekend beeld geven. Een korte periode met hevige neerslag heeft dikwijls in het bovenstrooms gedeelte van de waterlopen een spectaculair nefast effect terwijl dit in de benedenlopen niet noodzakelijk wateroverlast met zich brengt. Denken we maar aan de talrijke overstromingen in kleine bekkens bij hevige en korte zomerse onweders. Langdurige niet eens zo hevige regenval heeft daarentegen dikwijls aanleiding tot wateroverlast in de benedenstromen eerder dan in het opwaartse gedeelte. Beide gevallen moeten dus in rekening worden gebracht. Er wordt eigenlijk gezocht naar de fictieve omstandigheden waarbij de effecten op het opwaartse gedeelte en die op het afwaartse gedeelte beiden gelijkaardig zijn.

Deze fictieve omstandigheden worden gevat in de zogenaamde compositiehydrogrammen. Op dergelijke diagrammen worden voor een rivier debieten aangegeven op een tijdsschaal waarbij het simuleren van zo een compositiehydrogram in het hydraulisch riviermodel op elke plaats langs de rivier een riviertoestand met een zelfde terugkeerperiode als resultaat heeft.

In het kader van het project Veiligheidsniveau Vlaanderen zal nog onderzocht worden of overstromingsoppervlaktes dezelfde terugkeerperiodes hebben als de compositiehydrogrammen.

### 3.3.2 Bepaling van de overstroombare gebieden

Een tweede belangrijke stap is het bepalen van de **overstroombare gebieden** bij aanleg van de compositiehydrogrammen als randvoorwaarden. Hiervoor worden **ééndimensionale modellen** opgesteld van alle bevaarbare waterlopen in Vlaanderen.

**Hydraulische modellen** zijn programma's die in staat zijn om nauwkeurig de afvoer in de waterlopen te berekenen. Hiervoor moeten ze gevoed worden met nauwkeurige hoogtegegevens van het winterbed en de waterloop. Eendimensionale hydraulische modellen vereenvoudigen de waterloop tot een slang van knooppunten, waar elk knooppunt de volledige dwarsdoorsnede van de waterloop bevat. In elk knooppunt wordt dan het lokaal waterpeil en de lokale afvoer berekend. Door het toevoegen van een netwerk van fictieve waterlopen kan de waterafvoer in het winterbed eveneens nauwkeurig berekend worden.

Om met economisch verantwoorde inspanningen en met een maximaal gebruik van alle beschikbare gegevens een optimale nauwkeurigheid van de modellen te bekomen werd voor de implementatie van de numerieke modellen van de bevaarbare rivieren een algemene methodologie ontwikkeld.

De nauwkeurigheid van de numerieke modellen blijft evenwel steeds afhankelijk van de nauwkeurigheid van de invoergegevens. In het kader van het project Veiligheidsniveau Vlaanderen worden momenteel verschillende hydrometrische meetnetten verder uitgebreid en wordt geografische basisinformatie van het rivierbed en de valleien geactualiseerd.

De afdeling maakt gebruik van het commerciële hydraulische 1D-model MIKE 11 van DHI. De hydraulische en hydrologische modellering van de verschillende rivierbekkens wordt deels uitbesteed aan studiebureaus, deels zelf in de afdeling uitgevoerd.

Volledigheidshalve dient te worden aangegeven dat de afdeling beschikt over een 1D-model van het Scheldebekken dat binnen het laboratorium ontwikkeld is en nog ingeschakeld is voor de dagdagelijkse berekeningen van scenario's als een eerste benadering. Daarnaast beschikt het laboratorium over een licentie ISIS van Wallingford, waarmee het Ijzerbekken werd gemodelleerd.

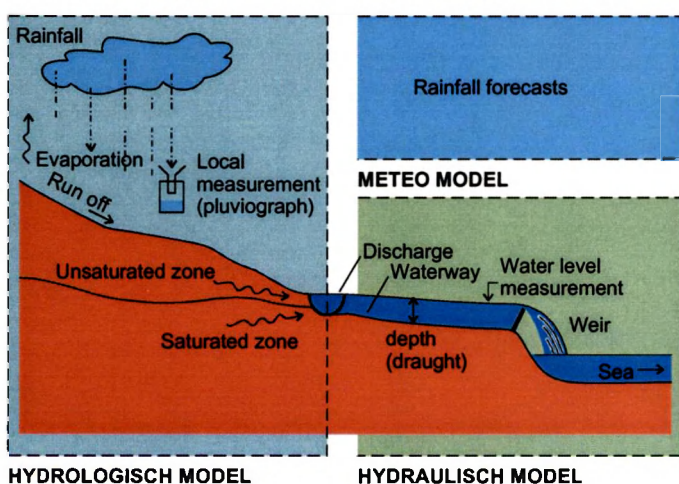
### 3.3.3. Numerieke modellen voor voorspellingen van waterstanden en debieten

De numerieke hydrologische en hydraulische modellen, die opgemaakt worden voor de bepaling van een gedifferentieerd veiligheidsniveau in Vlaanderen, zullen ook on-line gebruikt worden als operationele voorspellingsmodellen. Er zullen voorspellingen uitgevoerd worden op regelmatige tijdstippen met verschillende zichttijden (6 tot 48 h).

Tijdens het uitvoeren van de voorspelling doorlopen de modellen volgende cyclus:

- 1) Herrekenen voor het tijdsverloop van laatste voorspelling met de metingen als randvoorwaarden (hindcast) om de beginwaarden voor de nieuwe voorspelling te schatten.
- 2) Doorrekenen van de afwaartse randvoorwaarden via Continentaal Platmodel en kuststrookmodel
- 3) Invoeren van de resultaten van andere modellen en van neerslagvoorspellingen als randvoorwaarden en van de resultaten van de hindcast als beginvoorwaarden voor de nieuwe voorspelling.
- 4) Voorspellen van de debieten in de beken en bovenlopen met behulp van hydrologische modellen.
- 5) Voorspellen met de hydraulische ééndimensionale modellen

In crisissituaties zullen de gevolgen van het ingrijpen van de beheerder (vb. dijkdoorbraken, werking van kunstwerken) in de modellen gesimuleerd en voorspeld worden.



Neerslagvoorspellingen in Vlaanderen gebeuren momenteel met het atmosferisch model ALADIN, operationeel bij het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) te Ukkel. Het model bestrijkt een grondgebied van 700 km x 700 km, en omvat daarmee naast het volledige grondgebied van Vlaanderen, Wallonië en Luxemburg, eveneens delen van Nederland, Duitsland en Frankrijk. De ruimtelijke resolutie van het model is 7 km. Het model is niet specifiek hydrologisch en voorspelt naast de neerslag ook de temperatuur, windsnelheid, windrichting, luchtdruk en relatieve vochtigheid, en dit voor elk knooppunt.

Het model maakt tweemaal daags (om 00u00 en om 12u00) voorspellingen met een maximale voorspellingstermijn van 48 uur. De neerslag wordt gecumuleerd weergegeven, en dit met een



temporele resolutie van 1 uur voor een voorspellingstermijn tot 36 uren, en van 3 uur voor een voorspellingstermijn van 36 uren tot 48 uren.

Het ALADIN model is ingebed in een groter model, met name ALADIN France, en ontvangt hiervan de randvoorwaarden. ALADIN France is op zijn beurt ingebed in Arpège, en krijgt hiervan zijn randvoorwaarden. Tot op heden wordt het model niet bijgestuurd als er discrepanties waargenomen worden tussen de voorspelde weersvariabelen en de waarnemingen. Men werkt nu aan het KMI aan de analyse van de fouten op de voorspelling, doch het is nog te vroeg om er reeds uitspraken over te maken.

Feit is dat de atmosferische modellen zeer sterk beïnvloed worden door de randvoorwaarden die ingesteld worden. Het is zelf zo dat minimale afwijkingen (voor wat bijvoorbeeld de temperatuur betreft grootteorde van 0.1 °C) van de randvoorwaarden een totaal andere voorspelling kunnen geven. ALADIN is hierop geen uitzondering. De neerslagvoorspelling is momenteel dus een vrij onzekere (maar cruciale) factor in de voorspellingscyclus.

De afwaartse randvoorwaarden worden geleverd door een voorspellingsmodel van de Noordzee, de kust en het Schelde-estuarium, dat door AWZ verworven wordt.

Bij het gebruik van voorspellingsmodellen in reële tijd dient er continu een bijsturing ('updating') te gebeuren van de simulatieresultaten. De bijsturing wordt gebaseerd op de debietmetingen die continu ter beschikking komen. Ze heeft tot doel de bijkomende informatie van de debietmetingen te gebruiken om de simulatieresultaten maximale nauwkeurigheid te geven (data assimilatie). De simulatieresultaten zijn immers onzeker omwille van onzekerheden in de neerslaginvoer, de invoer van de evapotranspiratie, de modelstructuur van het hydrologisch model, ... Deze onzekerheden weerspiegelen zich in een verschil tussen de simulatieresultaten en de debietmetingen. Door toepassing van de nodige technieken ter bijsturen van de modellen, die rekening houden met zowel amplitude- als fasefouten, is het mogelijk om de nauwkeurigheid van de voorspellingen gevoelig te verhogen.

De resultaten van de voorspellingsberekeningen worden visueel voorgesteld met behulp van GIS (Geografisch Informatie Systeem). Zo is het mogelijk om overstromingen op kaart voor te stellen, en te laten zien hoe het water zich in het verloop van de tijd in het bekken zal verspreiden.

### 3.3.4 Schadebepaling

In deze stap wordt verondersteld dat de kans op overstromen van een bepaald gebied gekend is. In deze stap wordt vervolgens de schade ten gevolge van deze overstroming bepaald.

