

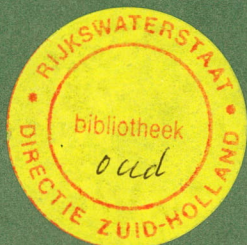
DI: 803072

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory
rijkswaterstaat

Getijmodel Rijnmond

bouw waterhuishoudkundig model
van het Noordelijk Deltabekken

ontwerpgegevens Getijmodel Rijnmond



M 1350 - XII

december 1981

nota
C 2500 - M 1350XII

Getijmodel Rijnmond

bouw waterhuishoudkundig model
van het Noordelijk Deltabekken

ontwerpgegevens Getijmodel Rijnmond

M 1350-XII

december 1981

rijkswaterstaat

directie benedenriversen

postbus 137

3300 AC dordrecht

Opgenomen in Bibliotheek

Onder Nr. C 2500

INHOUD

Lijst van figuren

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding.....</u>	1
<u>2</u> <u>Globaal overzicht voorgeschiedenis Getijmodel Rijnmond.....</u>	3
2.1 Inleiding.....	3
2.2 M900/M1350.....	4
<u>3</u> <u>Opzet van het model.....</u>	12
3.1 Aanleiding en doelstelling.....	12
3.2 Omvang onderzoekgebied.....	13
<u>4</u> <u>Ontwerp randvoorwaarden en keuze bodemligging.....</u>	16
4.1 Inleiding.....	16
4.2 Afvoeren bovenrivieren.....	16
4.3 De getij-instelling Hoek van Holland.....	17
4.4 Windinvloeden.....	19
4.5 Bodemligging model.....	21
4.5.1 De rivieren.....	21
4.5.2 De zeebodemligging.....	23
4.6 Lozingen en onttrekkingen.....	24
<u>5</u> <u>Vormgeving getijmodel.....</u>	26
5.1 Inleiding.....	26
5.2 Plaats modelranden.....	26
5.3 Labyrinten, spiegelingen en bochtstraalverkleiningen.....	29
5.3.1 Inleiding.....	29
5.3.2 Hollandsche IJssel, Lek, Amer, Boven Merwede.....	30
5.3.3 Labyrinten bovenrivieren.....	30
5.3.4 Haringvliet/Hollandsch Diep.....	31
5.3.5 De aanstroming van het Spui.....	35
5.4 Ontwerphoogte modelgeometrie versus randvoorwaarden.....	36
5.5 Details modellering.....	40
5.5.1 Modelleringshoogte gebied Oude Maasje/Donge.....	40
5.5.2 Hartelkanaal.....	41
5.5.3 Modellering in verband met toekomstig onderzoek.....	41

INHOUD (vervolg)

	blz.
<u>6</u> <u>De profilering</u>	
6.1 Bouw modelprofilering.....	43
6.2 Profilering kribben.....	44
6.3 Profilering bovenrivieren.....	45
6.4 Profilering Haringvliet/Hollandsch Diep.....	45
6.5 Profilering havens.....	46
<u>7</u> <u>Meetfaciliteit</u>	49
7.1 Inleiding.....	49
7.2 Globale inventarisatie van meetinstrumenten.....	50
7.3 Korte beschrijving van enkele meetinstrumenten.....	50
7.4 Meetnet.....	53
7.5 Verwerking meetgegevens.....	54

Referenties

BIJLAGE A: Lijst van WV-Nota's

BIJLAGE B: Waterhuishoudkundige onderzoeken in het getijmodel

BIJLAGE C: Globale inventarisatie van meetinstrumenten

Figuren

Fotoblad

Lijst van figuren

- 1 Plattegrond Getijmodel Rijnmond (M900)
- 2 Onderzoek- en randvoorwaardengebied - ingrepen t.b.v. modeluitleg
- 3 Grootte en kans van Maasafvoer bij gegeven Bovenrijnafvoer
- 4 Plattegrond modelzee - indeling bouwwijzen bodem
- 5 Plattegrond modelzee - jaartal gebruikte zeelodingen
- 6 Plattegrond Getijmodel Rijnmond (M2000)
- 7 Waterstandsverloop Waal.
- 8 Principeschets: funktioneren stuw Hagestein
- 9 Labyrint Haringvliet/Hollandsch Diep
- 10 Ontwerphoogen getijmodel (bovenrivieren)
- 11 Ontwerphoogen getijmodel (benedenrivieren)
- 12 Hoogwaterstanden Noordelijk Deltabekken
- 13 Situatie: Donge en Oude Maasje
- 14 Situatie: mond Hartelkanaal voor 1982
- 15 Situatie: mond Hartelkanaal vanaf 1982
- 16 Schematisatie haventaluds
- 17 Jaarreeks debieten 1976 - histogrammen
- 18 Jaarreeks debieten 1976 - histogrammen (vervolg)
- 19 Principeschets "horizontale zouthark" en "ROVER"
- 20 Ontwerpgegevens MADEMs

GETIJMODEL RIJNMOND

BOUW WATERHUISHOUDKUNDIG MODEL VAN HET NOORDELIJK DELTABEKKEN;

1 Inleiding

De ontwerp-gegevens van het Getijmodel Rijnmond (M2000) zijn opgesteld door de werkgroep "Voorbereiding bouw Waterhuishoudkundig model van het Noordelijk Deltabekken". De Werkgroep was samengesteld uit een aantal vertegenwoordigers van de directie Benedenrivieren, het district Zuidwest van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging en het Waterloopkundig Laboratorium. In 12 bijeenkomsten in de periode van april 1979 tot februari 1980 zijn de ontwerp-gegevens besproken. De resultaten zijn weergegeven in 27 zogenaamde WV-Nota's (zie bijlage A). Tijdens de werkbespreking tussen de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium zijn op 25 juni 1980 alle nota's inhoudelijk besproken en goedgekeurd.

Per WV-nota is een specifiek ontwerpaspect uitgebreid en gedetailleerd behandeld. De volgorde van de nota's was in veel gevallen sterk bepaald door de fasen in de bouw van het model die gelijktijdig plaatsvond.

Dit heeft nu als nadeel dat de hoofdlijnen van het ontwerp niet altijd even duidelijk in de bundel WV-Nota's zijn terug te vinden.

Daarom is besloten een compilatie te maken van de genoemde nota's, zodat een overzichtelijk beeld wordt verkregen van de ontwerpgegevens van het onderhavige model.

Naast een stukje voorgeschiedenis van het model wordt met name aandacht gegeven aan de motivering van tal van ontwerpgegevens. Hieruit zal blijken waarom het model zo gebouwd is, zoals het er momenteel in de modelhal bijligt. In hoofdstuk 2 wordt de voorgeschiedenis van het huidige model verwoord. Deze is van belang om een inzicht te krijgen hoe het model feitelijk tot stand is gekomen.

Doordat de voorloper van M2000 al in 1965 is gebouwd, is er in de onderzoeksperiode veel ervaring opgedaan die in het huidige model is verwerkt. Daarnaast zijn een aantal randvoorwaarden (b.v. schalen, zeerandligging enz.) ten tijde van de bouw van het toenmalige model gekozen en waren als zodanig uitgangspunten voor M2000.

Hoofdstuk 3 behandelt de opzet van het model. Hierin komen aan de orde de probleemstelling voor de bouw van het model en de aard van de onderzoeken die uitgangspunt voor de grootte van het model waren.

In hoofdstuk 4 worden de uit de onderzoeken voortvloeiende randvoorwaarden besproken in relatie tot het model. In hoofdstuk 5 komt de uiteindelijke vormgeving van het model aan de orde, opgelegd door de aard van de onderzoeken, bedrijfsvoering en kosten.

Hoofdstuk 6 gaat nader in op de profilering terwijl in het laatste hoofdstuk de met het model samenhangende meetfaciliteiten worden belicht.

Het rapport is samengesteld door ir. A.W. de Haas (RWS) en ing. P. de Jong (WL) in nauw overleg met de werkgroep.

2 Globaal overzicht voorgeschiedenis Getijmodel Rijnmond

2.1 Inleiding

Een eerste stap naar een probleemstelling voor waterhuishoudkundig onderzoek in het Noordelijk Deltabekken is gezet omstreeks 1965.