Door een overstroming ontstaan verschillende soorten schade.

Eenzijds is er de *directe schade*, nl. schade die rechtstreeks het gevolg is van de overstroming zoals schade aan roerende en onroerende goederen, slachtoffers, verontreiniging van waterwinningsgebieden, ..., en *indirecte schade* zoals productieverlies van bedrijven of opruimkosten. Onderscheid kan eveneens gemaakt worden tussen *interne schade*, namelijk schade in het overstroomde gebied en *externe schade* buiten het overstroomde gebied.

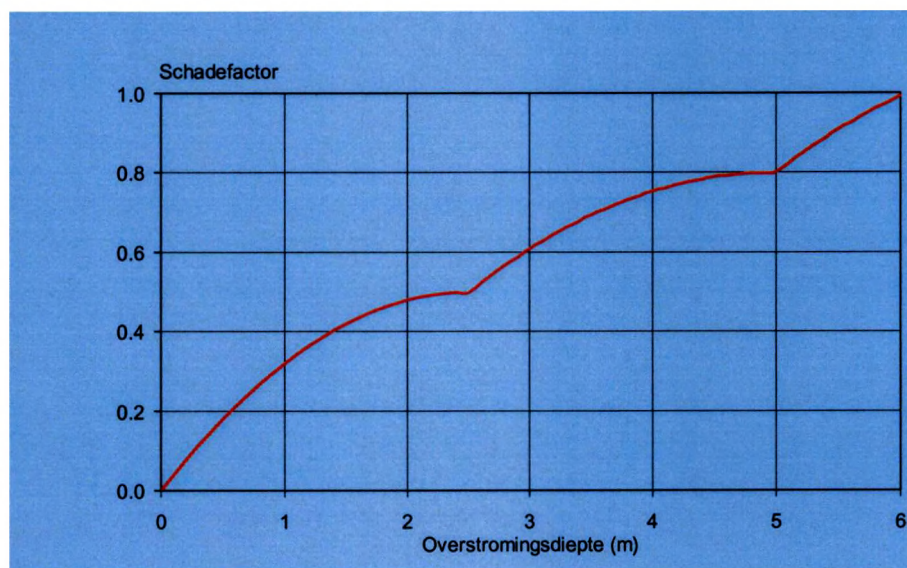
Al deze soorten schade kunnen tenslotte nog opgesplitst worden in *kwantificeerbare* en *niet-kwantificeerbare* schade.

In het project Veiligheidsniveau Vlaanderen worden de kwantificeerbare directe schade, met name de schade aan roerende en onroerende goederen en het aantal slachtoffers, afgewogen tegen de kost van aanleg en onderhoud van de waterkeringen. De overige schadefactoren worden in de afweging meegenomen bij de maatschappelijke discussie van de eindresultaten.

Voor het kwantificeren van de schade ten gevolge van een overstroming wordt volgende formule gebruikt:

$$S = \sum_i \alpha_i n_i S_i$$

met  $S$  = de totale schade van de overstroming  
 $\alpha_i$  = de schadefactor horende bij type bodemgebruik  $i$   
 $n_i$  = aantal eenheden van type bodemgebruik  $i$   
 $S_i$  = maximale schade per eenheid van type bodemgebruik  $i$



Figuur: schadefactor voor woningen

De schadefactor  $\alpha_i$ , horend bij een bepaald type bodemgebruik, is de verhouding van de werkelijke schade bij een bepaalde overstroming tot de maximale schade. Deze schadefactor is afhankelijk van verschillende parameters zoals de overstromingsdiepte, de stroomsnelheid, de duur van de overstroming, de kwaliteit van het water, het zoutgehalte van het water, de waarschuwingstijd vóór de overstroming,...

Het verband tussen de schadefactor en de meeste parameters is evenwel niet of nauwelijks bekend. Bovendien kunnen de bestaande verbanden slechts zelden worden geverifieerd, gezien ernstige overstromingen zeldzaam zijn. Vandaar dat in het project Veiligheidsniveau Vlaanderen de schadefactor enkel afhankelijk wordt beschouwd van de overstromingsdiepte.

Dezelfde afleiding geldt bij het bepalen van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming. Ook hier wordt, wegens de hierboven vermelde redenen, geopteerd om uitsluitend de afhankelijkheid van de overstromingsdiepte in te rekenen. Het aantal slachtoffers kan uitgedrukt worden in aantal verdronkenen of verrekend worden in de totale “schade” van de overstroming.

Het type bodemgebruik wordt afgeleid uit de bodemgebruikskaat van Vlaanderen. Deze kaart is het resultaat van correlatie van vlekken en signalen op satellietbeelden met het eigenlijke bodemgebruik. Dit gebeurt door digitale manipulatie van satellietbeelden. Na interpretatie kunnen de kleurtinten gegroepeerd worden en geassocieerd worden met een aantal vormen stabiel landgebruik.

De maximale schade per eenheid van type bodemgebruik is verspreid aanwezig in verschillende databanken en bij verschillende organisaties. Het Hydrologisch Informatiecentrum zal een inventarisatie en een integratie van alle beschikbare en noodzakelijke data uitvoeren.



### 3.4. Veiligheid langs de kust en in het getijdengebied van de Schelde

Het bereiken van het Veiligheidsniveau Vlaanderen tegen overstromingen noodzaakt een specifieke aanpak voor de gebieden onderhevig aan getijdenwerking en golfwerking.

Volgende fasen zullen worden doorlopen:

- Het verwerven van **werkinstrumenten** (hard- en software) voor het gegevensbeheer inzake golfwaarnemingen en de informaticatechnische uitbreiding van databank HYDRA voor gegevens van de kust en de zee.
- Het verwerven van de **essentiële basisgegevens en –kennis** (kust en zee). Voor de uitvoering van zijn taken voor het kustgebied is er nood aan de gegevens van het betrouwbaar, kwaliteitsvol en eventueel uitgebreid hydrometeo meetnet, aan recente bathymetrische en topografische data en aan windvoorspellingsgegevens. Deze taak wordt momenteel in belangrijke mate uitgevoerd door het OMS
- Het verwerven, uitbreiden, verbeteren en exploiteren van de **numerieke modellen** voor kust en zee. Om een actief waterpeilbeheer te realiseren voor de rivieren of een efficiënte stormvloedwaarschuwing te kunnen blijven garanderen langs de kust zijn nauwkeurige numerieke modellen nodig die golven en de waterhoogtes kunnen simuleren. Ook hier kan de afdeling ondersteuning bieden voor het OMS.
- Het ontwikkelen van on-line **voorspellingen** van waterstanden langs de kust en in de Scheldemonding. De afwaartse randvoorwaarden voor de modellen langs de Vlaamse rivieren dienen te worden bepaald ter ondersteuning van de riviermodellen van HIC. Daarnaast moeten uiteraard langs de kust en in de Scheldemonding voorspellingen van de hoogwaterstanden, rekening houdend met golven en getijden voor een zichttijd van 48 uur beschikbaar zijn. Ten behoeve van de ontwikkeling van scenario's voor de waterbeheersing en bij overstromingsgevaar zullen dus on-line voorspellingen worden gerealiseerd ter ondersteuning van de te nemen beheersmaatregelen. Voor de bepaling van de randvoorwaarden voor de modellen van de Vlaamse rivieren wordt nauwe samenwerking met Nederland gezocht.

## 4. Modelleren in het kader van het hydraulisch onderzoek

### 4.1. Algemeen

De hydraulica is de basiscompetentie van WLH waarop alle strategische projecten zich beroepen. De tussenkomst van WLH bij het ontwerpen van watergebonden infrastructuur spitst zich toe op het gebruik van **mathematische modellen** om simulaties uit te kunnen voeren inzake de impact qua stroming en/of golven van de omgeving op de infrastructuur en vice versa.

Geassocieerd onderzoek in **schaalmodellen** laat toe de impact te bestuderen van golven of stromingen op constructies of op bijvoorbeeld de kustverdediging.

Aldus kan een toegevoegde waarde worden geïnduceerd bij het ontwerpen van havens, tijdokken, waterkeringen, sluizen, vistrappen, kustverdediging, gecontroleerde overstromingsgebieden en andere watergebonden infrastructuur.