In 1965 was door een werkgroep waarin vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat, Gemeentewerken Rotterdam en het Waterloopkundig Laboratorium zitting hadden, een rapport "Richtlijnen voor onderzoek" opgesteld [1].

Hierin konstateerde men dat naast de veiligheid en waterhuishouding in dit gebied nog vele andere belangen op de voorgrond zouden treden, zoals scheepvaartbelangen (sluizen en diepte van de vaarweg), onderhoud (aanzandingen en ontgrondingen; aanslibbing in de havens etc.), zandwinning en ijsbestrijding. Het gewicht van deze belangen en hun onderlinge verhoudingen en relaties waren en zijn nog steeds aan voortdurende veranderingen onderhevig. Zo hebben zich bijvoorbeeld na het tot stand komen van de hoofdlijnen van het Deltaplan en het opstellen van het eindadvies van de Deltacommissie in het Noordelijk Deltagebied ontwikkelingen op industrieel en economisch gebied voorgedaan, die ingrijpende konsekwenties hebben op de waterstaatkundige toestand in dit gebied. Zo nam bijvoorbeeld door de havenuitbreiding voornamelijk van Rotterdam, maar ook in de omgeving van Dordrecht, de intensiteit van de scheepvaart toe. Door de steeds groeiende diepgang van de zeeschepen moesten ook de zeescheepvaartwegen worden verdiept. Een gevolg hiervan was een duidelijk waarneembare versterking van de zoutpenetratie. Tezamen met de voortdurende verontreiniging van het Rijnwater zou dit tot gevolg kunnen hebben dat een deel van de gunstige waterhuishoudkundige ontwikkeling tengevolge van het Deltaplan, met name door de afsluiting van het Haringvliet, weer teniet zou worden gedaan.

Deze konstatering brachten bovengenoemde Werkgroep tot de konklusie dat een zorgvuldige planning van de toekomstige situatie, gezien de gekompliceerde samenhang van zowel de gevolgen van diverse ingrepen in de infrastructuur als van de daarmee gediende en geschade belangen, onontbeerlijk zou zijn.

Om deze planning mogelijk te maken, zo stelde men, zou echter allereerst een onderzoeksapparaat nodig zijn dat de mogelijkheden in zich heeft om de gevolgen van de verschillende oplossingen te voorspellen, opdat de afweging van de

konsekwenties voor de diverse belangensferen mogelijk wordt. Dit was de eerste stap naar een hydraulisch model, daar dit toendertijd het aangewezen onderzoeksmiddel was. De voorbereidingen voor een hydraulisch model zijn destijds in een stroomversnelling gekomen toen in 1965 modelonderzoek urgent werd vanwege het projekt Maasvlakte-Europoort. In korte tijd is toen het Getijmodel Rijnmond (M900) tot stand gekomen (fig. 1).

2.2 M900/M1350

De bouw van het Getijmodel Rijnmond werd in 1965 door de afdeling Havenmonden van de Rijkswaterstaat opgedragen aan het Waterloopkundig Laboratorium voor de begeleiding van de werken voor de nieuwe havenmond Hoek van Holland (Maasvlakte-Europoort) met operationeel modelonderzoek. De veiligheid van de scheepvaart gedurende de uitvoering van de werken stond hierbij voorop. Nieuw was dat in dit getijmodel met zout en zoet water gestroomd zou worden; het model zou een vaste bodem hebben. Als schalen voor dit model werden gekozen 1:64 in verticale zin en 1:640 in horizontale zin.

Het stroombeeld in de mond van de Rotterdamsche Waterweg wordt bepaald door het getij en in belangrijke mate mede door de uitwisseling van zout en zoet water (dichtheidsstroming). De wenselijkheid van goed stroombeeldonderzoek maakte het daarom noodzakelijk dat de dichtheidsverschillen in het model konden worden ingesteld. De eis van reproductie van het stroombeeld onder invloed van getij en dichtheidsverschillen is bepalend voor de keuze van de schaalkombinatie. Anderzijds betekent dit dat indien de schaalkombinatie optimaal is voor reproductie van getij en zoutbeweging, het model in beperkte zin ook geschikt is voor onderzoek van problemen waarbij de verspreiding van een stof een rol speelt in een door dichtheidsstromen beïnvloed gebied.

In het rivierenstelsel waren de randen zodanig gekozen dat deze bij de toen gehanteerde rivierrandvoorwaarden buiten het zout/zoetgebied lagen, maar nog wel in het getijgebied. Hierdoor wordt het probleem van de regeling van de rivierranden gereduceerd tot dat van een homogene debietregeling. Echter het reproduceren van de zouttoestand vereist dat de randvoorwaarde aan een zeer hoge graad van nauwkeurigheid moest voldoen. Nadat het model gereed was diende het geijkt te worden.

Na afloop van de ijking van het model aan de hand van de zeemeting van 15 juni 1966 is het stroombeeld op de Noordelijke Maasvlakte (t.p.v. de kop van de vroegere zanddam) en de mond van de Nieuwe Waterweg aan de hand van de bewakingsmeting van 3-4 maart 1969 gedetailleerd onderzocht.

Alvorens daarna een begin werd gemaakt met het operationele modelonderzoek "Uitvoeringsfasen definitieve toegang Europoort" is in het model het stroombeeld rond de tijdelijke toegang naar Europoort geverifieerd aan de hand van de Europoortmeting van 5 juni 1968.

Het doel van deze controle was tweeledig:

1. Vergelijking van het model met het prototype voor wat betreft de volgende verschijnselen op de Nieuwe Waterweg in de tijdelijke toegang en op het Calandkanaal:
 - het verloop van de snelheid in grootte en eventueel in richting;
 - het verloop van de dichtheid in een aantal vertikalen.
2. Referentiemeting voor de bouwfases van de definitieve toegang Europoort.

Na de beëindiging van het onderzoek van de "Uitvoeringsfasen definitieve toegang Europoort" in het Getijmodel Rijnmond (M900) en voor de aanvang van het onderzoek van de "Eindsituatie Europoort" is in het model het Haringvliet afgesloten.

Vanaf 1968 is in het Getijmodel Rijnmond een lange reeks onderzoeken uitgevoerd voor de begeleiding van de bouw van de havenmond, de Maasvlakte en Europoort, zoals de uitvoeringsfasen van de definitieve toegang en de uitvoeringsfasen van de Noorder- en Zuiderdam.

Voor zover het onderzoekprogramma van de afdeling Havenmonden van de Rijkswaterstaat dat toeliet is in het model M900 ook waterhuishoudkundig onderzoek uitgevoerd (zie bijlage B).

Reeds in 1971 is overleg begonnen over de mogelijkheden die het Getijmodel Rijnmond zou bieden voor toekomstig onderzoek. In dit kader zijn een aantal analyses van de problematiek met betrekking tot het benedenrivierengebied tot stand gekomen, zowel van de kant van de Rijkswaterstaat als vanwege het Waterloopkundig Laboratorium. Het ging daarbij met name om de mogelijkheid die het Getijmodel Rijnmond zou bieden ten opzichte van of in combinatie met andere methoden van onderzoek. Vastgesteld werd dat de mogelijkheden van rekentechnieken nog zodanig beperkt waren dat een voortzetting van het getijmodel nagestreefd diende te worden. Evenwel waren er belangrijke problemen.

Probleem 1

De getijregeling van het model was zeer complex. Het zeegebied in het model werd begrensd door 3 randen. De Zuidrand omvatte 7 regelpunten, de Noordrand 5 en de Westrand was gesloten. Reeds tijdens de onderzoeksperiode voor de Havenmond Hoek van Holland was de noodzaak gebleken van een zeerandregeling waarmee desalniettemin snel andere randvoorwaarden ingesteld konden worden op basis van eenduidige inregelprocedures.

De voortgaande ontwikkeling van de getijregeltechniek en van de automatisering had dit binnen de mogelijkheden gebracht. Een rekonstruktie van de zeerandregeling gold voor de voortzetting van het getijmodel als een essentiële voorwaarde.