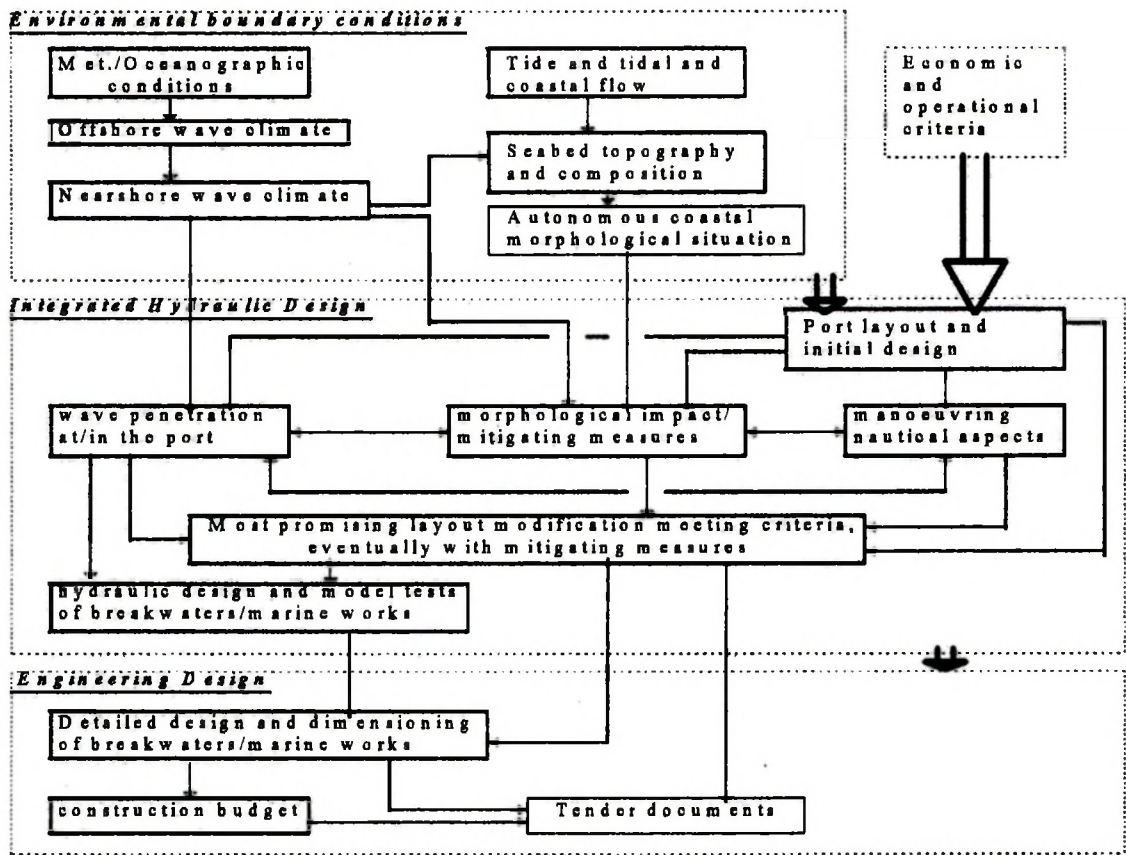
Achtereenvolgens zullen nu een aantal typische onderzoeksvragen en de daarbij inzetbare middelen worden besproken voor studies inzake:

- de kust en kustwaterbouwkundige constructies,
- de Schelde en haar bijrivieren, en de erop betrekking hebbende waterbouwkundige constructies,
- milieugebonden hydraulisch onderzoek.

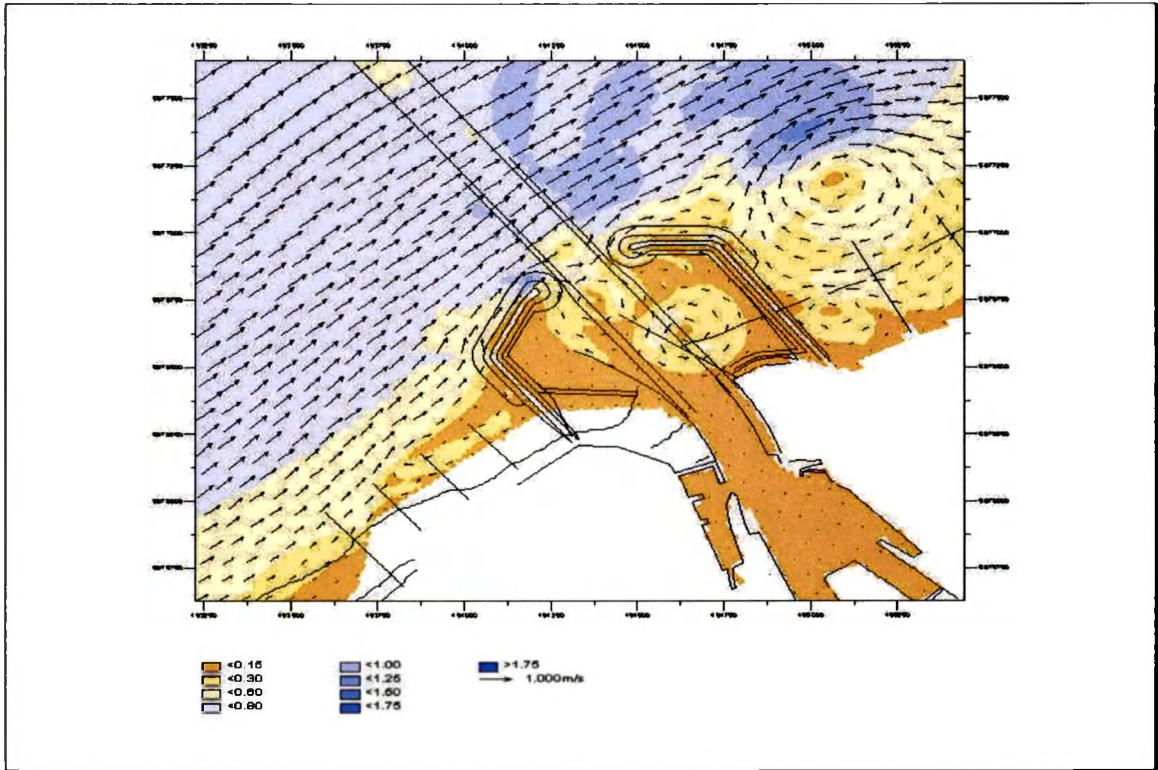
Hierbij dient opgemerkt te worden dat de middelen die inzetbaar zijn voor het kustgebonden onderzoek ook grotendeels inzetbaar zijn voor de andere studiedomeinen die zich grotendeels rond de



rivieren afspelen. Dit geldt in het bijzonder voor de numerieke software waarmee ondermeer de waterbeweging en de beweging van sedimenten/nutriënten kunnen gemodelleerd worden.



Figuur: schema met het belang van modellering voor ontwerpen van infrastructuur



Figuur: getijdenstromingen rond een virtuele haven van Oostende

## **4.2. Faciliteiten voor kustwaterbouwkundige studies**

Het Waterbouwkundig Laboratorium kan op verschillende wijzen bijdragen tot het oplossen van een aantal typische onderzoeksvragen in een studie betreffende kustwaterbouwkundige projecten.

Hierbij kan onder meer gesteund worden op ervaring opgedaan in verband met de uitbouw van de Haven van Zeebrugge, het ontwerp van de nieuwe Haven van Oostende, de kustverdediging te Knokke-Zoute,...

De afdeling wordt betrokken bij volgende *typische onderzoeksvragen*:

### **Gebiedsdekkende studies naar de impact op zee en kust**

#### **▪ Impact op getijstroming**

Uitvoeren van een kustwaterbouwkundig project veroorzaakt mogelijks belangrijke wijzigingen in het stromingspatroon in de naburige kustzone. Dit geldt zowel voor de getijdenstroming als voor de golfgedreven stroming.

#### **▪ Impact op golfklimaat**

Uitvoeren van een kustwaterbouwkundig project veroorzaakt mogelijks belangrijke wijzigingen in het golfklimaat van de naburige kustzone. Dit kan op zijn beurt een significante wijziging in de golfgedreven stroming voor de kust teweegbrengen. Het is duidelijk dat in dit laatste geval een degelijke, geïntegreerde studie van de golf-stroom-interactie nodig is.

#### **▪ Impact op sedimenttransport en morfologische evolutie**

Uitvoeren van een kustwaterbouwkundig project veroorzaakt mogelijks belangrijke wijzigingen in het sedimenttransport (tengevolge van een gewijzigde stroming en/of golfklimaat, of tengevolge van een door menselijk ingrijpen gewijzigd zandaanbod) en kan bijgevolg morfologische wijzigingen induceren in zeebodem en kustlijn.

### **Detailstudies van civieltechnische constructies**

#### **▪ Ontwerpcondities bepalen**

Het inplanten van civiele constructies in een kustzone vergt dat deze ontworpen worden om de nodige hydrodynamische belasting te kunnen weerstaan tijdens hun levensduur. Daartoe dient onder meer de maatgevende golfbelasting bepaald te worden, uitgaande van bekende golfcondities op dieper water. Analooch dient de impact van de stroming op de constructie ingeschat te worden. Met behulp van deze belastingen kan de ingenieur-ontwerper dan een constructie (zoals bijvoorbeeld beschermingsdammen) dimensioneren.

#### **▪ Beproeven van ontwerp**

Ter controle van het ontwerp van een constructie (zoals bijv. een beschermingsdam) kan deze in een fysisch schaalmodel onderworpen worden aan een maatgevende hydrodynamische belasting.

### **4.2.1. Beschikbare installaties en software**

Op het Waterbouwkundig Laboratorium zijn studies mogelijk met behulp van:

- installaties voor fysische schaalmodellen,
- software voor numeriek modelonderzoek,

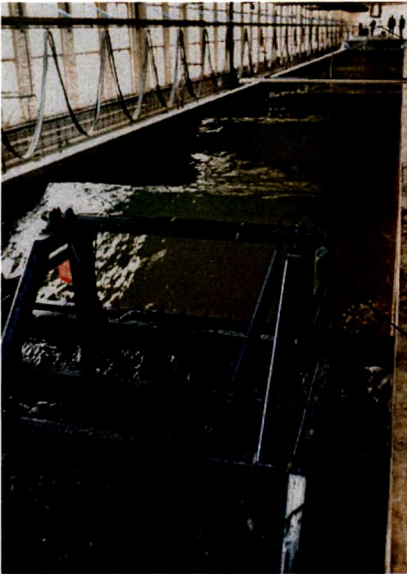


### Installaties voor fysische schaalmodellen

#### ▪ **Golfgoten**

Op het WLH zijn 2 golfgoten beschikbaar.

In beide goten kunnen golven (zowel monochromatische golven als golven met onregelmatige spectra) gegenereerd worden met behulp van golfgeneratoren van het piston-type.