Probleem 2

Door Rijkswaterstaat werd gesteld dat inzicht in de reproductie van de relevante hydrodynamische verschijnselen essentieel was voor verdere beslissingen ten aanzien van de voortzetting van het Getijmodel Rijnmond. Een en ander had tot gevolg dat in 1972 de z.g. "Bewijsgroep" werd ingesteld voor het voorbereiden van een Bewijsproef, welke inzicht zou moeten geven zowel in de reproductie als ten aanzien van de bedrijfsvoering. Met betrekking tot dit laatste werd ondermeer het snel kunnen instellen van randvoorwaarden bedoeld en het kunnen genereren van getijreeksen. Hier lag een koppeling met het zeerandprobleem. Een nieuwe zeerand zou het mogelijk moeten maken getijreeksen te reproduceren; met de toen bestaande was dit niet mogelijk.

Probleem 3

De toekomstige taken van het getijmodel zouden in belangrijke mate betrekking hebben op de waterhuishouding in het benedenrivierenstelsel. Het modelgebied was beperkt tot de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas tot en met het splitsingspunt Lek/Noord en de Oude Maas tot en met het splitsingspunt Spui. Voor het waterhuishoudkundig onderzoek zou minstens een uitbreiding tot en met het Eiland van Dordrecht noodzakelijk zijn, eventueel zou het volledige benedenrivieren(getij)gebied ingebouwd moeten worden.

In de periode 1972-1974 is er intensief overleg geweest en is er veel voorbereidend werk gedaan om de gewenste aanpassingen te realiseren. In 1974 werd er binnen de Rijkswaterstaat besloten om het Getijmodel Rijnmond gereed te maken

voor toekomstig onderzoek. Op 6 november 1974 werd door de afdeling Havenmonden van de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat opdracht gegeven voor:

1. het bouwen van een nieuwe zeerand
2. het uitvoeren van een z.g. Bewijsproef
3. het bestekgereed maken van een uitbreiding van het model in rivieropwaartse richting.

De uitbreiding van het model werd afhankelijk gesteld van de resultaten van de Bewijsproef. Wanneer deze proef succesvol zou verlopen, kon een aanvullende opdracht verwacht worden. Een globale opzet van de uitbreiding van het model was reeds in 1972 gemaakt.

ad 1. Nieuwe Zeerand [2]

Om het Getijmodel Rijnmond gereed te maken voor toekomstig onderzoek was het bouwen van een nieuwe zeerandregeling noodzakelijk. Het was essentieel bij toekomstig gebruik van het model als waterhuishoudingsmodel dat in het model snel en eenduidig andere randvoorwaarden ingesteld zouden kunnen worden.

De doelstelling voor de nieuwe zeerand was het verkrijgen van een kwantitatief instelbare randregeling. De debieten op de randen moesten in autonome randsecties momentaan en kwantitatief ingesteld kunnen worden.

Als resultaat van de waterbeheersing van het zeegebied moest de korrekte randvoorwaarde in de mond van de Waterweg (stroombeeld voor de mond, zouttoestand en waterstand in de mond) gereproduceerd kunnen worden.

In januari 1973 werd een voorstel "Eerste opzet nieuwe zeerand M900" gereed gemaakt. In hetzelfde jaar werd door Rijkswaterstaat toestemming gegeven een nieuwe zeerandregeling bestekgereed te maken.

Aansluitend werden inregelprocedures ontwikkeld op basis van tweedimensionale getijberekeningen. Lopende de voorbereiding voor de bouw, en tijdens de bouw en montage van de zeerand werd de computerbesturing voor de zeerandregeling ontwikkeld. Midden 1976 werd de zeerand opgeleverd en kon het inregelen starten, met model M1350, zoals M900 inmiddels was hernummerd.

ad 2. De Bewijsproef [3]

De Bewijsproef omvatte het reproduceren van een aantal prototype-riviermetingen. De reproductie kon bestudeerd worden aan de hand van grootheden als vertikaal en horizontaal getij en zoutindringing. Deze zoutindringing zou bij

toekomstige onderzoeken het hoofdbestanddeel vormen. Dit element had zoveel gewicht dat voor een aantal ver uiteen liggende omstandigheden van getij en afvoer, aangetoond moest worden, dat de water- en zoutbeweging - in een eenmaal goed ingesteld model - goed gereproduceerd zou worden. Bij de beschikbare prototypemetingen lagen de omstandigheden nog betrekkelijk dicht bij elkaar. Naast de reproductie van het prototype moesten met de modelinstallatie snel verschillende getijden ingesteld kunnen worden en moesten ook meerdere getijden in één cyclus (getijreeks) gerealiseerd kunnen worden.

Middels de Bewijsproef moest worden aangetoond dat zowel een goede reproductie van het prototype als een snelle getij-instelling tot de mogelijkheden van het Getijmodel Rijnmond behoorde.

Om de modelmetingen en prototypemetingen met elkaar vergelijkbaar te doen zijn moesten zij beide in vergelijkbare vorm gegoten worden.

De prototype-informatie bestond zoals vermeld uit waterstanden, snelheids- en chloridegehaltevertikalen. De waterstanden werden ontleend aan automatische peilschaalregistraties en hebben het NAP-vlak als referentieniveau. De snelheden en chloridegehalten werden op diverse diepten ten opzichte van de waterpiegel gemeten. Deze gegevens werden op diverse tijdstippen bepaald, maar waren niet ekwidistant in de tijd. In het model werden de waterstanden ook ten opzichte van het NAP-vlak vastgelegd. Deze waren dus eenvoudig met gegevens uit het prototype vergelijkbaar. De snelheden en dichtheden daarentegen werden op vaste niveaus ten opzichte van NAP en ekwidistant in de tijd vastgelegd. Deze waren daarom niet rechtstreeks met het prototype vergelijkbaar. Om deze reden zijn de natuurgegevens omgewerkt tot met modelresultaten vergelijkbare grootheden.

Omdat de rivierranden binnen het getijgebied lagen, moest hier een getijbeweging ingesteld worden [4]. Op deze randen werd het horizontale getij ingesteld. Een groot probleem was dat de hiertoe benodigde debieten niet volledig vanuit het prototype bekend waren. Deze onvolledigheid was tweërlei; ter plaatse van de beide rivierranden was niet simultaan gemeten en de meting was gedurende 13 uur uitgevoerd, terwijl in Getijmodel Rijnmond gewerkt werd met een getijperiode, die cyclisch is over 25 uur.

Teneinde over een complete serie randvoorwaarden te kunnen beschikken, werd gebruik gemaakt van debieten, welke berekend zijn met het elektrisch analogon DELTAR.

Aangezien de DELTAR een homogeen model is, werd om effecten tengevolge van

dichtheidsverschillen zoveel mogelijk uit te sluiten de zeerandvoorwaarde (vertikaal getij) niet in Hoek van Holland maar in Rotterdam/Spijkenisse gelegd. Speciaal voor dit onderzoek werd de DELTAR geijkt.

Kort samengevat waren de resultaten als volgt [5] [6]:

- 1.1 Met de nieuwe zeerand is het zeer goed mogelijk een getij, uitgaande van daartoe beschikbare randvoorwaarden, binnen één dag in te regelen.
- 1.2 Bij vergelijking van twee achtereenvolgende identieke proeven blijkt de over het dwarsprofiel gemiddelde waarde van het chloridegehalte bij de punt van de zouttong minder dan 45 mg Cl^-/l te verschillen (driftloosheid).
Dit geldt zowel voor de gehele getijperiode als op een specifiek tijdstip daaruit (HWK).
- 1.3 Bij vergelijking van twee identieke proeven waar tussendoor het modelbedrijf is onderbroken blijkt de over het dwarsprofiel gemiddelde waarde van het chloridegehalte bij de punt van de zouttong minder dan 180 mg Cl^-/l te verschillen behoudens een incidentele momentane uitschieter. (instelnauwkeurigheid). Ook dit geldt zowel voor de gehele getijperiode als op een specifiek tijdstip daaruit (HWK).
- 2 De reproductie-kapaciteit kon niet eenduidig worden vastgesteld in verband met het niet voldoen aan de voorwaarde dat de randvoorwaarden foutloos moesten zijn. Hiermee wordt niet bedoeld dat enige onnauwkeurigheidsmarge in de randvoorwaarden ontoelaatbaar zou zijn. Bij de uitvoering van de Bewijsproef is echter geconstateerd dat een eenduidige inregeling van het model slechts mogelijk was, als in het verticale getij te Hoek van Holland belangrijke "korrekties" aangebracht werden.