Figuur : Generatie van golven in golfgoot



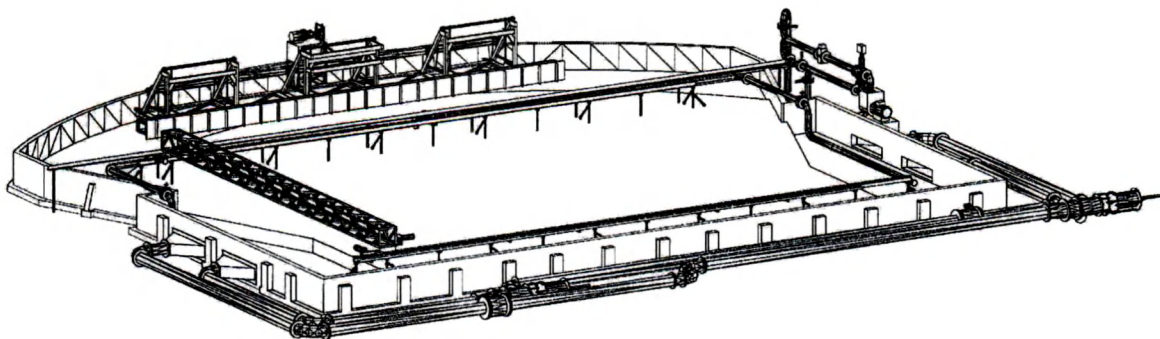
Figuur : dwarsdoorsnede van strekdam in de golfgoot

In beide goten kunnen variërende waterhoogtes gegenereerd worden (volgens een opgegeven horizontaal getij). De grote golfgoot is 71.15m lang, 4.00m breed en 1.40m hoog. Er kan geen stroming op de golven gesuperponeerd worden. De grote golfgoot kan gebruikt worden voor het beproeven van het ontwerp van civieltechnische constructies. Zo kan een dwarsdoorsnede van beschermingsdammen beproefd worden onder golfbelasting en variërende waterstanden (horizontaal getij).

De kleinere golfgoot (zogenaamd 'glazen kanaal') is 31.70m lang, 0.70m breed en 0.86m hoog. Het golfschot is 0.67m breed en 0.76m hoog. In principe, kan een stroming (in 2 richtingen ten opzichte van golfvoortplantingsrichting) op de golven gesuperponeerd worden.

#### ▪ **Golftank**

De golftank van het WLH laat toe van een 3D schaalmodel met beweegbare bodem te belasten door een combinatie van golven en stroming. De dimensies van de golftank zijn  $L \times B \times H = 17.5\text{m} \times 12.2\text{m} \times 0.45\text{m}$ , waarbinnen zich een modelzone bevindt van  $12\text{m} \times 11\text{m}$  (planzicht).



Figuur : Schets van golftank



Golven (zowel monochromatische golven als golven met onregelmatige spectra) kunnen opgewekt worden met behulp van een golfgenerator van het pistontype (breedte=12.00m, hoogte=0.50m). De golfinvalsrichting kan variëren tussen  $-22.5^\circ$  en  $+22.5^\circ$  (relatief ten opzichte van de normale op de kust). Merk op dat geen multidirectionele golfpatronen kunnen gegenereerd worden in de golftank.

Variërende waterhoogtes (volgens een opgegeven horizontaal getij) kunnen verkregen worden door het vullen of ledigen van de tank, die verbonden is met een onderliggend waterreservoir via een pomp. Een langse stroming kan gegenereerd worden door het water in de tank rond te pompen in een gesloten circuit (via 2 pompen met 2 inlaten/uitlaten aan elke zijde van de tank).

De golftank is voorzien van een volledig automatische profielvolger voor opname van bodemprofielen. Daarnaast beschikt het WLH over performante software voor de verwerking van de meetgegevens.

De golftank is te beperkt van afmetingen voor gebiedsdekkende studies in kustzones met enige omvang. De golftank is evenwel bruikbaar voor studies in beperkte kustzones, zoals bijvoorbeeld het beproeven van een nieuw ontworpen zandsuppletie te Knokke-Zoute.

#### Numerieke software

##### ▪ **DELFT3D**

De DELFT3D-suite bestaat uit verschillende modules die elk afzonderlijk of geïntegreerd kunnen draaien om een bepaald probleem op te lossen.

##### **DELFT3D-FLOW**

De module FLOW is een multidimensionaal (zowel 2D–dieptegemiddeld als 3D) hydrodynamisch simulatieprogramma dat tijdsafhankelijke stroming en transportfenomenen berekent tengevolge van getij en meteorologische invloeden op kromlijnige, ‘boundary-fitted’ rekenroosters.

##### **DELFT-RGFGRID**

Kromlijnige, ‘boundary-fitted’ rekenroosters kunnen op een gebruiksvriendelijke manier worden gegenereerd met behulp van de RGFGRID software.

##### **DELFT-QUICKIN**

Definitie van de bathymetrie in een rekenrooster geschiedt met de QUICKIN software, die toelaat om beschikbare peilinggegevens eenvoudig en gebruiksvriendelijk te interpoleren op een rekenrooster.

##### **DELFT-GPP**

Visualisatie van berekeningsresultaten van FLOW of andere modules, kan gebeuren met de GPP software.

##### **DELFT3D-WAVE**

De module WAVE kan gebruikt worden om de voortplanting en transformatie van onregelmatige, kortkammige windgolven in kustwateren te simuleren. De module berekent de evolutie van golven over willekeurige bathymetrie voor bepaalde velden van wind, stroming en waterdieptes.

WAVE houdt rekening met generatie van golven door wind, energiedissipatie door golf-bodem-interactie en niet-lineaire golf-golf-interacties. De module kan toegepast worden in

diep, intermediair en ondiep water, en het rekendomein kan gebieden omspannen tot meer dan 50km bij 50 km.

Momenteel kunnen twee ('phase averaged') golfmodellen gebruikt worden, met name het tweede-generatie-model HISWA of het derde-generatie-model SWAN. Bovendien meer geavanceerde fysica, biedt dit laatste model tevens de mogelijkheid tot golfvoortplanting op kromlijnige rekenroosters (zoals gebruikt door de FLOW module).

#### **DELFT3D-MOR**

De module MOR integreert de effecten van golven, stroming, sedimenttransport op morfologische evoluties van de (zee)bodem.

Het is bedoeld voor studies van het morfodynamisch gedrag van (rivieren, estuaria en) kusten over tijdschalen van dagen tot jaren, waarbij complexe interacties tussen golven, stroming, sedimenttransport en bodemaanpassingen een rol spelen.

De MOR module simuleert processen op kromlijnige roosters, zoals gebruikt in de FLOW module (en het SWAN model binnen de WAVE module), waardoor heel efficiënte en nauwkeurige voorstelling van geometrisch complexe gebieden (zoals bijvoorbeeld een offshore eiland dat wordt ingeplant dicht tegen een havenuitbouw en dichtbij de kustlijn) mogelijk is.

De link tussen de MOR module en de FLOW en WAVE modules gebeurt via een dynamische koppeling. Daardoor is een positieve feedback mogelijk tussen processen die de waterbeweging en de sedimentbeweging kunnen beïnvloeden.

De MOR module verzorgt niet alleen de links tussen de verschillende modules, maar bevat tevens een submodule TRAN om het sedimenttransport te berekenen en een submodule BOTT om de resulterende bodemaanpassingen (tengevolge van de gradiënten in het sedimenttransport) te berekenen.

In TRAN wordt het sedimenttransport berekend als bodemtransport en zwevend (evenwichts)transport over het kromlijnig rekenrooster, als een functie van de locale golf-, stromings- en sedimentkarakteristieken.

In de zogenaamde 'totaaltransport-modus' worden het bodemtransport en het zwevend transport samengevoegd, terwijl in de zogenaamde 'zwevend-transport-modus' het zwevend transport wordt berekend tengevolge van 'entrainment', depositie, advectie en diffusie. Hiervoor wordt een quasi-3D aanpak gevolgd, waarin de verticale profielen van sedimentconcentratie en snelheid worden gegeven door vormfuncties.

Talrijke opties voor berekening van bodemtransport en zwevend (evenwichts)transport zijn mogelijk: de transportformules van Engelund-Hansen, Meyer-Peter-Muller, Bijker, Bailard en Van Rijn voor zand, en een aparte formulering voor slibtransport. Tevens kan de invloed van hellende bodems op grootte en richting van het transport ingerekend worden, en kan er rekening worden gehouden met niet-erodeerbare lagen.

Voor wat betreft berekening van zandtransport onder een combinatie van stroming en golven, bevat de MOR module die beschikbaar is op het WLH (Walstra, 2000) twee algebraïsche modellen, met name Bijker 1971 (Bijker, 1971) en Van Rijn/Ribberink 1994 (Bosboom et al., 1997). De Bijker formule is het populaire werkpaard van menig kustzone-model, terwijl het

Van Rijn/Ribberink model een meer recent en meer complex onderzoeksmodel is. Niettegenstaande zijn complexiteit – het maakt bijvoorbeeld gebruik van een verticaal structuur model dat de verdeling van de horizontale snelheidscomponenten inclusief effecten van wind en golven – is het niet zo robuust als de Bijker formule, gezien de gevoeligheid aan kleine verstoringen in bathymetrie of stroming. Daarom wordt het niet aanbevolen voor praktische studies (Walstra, 2000), (Bos et al., 1998). Voor de volledigheid dient te worden aangestipt dat in een meer recente (onderzoeks)versie van MOR (Roelvink, 2000b), gebruik werd gemaakt van het Soulsby-Van Rijn model (Soulsby, 1997).

Het is belangrijk op te merken dat de MOR module momenteel enkel werkt op basis van een dieptegemiddelde stroming. Dit wil zeggen dat de waterbeweging berekend wordt met de FLOW module in 2D modus. In de loop van 2002 komt echter de zogenaamde FLOW3D-ONLINE versie beschikbaar, waardoor ook sedimenttransport (en resulterende bodemwijzigingen) op basis van een 3D-simulatie van de waterbeweging berekend zal kunnen worden.

#### ***DELFT3D-SED***

Voor de volledigheid dient ook vermeld dat er naast MOR nog een aparte module SED beschikbaar is om sedimenttransport te berekenen. SED is een onderdeel van de waterkwaliteitssoftware Delft3D-WAQ.

#### ▪ ***PHAROS***

Het programma PHAROS is bedoeld voor studie van golfdiffractie (en gedeeltelijke reflectie) rond (offshore) structuren en golfpenetratie in havens.

#### ▪ ***LITPACK***

De LITPACK-suite bevat verschillende modules die onder meer toelaten van de kustlijnevolutie onder een bepaald golfklimaat te voorspellen, of de stabiliteit van het dwarsprofiel van een strand te bestuderen.

### ***4.2.2. Beschikbare numerieke modellen***

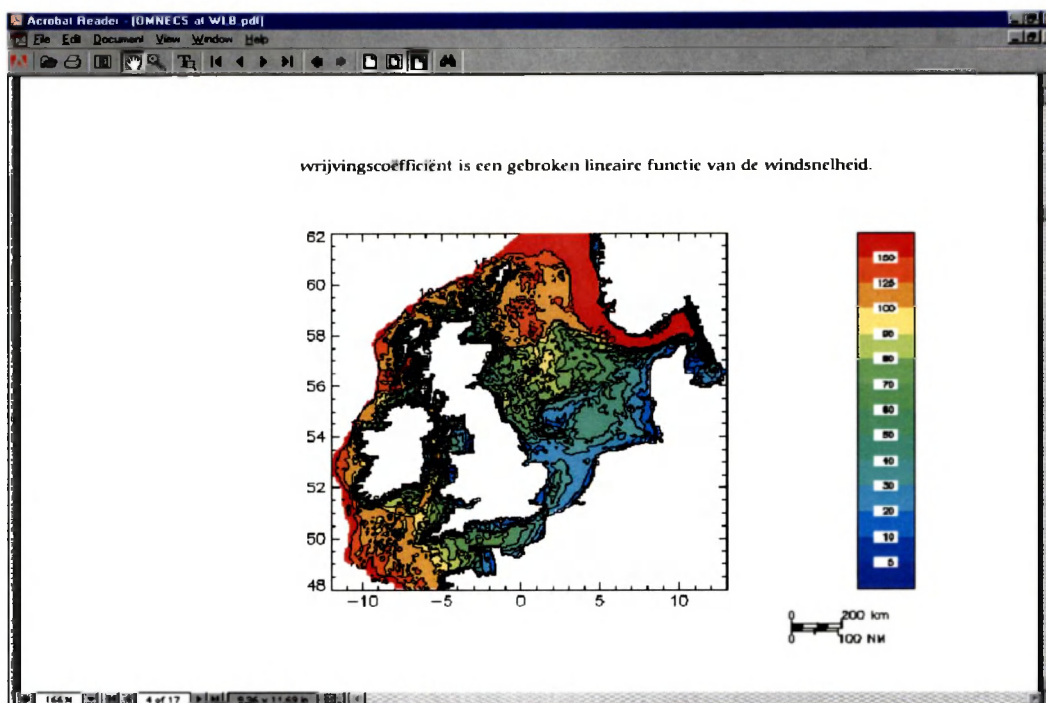
#### ▪ ***OMNECS model***

Het OMNECS model is een hydrodynamisch model voor het Noordwest Europese Continentaal Plat (zie **Figuur** ), dat werd ontwikkeld door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee.

Op basis van astronomische getijcomponenten die worden opgelegd aan de open randen van het model (rand Continentaal plat) wordt een getijvoorspelling doorgerekend. Door rekening te houden met meteorologische invloeden (winddruk en windsnelheid) kan ook de windopzet berekend worden.

OMNECS gebruikt een sferisch coördinatenstelsel en een rekenrooster met cellen van ongeveer 5km x 5 km.





Figuur : Rekendomein en bathymetrie van OMNECS model

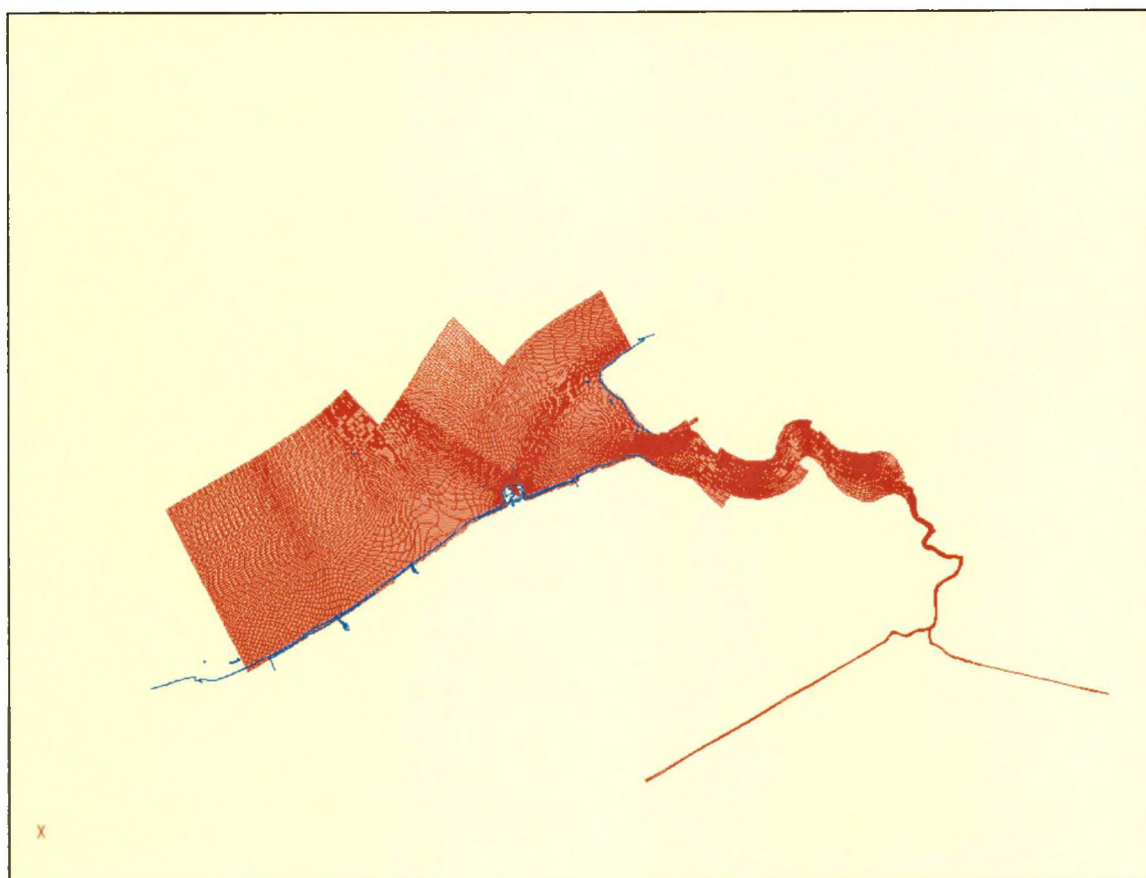
#### ▪ *Kuststrookmodel*

Met behulp van de DELFT3D software werd een stromingsmodel ontwikkeld voor de Belgische kustzone (De Mulder, 1999). Met dit kuststrookmodel kunnen waterhoogtes en de 2 componenten van de dieptegemiddelde stroomsnelheid berekend worden in een zone die ongeveer loopt van de Frans-Belgische grens tot Domburg (Walcheren) en zich zeewaarts uitstrekt tot de Westhinder golfmeetboei.

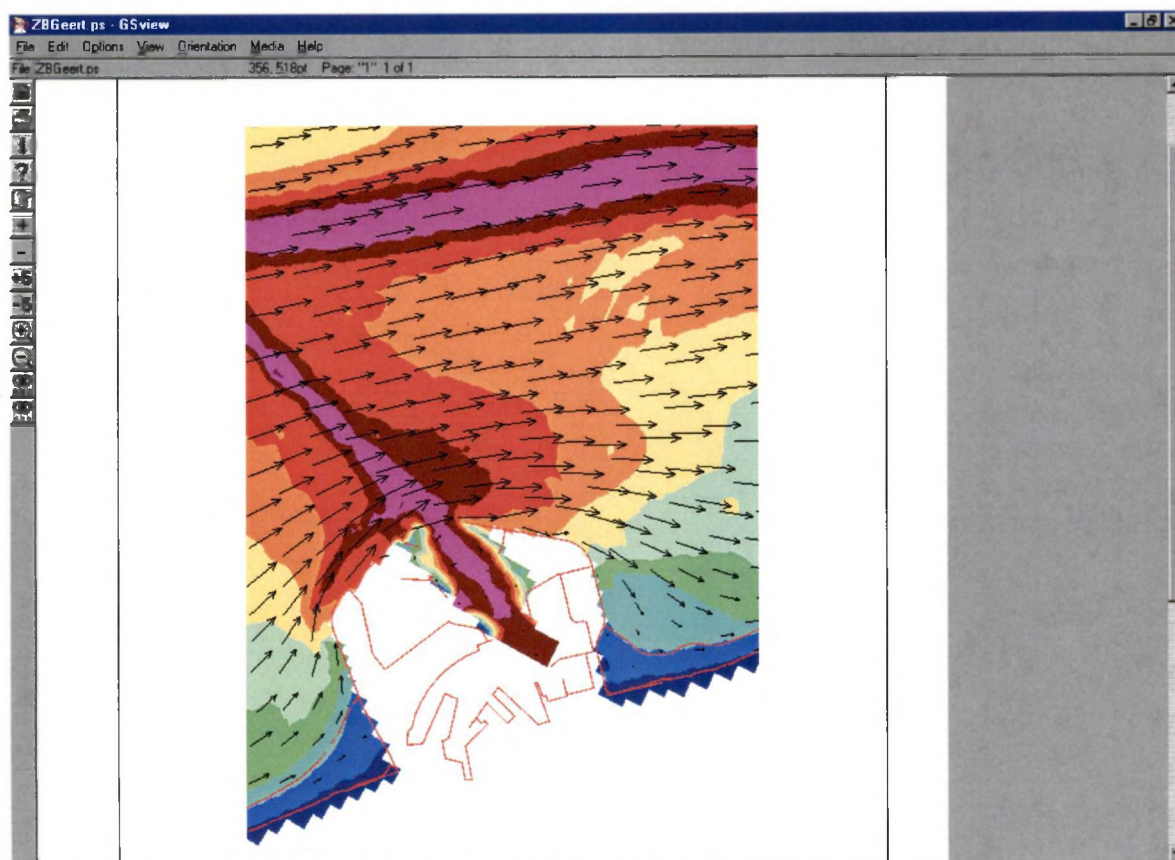
Het kuststrookmodel wordt aangedreven met randvoorwaarden (waterstanden en/of stroomsnelheden) die afkomstig zijn van het OMNECS model.