ad 3. Uitbreiding van het model

Tegelijk met de uitvoering van de Bewijsproef werd de oostelijke uitbreiding bestekgereed gemaakt. Het bestaande model zou uitgebreid worden, zodat waterhuishoudkundig en scheepvaartonderzoek mogelijk was tot en met het Eiland van Dordrecht. De nieuwe rivierranden zouden buiten het getijdegebied dienen te liggen. De belangrijkste verschillen met het toen bestaande model zouden zijn:

1. De rivierranden in het uitgebreide model worden niet door de te onderzoeken ingrepen beïnvloed. Dit verhoogt de nauwkeurigheid van het onderzoekresultaat.
2. Het vorige model kon tezamen met het stuurmodel DELTAR/IMPLIC beschouwd worden als een hybried model. Echter bij een volledig hybried model beïnvloeden de afzonderlijke delen van het model elkaar, waardoor vaak iteratief gewerkt moest worden. Dat was bij de combinatie DELTAR/M1350 niet het geval: de met het wiskundig model berekende debieten werden op het hydraulisch model opgedrukt. De in het wiskundig model toegepaste schematisaties in het benedenstroomse gebied hadden zodoende invloed op het hydraulisch model, maar het hydraulisch model had geen invloed op de (bovenstroomse) resultaten van het wiskundig model. Dit is van invloed geweest op de ijking van het vorige model.
In het nieuwe model is geen sprake van een hybried karakter, zodat de waterbeweging eenduidig van aard is. De reproductiecapaciteit van het uitgebreide model in het onderzoeksgebied zal daardoor groter zijn dan van het vorige model.
3. De invloed van een ingreep kan ook bij extreme omstandigheden (b.v. lage afvoeren) worden onderzocht. Dit was in het vorige model niet mogelijk, omdat het zout dan de rivierranden overschreed.

Naast deze activiteiten werd ook operationeel onderzoek uitgevoerd (zie bijlage B).

Het stadium van voorbereiding van de oostelijke uitbreiding en operationeel onderzoek (onderzoek verdieping Maasgeul) werd abrupt afgebroken door de brand die op 14 januari 1979 het Getijmodel Rijnmond vrijwel volledig verwoestte. Hierdoor kwam de voorbereiding van de uitbreiding in een stroomversnelling. De bezinning die hierna plaatsvond maakte duidelijk dat onverwijld verder gegaan moest worden en dat alleen herbouw in combinatie met uitbreiding zinvol was.

In april 1979 is de werkgroep "Vorbereiding bouw waterhuishoudkundig model van het Noordelijk Deltabekken" van start gegaan die de ontwerpgegevens van het toekomstige model gedetailleerd diende op te stellen en de bouw, voor zover het waterhuishoudkundige aspecten betrof, diende te begeleiden.

Op 28 mei 1979 werd door Rijkswaterstaat opdracht gegeven om het model te herbouwen en uit te breiden.

Van belang is op te merken dat bij de vergroting van het getijmodel de schalen

dus niet ter diskussie stonden, omdat het hier om een herbouw en een uitbreiding ging; niet een totale nieuwbouw.

Medio 1981 werd het uitgebreide model opgeleverd waarna begin oktober een start werd gemaakt met de afnamekontrole van de meet- en regelapparatuur en de inregeling en ijking.

3 Opzet van het model

3.1 Aanleiding en doelstelling

Door gebruik te maken van de mogelijkheden om de afvoerverdeling tussen Waal en Lek te wijzigen en om te manipuleren met de stormvloedkering in de Hollandsche IJssel, kan de waterbeweging in het benedenrivierengebied met name in perioden met lagere afvoeren beïnvloed worden.

Door het uitvoeren van werken zal, gezien de geometrie van het systeem waarin het oppervlaktewater zich langs meerdere parallel gelegen riviertakken naar zee kan bewegen en de getijbeweging zich over evenzo vele takken verdeelt, de waterbeweging eveneens beïnvloed worden.

Wijzigingen in de waterbeweging, of door het uitvoeren van werken in de rivier of door manipuleren met de aanwezige stuwen en inlaatwerken hebben consequenties met betrekking tot onder andere zoutindringing, verspreiding van stoffen, stroombeelden in verband met scheepvaart, sedimenttransport en het rivierprofiel. Deze laatste faktor zal, zij het op langere termijn, afhankelijk van de plaats van verandering in meer of mindere mate effect hebben op de waterbeweging en daarmee weer op de eerder genoemde factoren.

Voor het afwegen van de belangen, verbonden aan het uitvoeren van werken, c.q. het manipuleren met de afsluitwerken is het noodzakelijk een inzicht te hebben in de veranderingen die op zullen treden. Met name vereist het effect van ingrepen op de zoutindringing bijzondere aandacht, gezien de kritieke toestand die in de huidige situatie bij lage bovenrivierafvoeren optreedt met betrekking tot de verziltingssituatie op de Hollandsche IJssel, de aanvoerweg van water voor het middenwesten van ons land. Daarnaast dient tevens aandacht te worden besteed aan het verschijnsel van de achterwaartse verzilting (doordringen van zout naar het Haringvliet via Spui en Noord en Kil).

Omdat de zouttoestand in hoge mate bepaald wordt door getij-omstandigheden, de rivierafvoer, de geometrie van het probleemgebied en de toegepaste regulaties met kunstwerken is het zoutpenetratiegedrag nogal complex. Reproductie daarvan in het Getijmodel Rijnmond moet primair een belangrijke bijdrage gaan leveren voor:

- ondersteuning van het beheer

en de van hieruit afgeleide doelstellingen als:

- vergroting van het inzicht in de fysische verschijnselen van dichtheidsstromen in het Noordelijk Deltabekken
- een mogelijk verdere ontwikkeling van wiskundige modellen voor de waterhuishouding [7] [8].

Naast verziltingsonderzoek is het mogelijk om stroombeeldonderzoek uit te voeren in het model, in die gebieden waar ondanks de vertrekking de verhouding tussen breedte en diepte van de rivier nog groot te noemen is. Indien men stroombeeldonderzoek wil uitvoeren in een zout/zoet gebied zal een model met een dergelijk kleine schaal vertrokken moeten zijn, zoals het onderhavige model, om een goede reproductie van de dichtheidsstroming te verkrijgen.

Doch indien stroombeeldonderzoek uitgevoerd moet worden in een gebied met homogene dichtheid kan om betere resultaten te verkrijgen het onderzoek beter uitgevoerd worden in een onvertrokken model.

In beperkte mate bestaat de mogelijkheid om onderzoek te doen naar verspreiding van stoffen in het model.

3.2 Omvang onderzoekgebied

In verband met het gebruik van het model is het zinvol om het onderzoekgebied nader aan te geven.

Allereerst dient dan vastgesteld te worden wat wordt bedoeld met het onderzoekgebied. Dit begrip kan gedefinieerd worden als: "het gedeelte van het model waarin dat onderzoek kan worden uitgevoerd waarvoor het model uiteindelijk is gebouwd".

Hieruit blijkt dat het onderzoek is bepaald naar aanleiding van de bestaande of verwachte toekomstige problemen (uiteraard binnen de model-technische mogelijkheden).

Als verreweg het belangrijkste onderzoekaspect geldt het waterhuishoudkundig onderzoek naar de mate van de zoutindringing.

Uit het oogpunt van de beheerder spelen hiermee samenhangende problemen vooral als de zouttong zich reeds aanzienlijk ver landinwaarts bevindt, nl. als gebruikers van zoet oppervlaktewater geconfronteerd gaan worden met verzilt water. Deze problemen doen zich voor bij lage Bovenrijnafvoeren. Hierbij moet

als minimum gedacht worden aan ca. 600 m³/s.

Bij vergelijkend onderzoek in het model wordt gemeten over welke afstand de punt van de zouttong als gevolg van een bepaalde ingreep, verschuift. Dit betekent dat de gehele zouttong in het onderzoekgebied dient te vallen, vanwege de daar ter plaatse uit te voeren metingen.

Daarnaast dienen ook de te onderzoeken ingrepen, zo dit aanpassingen aan rivieren of infrastructuur betreft, in het onderzoekgebied te liggen.