Binnen het kuststrookmodel kunnen andere modellen genest worden, indien een hogere resolutie vereist is voor bepaalde onderzoeksdoeleinden. Het rekenrooster van het kuststrookmodel (zie figuur) heeft een resolutie van ongeveer 300m x 300m nabij de kust en van ongeveer 300m x 1200m langs de zeewaartse rand. Merk op dat de zeewaartse rand momenteel nog getrapt is (enkel omwille van ontbrekende bathymetrische peilingsgegevens) en dat het opwaarts gedeelte van het Schelde-estuarium sterk vereenvoudigd is weergegeven.

Een detail van de met het kuststrookmodel berekende stroming rond de Haven van Zeebrugge wordt hieronder geïllustreerd.



Figuur : Rooster van kuststrookmodel

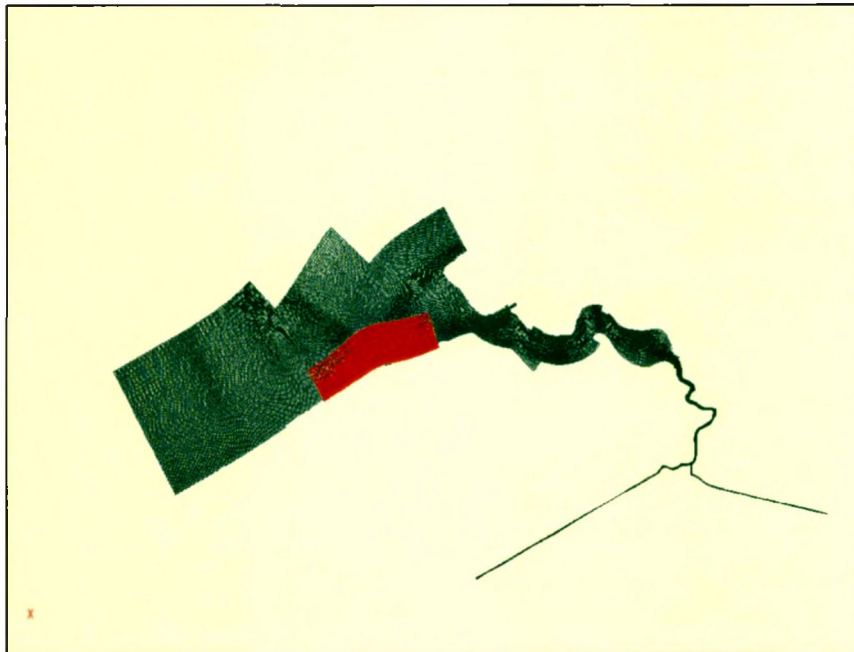


Figuur : Detail van stroming rond Haven van Zeebrugge (kuststrookmodel)

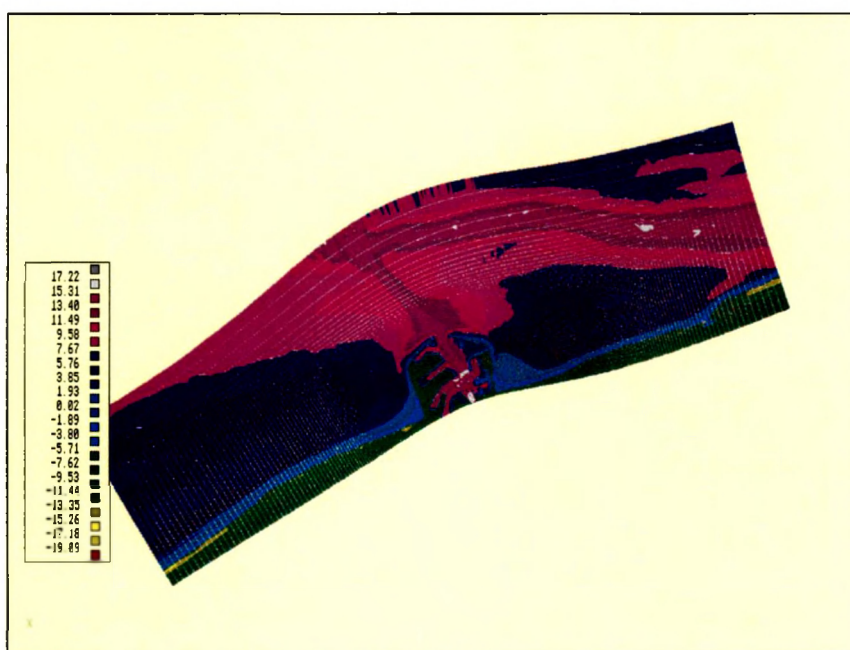
### ▪ *Oostkustmodel*

Een model voor de Belgische Oostkust (De Wit, 2001) werd ontwikkeld via nesting in het kuststrookmodel. Het rekenrooster van het kromlijinig Oostkustmodel heeft cellen van ongeveer 50m x 50m nabij de kust en 100m x 700m nabij de zeewaartse rand.

Naast het stromingsmodel (m.b.v. DELFT3D-FLOW) werd ook een golfvoortplantingsmodel (m.b.v. SWAN-model in DELFT3D-WAVE) ontwikkeld. De interactie tussen stroming en golven werd vervolgens in rekening gebracht via de MOR module. Momenteel wordt de bathymetrie van dit model verder verfijnd ter hoogte van de vooroever en het strand en wordt een verdere calibratie van de stroomsnelheden doorgevoerd.

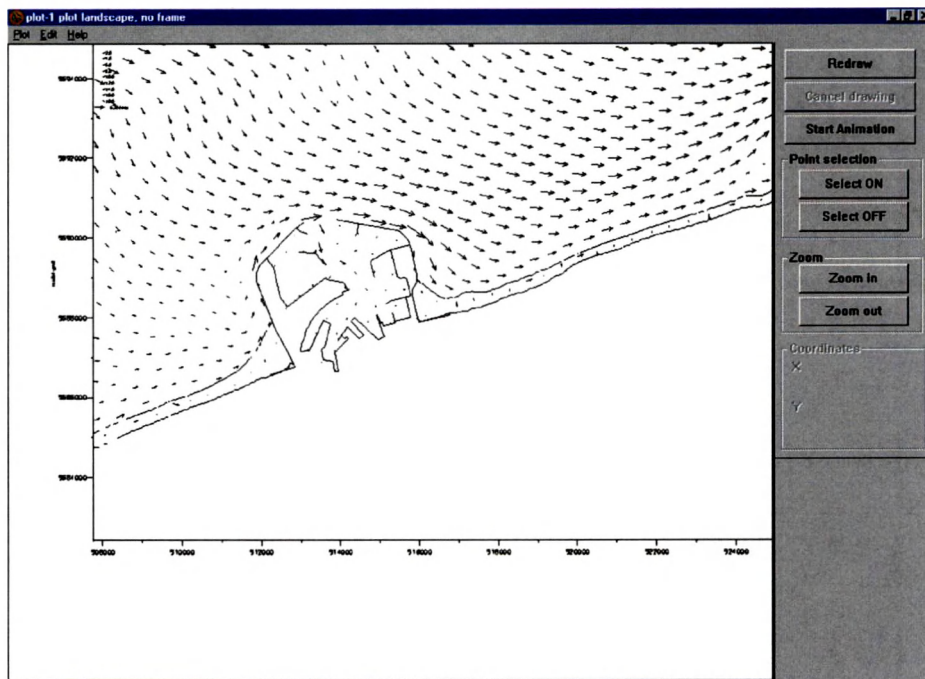


Figuur : Rooster van Oostkustmodel dat genest is in kuststrookmodel



Figuur : Bathymetrie van Oostkustmodel





Figuur : Strooming rond Haven van Zeebrugge (Oostkustmodel)

- ***Zeebruggemodel***

Met het oog op een evaluatie van een meer geavanceerd turbulentiemodel (zogenaamde Horizontal Large Eddy Simulation, HLES) is momenteel een stromingsmodel voor de Haven van Zeebrugge in ontwikkeling. Dit model is in eerste instantie bedoeld voor de studie van de neervorming in en rond de haven.

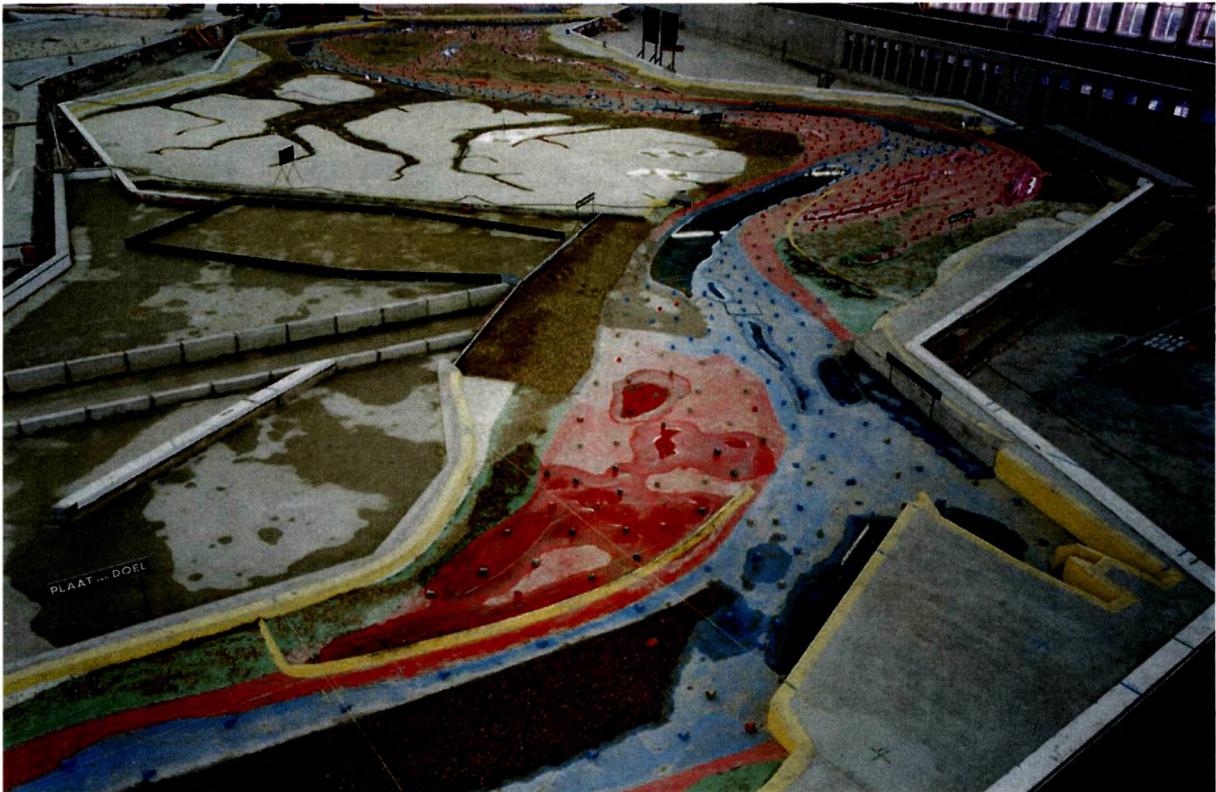
- ***Zuidelijke-Noordzee-model***

Teneinde de koppeling tussen het OMNECS model en de DELFT3D-modellen te optimaliseren, wordt binnenkort een Zuidelijk-Noordzee-model ontwikkeld dat tussen OMNECS en het kuststrookmodel zal geschakeld worden. Op die manier wordt een betere overgang in resolutie van de verschillende rekenroosters verzekerd.

#### ***4.3. Het hydraulisch en morfologisch onderzoek voor de Schelde en haar bijrivieren en de ermee geassocieerde riviergebonden waterbouwkundige constructies***

- ***Tijoverzichtsmodel van de Schelde***

Het hydraulisch onderzoek voor de Schelde werd op het WLH traditioneel uitgevoerd op schaalmodellen, zoals bijvoorbeeld het tijoverzichtsmodel van de Schelde (zie figuur).



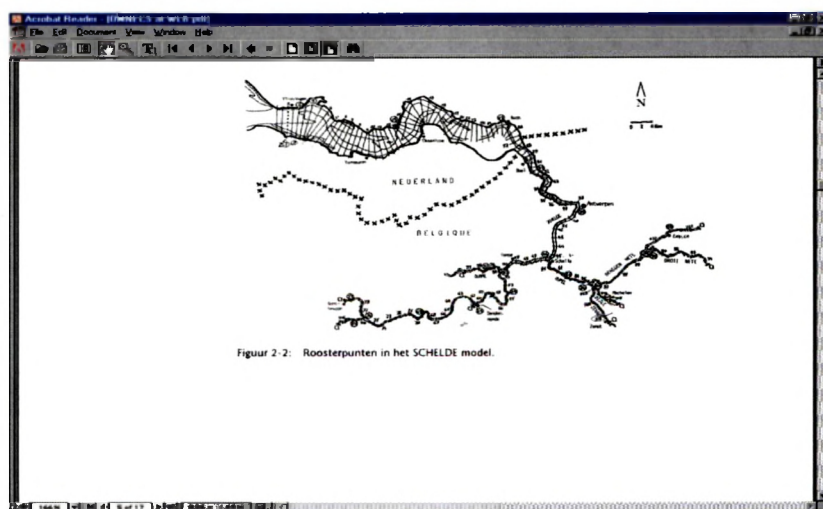
Figuur: tijoverzichtsmodel van de Schelde

- ***Stroomgoten***

Het ontwerp of de werking van riviergebonden waterbouwkundige constructies werd/wordt vaak onderzocht in fysische modellen. Onder meer diverse stroomgoten van het WLH worden hiervoor gebruikt.

- ***Eéndimensionaal mathematisch model van het tijgebonden deel van het Schelde-estuarium***

Sedert de jaren zeventig werd een eigen ééndimensionaal mathematisch model ontwikkeld van het tijgebonden gebied van de Schelde. Dit model werd/wordt ook vaak gebruikt in het kader van studies inzake waterbeheersing en veiligheid.



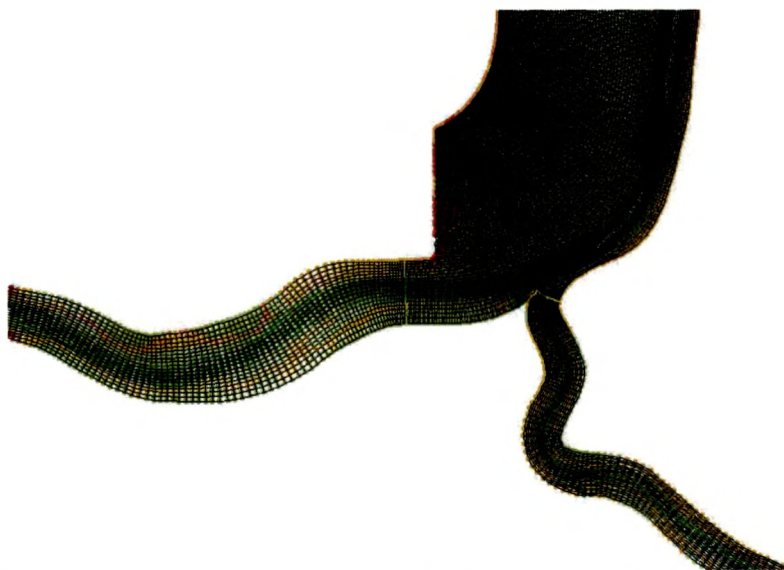
Figuur: overzicht van het ééndimensionaal mathematisch model van de Schelde en haar bijrivieren



#### ▪ *Tweedimensionaal mathematisch model van het tijgebonden deel van het Schelde-estuarium*

Sedert 1998 is de DELFT3D software beschikbaar (zie hierboven). Naast de hierboven beschreven wiskundige modellen voor het onderzoek langs de kust beschikt de afdeling WLH momenteel over een gecalibreerd 2D-model van de Schelde tussen de Nederlandse grens en Gent met alle zijrivieren in het door het getij beïnvloede gedeelte. Dit model vormt onder meer de basis voor hydraulisch onderzoek inzake de inrichting van gecontroleerde overstromingsgebieden.

Ook legt een dergelijk hydraulisch model de basis voor studies inzake transport van sedimenten en nutriënten. Modelleren van deze transporten en de belangrijkste, ermee geassocieerde, complexe fysische processen zijn immers reeds geïmplementeerd in de DELFT3D software. Dit model maakt het op termijn mogelijk om ook morfologisch onderzoek uit te voeren.



Figuur: Detail van het tweedimensionaal mathematisch model van de Schelde en haar bijrivieren. Samenvloeiing van Rupel en Schelde. Koppeling met de gecontroleerde overstromingsgebieden van Kruibeke-Bazel-Rupelmonde.

#### ▪ *Morfologisch onderzoek naar kust en Schelde-estuarium*

Vanaf 1998 kon gestart worden met onderzoek op de Schelde met gereedschap dat toch al minstens een groot deel van de complexe processen in de Schelde kon beschrijven via meerdimensionale wiskundige modellering. Er werden tussen 1998 en 2000 uitbreidingen aan DELFT3D gerealiseerd die moeten toelaten om ook de morfologie aan de kust in de toekomst te kunnen bestuderen. De volledige Belgische Kust en het Schelde-estuarium vormen immers één morfologisch systeem. Vanaf 2000 kan met behulp van wiskundige modellen een bijdrage geleverd worden aan het morfologisch onderzoek waarbij in een eerste fase vooral de hydrodynamische omstandigheden gemodelleerd moeten worden.