Mogelijke onderzoeken naar stroombeelden zouden gezien vanuit de praktijk, nodig kunnen zijn ter plaatse van:

- havenmond Hoek van Holland
- Noorderhoofd
- mond Hartelkanaal
- splitsingspunten b.v. Lek/Noord, Werkendam, Oude Maas/Kil.

De verspreiding van stoffen geeft op zich geen extra criterium voor de omvang van het onderzoekgebied.

Een gebied dat nog niet ter sprake is gebracht is het Haringvliet/Hollandsch Diep. Dit gebied kent eigen problemen afwijkend van de voornoemde door de aard van het bekken (grootte, waterbeweging).

Weliswaar zal bij lage Bovenrijnafvoeren door achterwaartse verzilting zout op dit bekken kunnen komen via het Spui en/of Kil, doch gezien de inhoud van het bekken zal dit een nauwelijks merkbare stijging van het chloridegehalte op het bekken teweegbrengen. Voor wat betreft de verziltingsproblematiek op de noordrand van het Noordelijk Deltabekken zou het bekken niet in het onderzoekgebied opgenomen behoeven te worden.

Doordat dit gebied echter haar eigen problemen kent zou het bekken wel als onderzoekgebied bestempeld dienen te worden.

Als mogelijke waterhuishoudkundige problemen kunnen genoemd worden:

- achterwaartse verzilting van het Haringvliet en Hollandsch Diep via het Spui en de Dordtsche Kil; deze situatie kan zich voor doen bij lage rivierafvoeren al of niet in combinatie met een middenstandsverhoging op zee;
- gedrag van drijfijis; opstellen van een indikatief spuiprogramma voor de Haringvlietsluizen met het oog op achterwaartse verzilting;

- lozing van warmte en stoffen in het gebied, verspreidingsgedrag en verblijftijden daarvan;
- lokale verziltingsproblemen bij de Haringvlietspui sluizen (o.a. ontzilting van zeezand).

Nu de mogelijke onderzoeken zijn aangegeven zou het onderzoekgebied omlind kunnen worden.

In het westen van het model is de begrenzing bepaald door stroombeeldonderzoek rond de havenmond bij Hoek van Holland.

In stroomopwaartse richting bepaalt de grootst denkbare omvang van de zoutindringing de grens van het onderzoekgebied. Dit betekent dat de gehele Hollandsche IJssel tot het onderzoekgebied behoort, de Lek globaal tot Schoonhoven en de Beneden Merwede globaal tot Sliedrecht. Mogelijk onderzoek naar een verbetering van deze rivier en stroombeeldonderzoek ter plaatse van het splitsingspunt bij Werkendam, zijn argumenten om de grens van het onderzoekgebied te trekken bovenstrooms van Werkendam.

Omdat verzilting van de Dordtsche Kil en Spui onder bepaalde omstandigheden voorkomt, behoren beide takken in hun geheel tot het onderzoekgebied. Evenzo kan de zogenaamde achterwaartse verzilting van het Haringvliet/Hollandsch Diep optreden.

Daarnaast zou ook het Haringvliet/Hollandsch Diep tot het onderzoekgebied dienen te behoren. Echter door de gekozen schalen is het Reynoldsgetal in het Haringvliet/Hollandsch Diep zo laag dat de geringe getij- en afvoerstroming daar in het model laminair worden weergegeven. Hierdoor ontbreekt het turbulent uitwisselingstransport en is het niet mogelijk om het Haringvliet/Hollandsch Diep tot het onderzoekgebied te rekenen bij het voor waterhuishoudkundig interessante gebied van rivierafvoeren ($QBR < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$). Pas bij afvoeren $QBR > 2500 \text{ m}^3/\text{s}$ is het Haringvliet/Hollandsch Diep in het model overwegend turbulent. De verspreiding van stoffen is geen reden op zich om het onderzoekgebied te vergroten. In figuur 2 is de begrenzing van het onderzoekgebied in de plattegrond van het Noordelijk Deltabekken aangegeven.

4 Ontwerp randvoorwaarden en keuze bodemligging

4.1 Inleiding

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat het model dient voor waterhuishoudkundig onderzoek en met name voor onderzoek naar de zoutindringingsverschijnselen.

Vanuit de probleemstelling dienen een aantal randvoorwaarden geformuleerd te worden:

- afvoeren bovenrivieren
- de getij-instelling Hoek van Holland
- windinvloeden
- bodemligging model
- lozingen en onttrekkingen.

4.2 Afvoeren bovenrivieren

Voor verziltingsonderzoek is een Bovenrijnafvoer tot $QBR = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$ interessant. Bij die afvoer is het zout al ver teruggedrongen tot zee. Bij het simuleren van tijdreeksen die voor verziltingsonderzoek van belang zijn, moet het mogelijk zijn om eventuele afvoertoppen in de reeks te simuleren tot een $QBR = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Voor onderzoek naar de verspreiding van stoffen zijn evenals bij verziltingsonderzoek ook de lagere afvoeren interessant; immers bij hoge afvoeren treedt sterke menging op en worden stoffen snel naar zee afgevoerd.

Stroombeeldonderzoeken in het Getijmodel Rijnmond zijn met name waardevol in het zout/zoetgebied. De voor deze onderzoeken interessante afvoeren vallen samen met die van het verziltingsonderzoek. De ervaring leert dat interessegebieden in de loop van de tijd kunnen verschuiven. Naast de directe motivatie ontleend aan verwacht onderzoek is het dan ook uit oogpunt van ontwerp verstandig een wat groter bereik te kiezen op voorwaarde dat daar nauwelijks of geen kosten mee gemoeid zijn. De kans dat men vastloopt op afvoerbeperkingen is dan minder groot. Een groter bereik maakt het ook mogelijk om meer prototypemetingen te gebruiken om de reproductie van het model te verifiëren.

Ook onderzoek in verband met het beheer van kunstwerken kan plaatsvinden bij een hogere afvoer. De enige konsekwentie van een grotere afvoer is de extra modellering van de riviergeometrie tot een hoger niveau. In paragraaf 5.4

wordt aangegeven dat voor $QBR = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ dit nauwelijks extra modellerings-inspanning geeft ten opzichte van $QBR = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

De laagst bekende afvoer is: $QBR = 620 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 november 1947). Voor het modelontwerp is de minimum afvoer vastgesteld op $600 \text{ m}^3/\text{s}$, in verband met het ontwerp van de MADEMs (mini-akoustische debietmeters, zie par. 7.3) en de randregelapparatuur.

De afvoer van de Lek en Waal is afgeleid van de Bovenrijnafvoer met de aanname dat het stuwprogramma S285 wordt toegepast.

De afvoer te Lith (Maas) is ook gerelateerd aan de Bovenrijnafvoer op grond van de statistische samenhang tussen de afvoeren van beide rivieren. Uitgaande van een $QBR = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ is gekozen voor een bijbehorende Maasafvoer met een 50% overschrijdingskans in het winter-halfjaar. Deze Maasafvoer is $880 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig. 3). De overschrijdingskans over het hele jaar is 40%. Voor het ontwerp is de Maasafvoer afgerond op $900 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de minimumafvoer is aangehouden $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit heeft zich ondermeer in de zomer van 1976 voorgedaan. De gekozen maximum afvoeren (Bovenrijn $4500 \text{ m}^3/\text{s}$ en Maas $900 \text{ m}^3/\text{s}$) worden ca. 18 dagen per jaar overschreden (ca. 5%). Voor het modelontwerp zijn overigens om reden van bedrijfsvoering (schoonspoelen model, hanteerbaar meten van verhangen bij stromen met permanenties) op de rivierranden grotere afvoerkapaciteiten (30 l/s) geïnstalleerd dan de hierboven aangegeven waarden (2 keer groter), zodat de gekozen ontwerpafvoeren ruim overgedimensioneerd ingebouwd worden.

4.3 De getij-instelling Hoek van Holland

Het toekomstig onderzoek dat in het getijmodel moet kunnen plaatsvinden, dient de extreme zeerandvoorwaarden aan te geven, waarop het model ontworpen wordt. Het extreme waterstandsverloop te Hoek van Holland bepaalt samen met de rivierrandvoorwaarden de hoogte tot waar het model konform de natuur zal worden gemodelleerd.

Door de extreme LW-standen te Hoek van Holland worden samen met de rivierrandvoorwaarden de extreme LW-standen in het modelgebied bepaald, en deze vormen een ontwerpgegeven o.a. voor de op diverse plaatsen in het model te installeren MADEMs (zie par. 7.3).

De ontwerpgegevens van de zeerand (zoals deze in 1976 in gebruik is genomen en na de brand in 1979 wordt herbouwd) zijn beschreven in het verslag M1350-4 [2]. Als norm voor de ontwerpgegevens is destijds uitgegaan van extreme situa-

ties die uit de natuur bekend zijn. Voor het hoogste hoogwater is dat 3,85 m boven NAP bij Hoek van Holland (1 februari 1953).

Door beschouwing van de aard van het toekomstig onderzoek wordt een indruk verkregen van de extreem in te stellen waterstanden te Hoek van Holland.

a. IJking van het model en reproductie getijreeksen

Voor wat betreft de getij-omstandigheden tijdens ijkmetingen moet in de eerste plaats gerekend worden met de normale variatie die het astronomisch getij te Hoek van Holland kent. Hetzelfde geldt voor in het model te reproduceren getijreeksen, zowel tijdens de ijking van het model als ten behoeve van referentiegetijreeksen voor waterhuishoudkundig onderzoek.

Dit impliceert voor het waterstandsverloop te Hoek van Holland een maximale HW-stand van omstreeks NAP +1,50 m tot een minimale LW-stand van omstreeks NAP -1,10 m.

(Ter vergelijking: het gemiddeld springtij 1971.0 varieert tussen een HW-stand van NAP +1,14 m en een LW-stand van NAP -0,78 m).

Bovendien dient zowel voor de ijkmetingen als voor de reproductie van getijreeksen gerekend te worden met opgetreden middenstandverhoging of -verlaging tengevolge van opwaaiing respectievelijk afwaaiing, zonder dat duidelijk van stormomstandigheden sprake is. Gedacht moet worden aan een middenstandverhoging van ongeveer 1 m en een middenstandverlaging van ongeveer 0,85 m. Een keuze moet worden gemaakt betreffende de koppeling van deze middenstandsvariatie aan de hiervoor genoemde variatie in het astronomisch getij om te komen tot een ontwerpzeerandvoorwaarde met betrekking tot ijking en onderzoek reproductie getijreeksen.

Enerzijds is de waarschijnlijkheid gering dat flinke middenstandsvariatiën juist samen zullen vallen met de extreme standen in het astronomisch getij. Anderzijds is het wat riskant de kans op samenvallen te verwaarlozen.

b. Reproductie stormomstandigheden

Van het model mag niet worden verlangd stormomstandigheden te kunnen reproduceren, om de volgende redenen:

- het model is niet berekend op dit soort onderzoek; het windeffekt aanbrengen over het modelgebied zou om veel extra voorzieningen vragen, niet alleen op het Haringvlietbekken maar over het gehele Noordelijk Deltabekken; bovendien is de definitie van de randvoorwaarden (incl. het windveld) tijdens stormen

veel complexer dan onder normale omstandigheden);

- ijkmetingen worden nimmer onder stormomstandigheden uitgevoerd;
- het voorkomen van een storm in een getijreeks of juist voorafgaand aan een ijkmeting maakt de getijreeks dan wel de betreffende ijkmeting minder geschikt voor reproductie in het model.

c. Toekomstig onderzoek anders dan reproductie-onderzoek

Principe-onderzoek naar het effect op de zouttoestand van een middenstandsvariatie te Hoek van Holland moet in het model mogelijk zijn. Gedacht moet worden aan een middenstandsverhoging van 1 à 1,5 m en middenstandsverlaging van 0,75 à 1 m.

Ook combinaties van middenstandsvariatie en getijvariatie moeten onderzocht kunnen worden. Het lijkt niet noodzakelijk rekening te houden met de koppeling van extreme middenstandsvariatie aan de meest extreme HW- en LW-standen volgens het astronomisch getij. Een koppeling van extreem springtij aan middenstandsverhoging c.q. -verlaging van 1 m respectievelijk 0.75 m lijkt voldoende gezien het karakter van principe-onderzoek.

Het toekomstig onderzoek vraagt dus om de mogelijkheid tot het instellen van de volgende hoog- en laagwaterstanden:

	HW	LW
reproductie-onderzoek	NAP +2,50 m	NAP -1,95 m
principe-onderzoek	NAP +2,50 m	NAP -1,85 m

Samenvattend kan gesteld worden dat de HW-stand in ieder geval beneden NAP +2,50 m blijft en de LW-stand boven NAP -1,95 m.

4.4 Windinvloeden

Windeffekten manifesteren zich op het Noordelijk Deltabekken door:

- * Een afwijkend waterstandsverloop te Hoek van Holland in de vorm van een verhoging van de middenstand voorafgaand aan en/of tijdens een storm uit westelijke richting, dan wel verlaging van de middenstand door oostelijke wind.
- * Extra verhangen door het windveld dat over het Noordelijk Deltabekken strijkt; berekeningen en prototypewaarnemingen wijzen uit dat extra verhangen zich manifesteren als:

- een zich snel instellend langsverhang over het Haringvliet/Hollandsch Diep, (binnen enkele uren),
- een over het gehele Noordelijk Deltabekken omhoogkomen van de middenstanden; wanneer een konstant windveld dagenlang zou blijven bestaan, zou ten opzichte van een evenwichtssituatie hiervan 60 à 70% na 1 dag, en na 2 dagen 90 à 95% gerealiseerd zijn.

Het reproduceren in het model van een stormperiode zou inhouden dat over het gehele modelgebied een windveld zou moeten worden aangebracht. Het kunnen simuleren van een windveld in het model over het Noordelijk Deltabekken impliceert dat grote extra voorzieningen moeten worden getroffen.

Voor het reproduceren van windeffekten zoals deze tijdens een stormperiode zijn opgetreden zou bovendien het tijdens de storm op het wateroppervlak aangrijpende, gekompliceerde windveld gedefinieerd moeten worden; een uiterst moeilijke opgave, mede gezien het feit dat tijdens stormen slechts summiere windgegevens worden verzameld met behulp van twee of drie "ergens in het gebied" staande windmeters.

Gezien de omvang van de modeltechnische installatie die voor reproductie van het tijdens een storm optredende windveld in het model nodig zou zijn en de betrekkelijke kans van slagen, met name gezien het uiterst moeilijk te definiëren windveld tijdens een storm, is gesteld dat in het getijmodel geen stormen zullen worden gereproduceerd.

Principe-onderzoek naar het effect op de zouttoestand van alleen een middenstandsverhoging te Hoek van Holland behoort in het getijmodel tot de mogelijkheden.

Een andere zaak is of ook principe-onderzoek in het model mogelijk is, waarbij het gebeuren aan het begin van een storm wordt gesimuleerd. Aan het begin van een storm uit westelijke richting kan zich op het Haringvliet/Hollandsch Diep in enkele uren tijds een fors verhang instellen, de landinwaarts gerichte debieten op de Nieuwe Waterweg nemen dan belangrijk toe en de zoutindringing wordt beduidend groter, met een mogelijke verzilting van het Haringvliet via het Spui (na minstens één getijperiode).

De gedachte is geopperd om dit gebeuren in het getijmodel te simuleren door met een eenvoudige faciliteit een langsverhang over alleen het Haringvliet/

Hollandsch Diep in te stellen.

In dat geval zal echter het Haringvliet/Hollandsch Diep vooral door het Spui worden gevuld; aangenomen mag zelfs worden dat via de Dordtsche Kil een versterkte stroming in noordelijke richting zal optreden. Uit onderzoek is echter gebleken dat aan het begin van een storm de waterstanden te Dordrecht snel oplopen, waardoor het Haringvliet/Hollandsch Diep met name via de Dordtsche Kil wordt gevuld.

Door het instellen van een langsverhang alleen over het Haringvliet/Hollandsch Diep wordt dan ook geenszins de, voor de verzilting van het Haringvliet zo belangrijke, juiste stromingstoestand aan het begin van een storm gesimuleerd. De mogelijkheden van dit laatstgenoemde principe-onderzoek in het getijmodel (met de gedachte faciliteit) dienen dan ook te worden betwijfeld. Om die reden wordt vooralsnog afgezien van een faciliteit om de windinvloed op het Haringvliet/Hollandsch Diep te simuleren.