Het morfologisch onderzoek poogt inzichten te verwerven in de gevolgen van de menselijke ingrepen en natuurlijke invloeden op de morfologie van de Schelde en op de morfologie voor de Vlaamse kust. Deze invloeden hebben ook gevolgen voor de veiligheid waardoor het onderzoek aldus nauw aansluit bij de onderzoeken inzake de waterbeheersing.

In het kader van de Lange Termijnvisie van de Schelde zijn het veiligheidsaspect, het milieu en de toegankelijkheid prioritaire invalshoeken. Voor deze aspecten is gedegen morfologisch onderzoek van de Schelde noodzakelijk.



Op langere termijn zal het door het morfologisch onderzoek mogelijk moeten worden om voorspellingen te doen over de impact van menselijke ingrepen op de watersystemen. Scenario's moeten kunnen worden doorgerekend en advies zal geleverd kunnen worden over de meest optimale aanpak van bepaalde ingrepen.

Dit onderzoek wordt ontwikkeld in het kader van de Lange Termijnvisie van de Schelde en hiervoor wordt nauwe samenwerking met Nederland nagestreefd om een state-of-the-art modellentrein te kunnen realiseren noodzakelijk voor voorspellingen voor waterbeheersing, voor hydraulische toepassingen en voor morfologisch onderzoek geassocieerd met de baggeractiviteiten.

#### **4.4. Het milieugebonden hydraulisch onderzoek**

### **5. Modelleren in het kader van het nautisch onderzoek**

In de Beleidsnota Mobiliteit en Openbare Werken 2000-2004 worden voor het vervoer te water drie doelstellingen gegeven: 1) verwijderen van knelpunten in het waterwegennet; 2) garanderen van de maritieme toegankelijkheid en 3) verminderen van de aanloopkosten in de havens.

In de strategische doelen van de Administratie Waterwegen en Zeewezen vindt men daarvoor terug

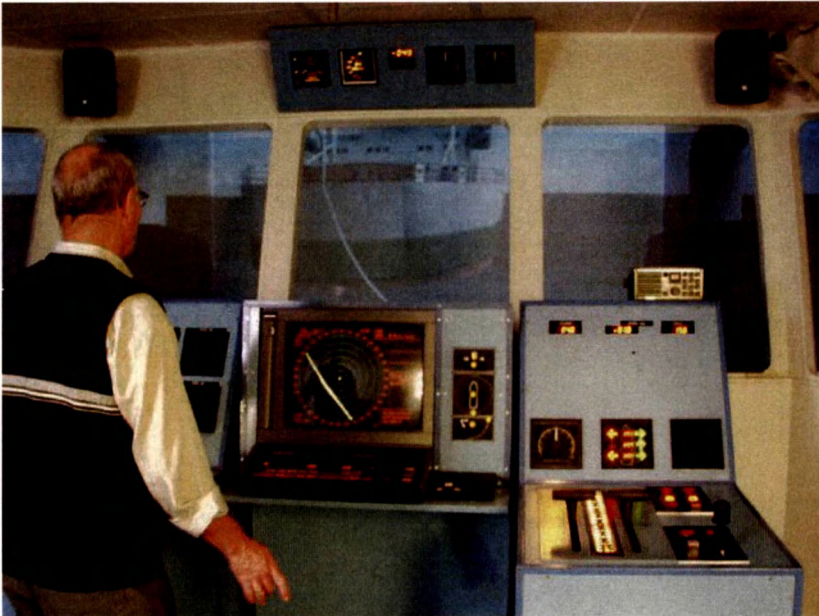
- het aandeel van de binnenvaart en de kustvaart in het totaal van het goederenvervoer betekenisvol doen stijgen
- de totale kostprijs per ton bij het aanlopen van schepen naar de Vlaamse zeehavens verminderen, terwijl hun aandeel in de trafiek op de range Hamburg-Le Havre stijgt.

Het bewaren en vermeerderen van technische knowhow inzake nautische aspecten die een bijdrage kunnen leveren voor de realisatie van die doelstellingen is een taak van vooral het Waterbouwkundig Laboratorium.

Samengevat omvat het nautisch onderzoek het bestuderen van het manoeuvreren van schepen, vooral in ondiep water, onderzoek dat experimenteel wordt uitgewerkt in een fysisch model, de sleeptank, en dit in samenwerking met de Universiteit Gent. De resultaten van dit onderzoek worden samen met natuurmetingen (terreinmetingen en gesimuleerde metingen) geïntegreerd in het **mathematisch model van de scheepsmanoeuvresimulator**. Dit gebeurt op software die grotendeels op de afdeling zelf tot ontwikkeling is gekomen.

Bij uitvoering van een kustwaterbouwkundig project worden de geometrische (zichtbaarheid, oriëntatie vaargeul,...), hydrodynamische (gewijzigde stroming/golven/wind) en psychische (werken in een vertrouwde situatie/omgeving) randvoorwaarden waarin nautici moeten opereren soms dermate gewijzigd dat een studie vooraf op de scheepsmanoeuvresimulator zich opdringt. Op deze wijze kan eventueel het ontwerp van een kustwaterbouwkundig project tijdig bijgesteld worden met het oog op een veilig scheepvaartverkeer, of kunnen nautici zich voorbereiden op (complexe manoeuvres in) een nieuwe omgeving.

De **scheepsmanoeuvresimulator** bestaat niet alleen uit een zo realistisch mogelijk nagebouwde 'brug' (inclusief een bewegend buitenbeeld) waarin nautici alle handelingen kunnen uitvoeren die met het varen met een bepaald (zee)schip gepaard gaan, maar ook uit een heleboel hardware en software.



Figuur : de stuurhut van de scheepsmanoeuvresimulator

Zo is er onder meer nood aan een wiskundig scheepsmodel, waarin de krachtswerking op het schip onder invloed van verschillende randvoorwaarden wordt vastgelegd. Het WLH beschikt over de wiskundige modellen voor een hele reeks schepen.

Ook de omgevingscondities (waterstanden, stroming, wind, golven) dienen in het model ingebracht te worden. Hiervoor kan onder meer beroep worden gedaan op voorspellingen met behulp van de numerieke modellen die beschikbaar zijn op het WLH. De op schepen inwerkende krachten worden experimenteel bepaald door experimenten in een fysisch model van het laboratorium: *de sleeptank*. De resultaten van dit onderzoek zijn een belangrijke input voor de numerieke modellen van de simulator.



Figuur: de sleeptank voor krachtenonderzoek op schepen

Wat betreft het bewegend buitenbeeld, beschikt het WLH reeds over een hele reeks grafische omgevingen (ondermeer havens/dokken/sluizen te Zeebrugge, Oostende, Vlissingen, Terneuzen, Antwerpen, Hingene,...).

Indien een studie betrekking heeft op de uitvoering van een kustwaterbouwkundig project, dient het buitenbeeld van de betreffende (vernieuwde) omgeving aangemaakt te worden. Hierbij kan meestal vertrokken worden van de reeds beschikbare buitenbeelden voor een heleboel havens langs de Belgische kust en het Schelde-estuarium.

Indien de studie dient rekening te houden met een specifiek type (zee)schip, dient desgevallend het overeenkomstig wiskundig scheepsmodel aangemaakt te worden. Zoniet gebruikt men één van de beschikbaar wiskundige scheepsmodellen.

Wat betreft het bepalen van de omgevingscondities (waterstanden, stroming, wind, golven) tijdens of na de uitvoering van het waterbouwkundig project, kan ondermeer beroep worden gedaan op voorspellingen met behulp van de numerieke modellen die beschikbaar zijn op het WLH

Na afronding van het hierboven opgesomde voorbereidende werk, kunnen dan door nautici (c.q. ervaren loodsen) simulatorvaarten uitgevoerd worden. De resultaten van deze simulatorvaarten (vaarbanen, motor- en roergebruik, opgetreden incidenten, persoonlijke indrukken...) kunnen vervolgens geanalyseerd en geïnterpreteerd worden. Dit leidt tot adviezen voor verbeteringen van het ontwerp na een statistisch verantwoord aantal gesimuleerde vaarten. Dit werd bijvoorbeeld toegepast bij het ontwerp van de nieuwe haventoeegang te Oostende.

De simulator wordt niet alleen gebruikt als onderzoeksinstrument voor simulaties van te ontwerpen haveninfrastructuur maar ook als opleidingsinstrument voor loodsen en schippers om in gekende of nieuwe omgevingen te leren varen.

## **6. Besluit**

De afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek is uitgerust met voldoende hard- en software, heeft expertise in huis, en heeft een door de bevoegde minister ondersteund plan om het waterpeilbeheer te organiseren naar de principes van het integraal waterbeheer.

Niet alleen op het vlak van waterbeheersing kan de afdeling samen met de andere waterbeheerders instaan voor de noodzakelijke modellering, de monitoring en het databeheer om beleidsondersteunend en beleidsuitvoerend een belangrijke rol te kunnen spelen. Ook voor hydraulische problemen en inzake nautische aangelegenheden ontwikkelt de afdeling modellen of bouwt ze hierover de nodige knowhow op kaderend in de strategische doelstellingen van de administratie en van de bevoegde minister..

De unieke combinatie van onderzoek vanaf terreinmetingen, over modelmatig verwerken van de terreinmetingen met DELFT3D modellen, over het fysisch experimenteren in de sleeptank met scheepsbewegingen, over de integratie van natuur- en nautische gegevens in het model van de simulator, tot het realiseren van de simulatie-experimenten en uiteindelijk de opleiding is een voorbeeld van geavanceerd geïntegreerd onderzoek waar de afdeling wil voor staan en hier ook een unieke positie inneemt dat door geen enkel binnenlandse groep als dusdanig kan worden gerealiseerd.