Konkluderend kan dus gesteld worden dat slechts windeffekten op de Noordzee (dus middenstandsvariaties te Hoek van Holland) in het modelbedrijf meegenomen kunnen worden.

4.5 Bodemligging model

4.5.1 De rivieren

In het getijmodel wordt een bodemkonfiguratie ingebouwd, gebaseerd op geometriegegevens volgens lodingen en waterpassingen in het te modelleren gebied. Een keuze diende te worden gemaakt betreffende de jaargang van de geometriegegevens welke voor de modelbouw gebruikt zouden worden.

Lodingen van 1979 verdienen om verschillende redenen duidelijk de voorkeur, hetgeen in het navolgende wordt gemotiveerd.

Als groot voordeel kan worden aangemerkt het feit dat een bodemkonfiguratie konform lodingen van 1979 het meest representatief is voor de huidige geometrie in het modelgebied; denk hierbij aan: de verbeteringswerken aan de Dordtsche Kil; de aanpassingswerken nabij de Spijkenisser- en nabij de Baanhoekbrug; de aanwezigheid van gronddammen in de Oude Maas; veranderingen aan de mond van de Rotterdamsche Waterweg; morfologische veranderingen ten gevolge van de afsluiting van het Haringvliet etc.

Bovendien kunnen de gegevens uit recent gereedgekomen rivierkaarten in het

"droge" gedeelte van de dwarsprofielen, krib- en havenkonfiguraties alsook de meetresultaten van naverkende "witte vlekken" worden toegepast. Alle komponenten hebben dezelfde jaargang. Een ander groot voordeel is dat de ijking van het model, aan de hand van de ijkmetingen 1979, kan worden uitgevoerd in een model waarin een bodemkonfiguratie is ingebouwd aan de hand van gegevens uit 1979. Een gevoeligheidsonderzoek, opgezet om inzicht te verwerven in hoeverre profielverkleiningen c.q. -verruiming van diverse riviertakken van invloed kunnen zijn op de stromingssituatie in het Noordelijk Deltabekken, heeft aangetoond dat profielveranderingen wel degelijk van beduidende invloed zijn op de waterbeweging, vooral indien deze profielveranderingen optreden in de Oude Maas, de Noord en de Dordtsche Kil.

Weliswaar konden de profielveranderingen tussen b.v. 1976 en 1979 nog niet worden aangegeven, echter de variatie in de gemiddelde profieloppervlakken van riviergedeelten in de periode 1970-1976 zijn dusdanig, dat met een keuze voor een bodemligging konform lodingen van b.v. 1976 in feite gevraagd zou worden om moeilijkheden bij de ijking van het model.

Uit het voorgaande is gekonkludeerd dat wat betreft het benedenriviergebied het inbouwen van een schematisatie konform lodingen jaargang 1979 zal worden uitgevoerd.

De haalbaarheid om binnen een strak tijdschema het model te bouwen (incl. het inwinnen van geometriegegevens van het prototype) lag kritisch; bij de beslissing moest met het merendeel van het veldwerk nog begonnen worden. Tijdens de uitvoering moest slechts tweemaal van de geometrie van 1979 afgeweken worden: (Hollandsche IJssel: 1978, Biesbosch: gedeeltelijk 1977).

Uit een trendontwikkeling (1976-1978) blijkt dat alleen de mond van de Hollandsche IJssel over één jaar tijds veranderde in de orde van grootte van de lodingnauwkeurigheid.

Met behulp van een gevoeligheidsonderzoek is aangetoond dat zelfs profielveranderingen van 10% in de Hollandsche IJssel nauwelijks of geen invloed hebben op respektievelijk de waterbeweging op de Hollandsche IJssel en op het Noordelijk Deltabekken. Daarmee is het toepassen van 1978-gegevens te beschouwen als een equivalent van 1979.

Berekeningen hebben aangetoond dat ook profielveranderingen in de hoofdgeulen van de Biesbosch niet van invloed zijn op de waterstanden en debieten in het onderzoeksgebied.

Het blijkt dat zelfs een halvering van de stroomvoerende oppervlakken geen noemenswaardige invloed heeft op de waterbeweging in het onderzoeksgebied van het getijmodel. Uitsluitend de debietverlopen in de Biesbosch (aanzienlijk) en op de Amer (enigermate) worden beïnvloed. Spijkerboor en Steurgat zijn geschematiseerd conform de lodingen 1979. Een keuze voor lodingen van 1977 mag voor het overige deel van de Biesbosch dan ook zondermeer als verantwoord worden beschouwd.

4.5.2 De zeebodempligging

Het zeegebied dat in het Getijmodel Rijnmond wordt weergegeven is te verdelen in twee gedeelten (zie fig. 4):

- z.g. vaste vloer
- z.g. zandbak.

De vaste vloer omvat het overgangsgebied tussen het voormalige probleemgebied voor de "bouw havenmond Hoek van Holland" en de zeeranden. De vloer bestaat uit een betonkonstructie die bij de bouw van het vroegere model M900 is aangebracht en bij de brand in januari 1979 behouden is gebleven. De hoogte van de vloer geeft de bodempligging weer van de jaren 1965. De zandbak omvat het gebied direkt grenzend aan de Maasvlakte. Dit gedeelte bestaat uit een verdiepte bak waarin op een zandvulling het model geprofileerd kan worden. Bij de brand in januari 1979 is dit modelgedeelte onherstelbaar beschadigd.

Met het oog op herbouw van de zee, met name het gebied van de zandbak, is nagegaan in hoeverre de bodempligging van de zee verandert.

De bodempligging van het zeegebied met vaste vloer blijkt vrij stabiel te zijn over de periode 1965 tot 1978.

De vaste vloer geeft nog steeds de situatie van de zeebodem goed weer, afgezien van lokale verdiepingen en verondiepingen. De ligging van de vloer in raai C (2 tot 4 km uit de kust) is niet juist. Er is sprake van een verdieping als gevolg van de aanleg van de Maas/Eurogeul. In het model M900 is de Maasgeul naderhand gemodelleerd voor zover dat praktisch mogelijk was (grens zandbak-vaste vloer). Gebleken is dat deze beperking geen meetbare invloed heeft voor wat betreft de reproductie van het stroombeeld voor de havenmond [9] en de reproductie van de zouttoestand op de benedenrivieren [5]. Een eventuele korrektie (d.w.z. verlaging) van de vloer zou overigens een relatief kostbare zaak zijn.

De ligging van de vloer (t.p.v. loswal Noord) (raai E) is eveneens fout. De afwijking is voornamelijk een verondieping. Omdat deze in het aanstroomgebied (horizontaal getij) van de havenmond ligt, is het noodzakelijk de verondieping in het model aan te brengen. De verandering is relatief goedkoop, als verhoging op de vaste vloer, aan te brengen. Behoudens een lokale aanpassing aan de noordrand van de zee geeft de bestaande vaste vloer de huidige situatie van de zeebodem goed weer.

De bodemligging voor het grootste gedeelte van het zandbakgebied is in de jaren 1976-78 stabiel geweest. Een eenduidige voorkeur voor een bepaalde "jaargang" van een zeeloding is niet aan te geven. Voor een klein gedeelte waar de bodem aan veranderingen onderhevig is (en vermoedelijk ook blijft) bestaat een voorkeur voor de keuze van een recente loding, gezien eventueel toekomstig onderzoek in de Noordzee en met het oog op aansluiting bij de geometriekeuze in het riviergebied.

Gezien de mogelijkheden om over recente lodingsgegevens te beschikken zal de zeebodem in de zandbak in het model worden gebouwd naar de gegevens van 1977 en 1978. Buiten de zandbak zal de vaste vloer bij de Noordrand van het model worden gekorrigeerd met de gegevens van 1977. In figuur 5 is dit in de plattegrond aangegeven.

4.6 Lozingen en onttrekkingen

De zouttoestand in de Rotterdamsche Waterweg en Oude Maas wordt in hoge mate bepaald door de getijkondities en de afvoer langs de Rotterdamsche Waterweg en de Oude Maas. De grootte van de afvoer wordt doorgaans aangegeven met de Bovenrijnafvoer (Lobith). In het traject tussen Lobith en de zee kan op veel punten water worden onttrokken of geloosd.

Kennis over deze lozingen en onttrekkingen kan van belang zijn voor:

1. Herleiding van een Bovenrijnafvoer naar de in te stellen afvoer op de rivierranden.
2. De instelling in het model van een onttrekking en/of lozing om met een bepaalde afvoersituatie bij de rivierranden een juiste reproductie van de afvoer in het onderzoekgebied te verkrijgen. Dit geval doet zich voor als het niet mogelijk is om de lozing en/of onttrekking te verrekenen met de afvoer aan de rivierranden (bijv. Bernisse).

3. De instelling in het model van een interne cirkulatie (koelwater Maas-vlaktecentrale, spuien Rozenburgsluis e.d.).

Het al of niet toepassen van de bij 2 en 3 genoemde instellingen is afhankelijk van de onderzoekdoelstelling. Dit zal per onderzoek moeten worden bepaald. Op voorhand (door debietomvang en frekwentie van voorkomen bij onderzoek in het Getijmodel Rijnmond) wordt het nieuwe Getijmodel Rijnmond uitgerust met een eenvoudige onttrekkingsmogelijkheid bij de Volkeraksluizen en het inlaatpunt te Gouda. Daarnaast staan 2 pompjes ter beschikking om ingezet te worden waar dat noodzakelijk blijkt te zijn. Het aantal pompjes is uiteraard te vergroten. Met elk van deze pompjes kan een lozing, onttrekking of een gelijktijdige combinatie daarvan (interne cirkulatie) tot stand worden gebracht.

5 Vormgeving getijmodel

5.1 Inleiding

In de voorgaande paragrafen zijn het doel van het model, de aard van het onderzoek, het gebied waar het onderzoek plaats kan vinden en de uit het onderzoek mogelijk te stellen randvoorwaarden beschreven.

Genoemde aspecten zullen hun weerslag dienen te vinden in de vormgeving van het model.

Daarnaast beïnvloeden zaken als bedrijfsvoering, bouwkosten en eventueel toekomstig onderzoek eveneens de vormgeving van het model. Uit de navolgende sub-hoofdstukken zal duidelijk worden hoe de uiteindelijke vormgeving van het model (zie fig. 6) tot stand is gekomen.

5.2 Plaats modelranden

Eén van de uitgangspunten bij de bouw van de oostelijke uitbreiding was dat de stroomopwaartse modelranden in het getijvrije gebied zouden liggen. Hiermee wordt voorkomen dat het model een hybride karakter heeft (zie par. 2.2).

Hollandsche IJssel en Maas

Op een aantal riviertakken wordt het getij in het Noordelijk Deltabekken op een kunstmatige wijze begrensd. De Hollandsche IJssel wordt begrensd door de waaiersluis bij Gouda. De Maas door de stuw bij Lith; deze stuw fungeert als een overstortklep bij afvoeren kleiner dan ca. $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer ligt boven de range voor waterhuishoudkundig onderzoek: $Q_{\text{Maas}} = 0 - 900 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie par. 4.2).

Waal

In de Waal is niet eenduidig aan te geven tot waar van getij-invloed sprake is. De grens is afhankelijk van de Bovenrijnafvoer en het zeegetij (getijverschil en middenstand). Het is algemeen gebruikelijk om de grens te trekken bij St. Andries. Een analyse van waterstanden langs de Waal (Fig. 7) toont aan dat bij lage afvoeren de grens bovenstrooms van St. Andries ligt. Een optimale plaats, mede gezien de modelleringsinspanning, ligt bij Tiel. Dit punt is praktisch getijvrij te beschouwen.

Lek

De stuw Hagestein ligt in het getijgebied. Het getij plant zich in stroomopwaartse richting voort onder de vizierstuw door, wanneer deze gedeeltelijk geheven is. De stuw te Hagestein zorgt met name voor de peilbeheersing op het stuwband Amerongen-Hagestein, met het daarmee in open verbinding staande Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal. De stuw wordt op waterstanden geregeld om een bepaald stuwpeil te handhaven, afhankelijk van de Bovenrijnafvoer. Afhankelijk van de Bovenrijnafvoer zijn 3 situaties te onderscheiden:

- a. Bij een Bovenrijnafvoer $QBR < 1300 \text{ m}^3/\text{s}$ is de stuw gesloten. Via de cilinderschuif wordt de minimum afvoer gerealiseerd. De getijbeweging wordt volledig gereflecteerd door de stuw.
- b. Bij Bovenrijnafvoeren, die liggen tussen de 1300 en ongeveer $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ is de stuw gedeeltelijk geheven. Bij een konstante afvoer door de Lek wordt getracht het peil in het bovenpand zo konstant mogelijk te houden. De stuw wordt daartoe met de getijbeweging benedenstrooms op en neer bewogen. Tot een Bovenrijnafvoer van $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ lukt het de stuwmeester de geadviseerde stuwpeilen te realiseren, met dien verstande dat een afwijking van 5 cm van deze stuwpeilen tengevolge van het getij wordt geaccepteerd. Een konstant peil bovenstrooms van de stuw zou betekenen dat de afvoer onder de stuw door konstant zou zijn (fig. 8). De geaccepteerde 5 cm afwijking resulteert in een wisseldebiet onder de stuw door.
- c. Bij een Bovenrijnafvoer boven de $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ slaagt de stuwmeester er niet meer in om het peil in het bovenpand binnen de onder b. genoemde marge te houden. De hefhoogte van de stuw moet dan groter dan 1,50 m worden, hetgeen inhoudt dat de demping van het getij belangrijk minder wordt. Het getijverschil bovenstrooms van Hagestein bij Bovenrijnafvoeren van omstreeks $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ bedraagt, afhankelijk van het al dan niet volledig geheven zijn van de stuw en afhankelijk van het getijverschil benedenstrooms van Hagestein (springtij-doodtij) 0,10 à 0,35 m. Bij Culemborg is het getijverschil dan omstreeks 0,10 à 0,30 m. Wijk bij Duurstede is getijvrij.

Om een indruk te krijgen van de invloed van de getijwerking bovenstrooms van Hagestein op de waterbeweging op het Noordelijk Deltabekken zijn enkele IMPLIC-berekeningen uitgevoerd [10].

Uit de berekeningsresultaten kan gekonkludeerd worden dat verwaarlozing van de

getijwerking bovenstrooms van Hagestein, zoals die optreedt tussen $QBR = 1300$ en $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ op de waterstanden een invloed heeft die pas bovenstrooms van Schoonhoven enigermate zichtbaar wordt. De getijdebieten op de Nieuwe Maas vertonen afwijkingen in de orde van $5 \text{ à } 10 \text{ m}^3/\text{s}$, dit wil zeggen afwijkingen van ca. 0,3% in de getijdebieten bij Rotterdam. Verwaarlozing van een getij bovenstrooms van Hagestein, zoals dat optreedt bij een afvoer van $QBR = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ geeft afwijkingen in de waterstanden te Krimpen aan de Lek van ongeveer 0,5 cm en in de getijdebieten op de Nieuwe Maas van ongeveer $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (dit wil zeggen 3% bij Krimpen aan de Lek en 1% bij Rotterdam).

De konklusie kan zijn dat getijdebieten bij Hagestein bij een QBR kleiner dan $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ een te verwaarlozen invloed op de waterbeweging in het Noordelijk Deltabekken hebben. Wanneer men bij een $QBR < 2800 \text{ m}^3/\text{s}$ de werking van de stuw simuleert via een konstante afvoer en reflectie van de getijbeweging tegen de stuw, geeft men de waterbeweging niet meer helemaal korrekt weer. Het bezwaar hiervan is ook dan echter relatief onbelangrijk, gezien in het licht van de van het model vereiste reproductiekwaliteit.

Het model zal daarom bij Hagestein beëindigd worden; de stuwwerking wordt gesimuleerd door een konstante afvoer en de getijbeweging reflecteert tegen het einde van het model.

In de modelhal zal ruimte gereserveerd blijven om de mogelijkheid open te houden in de toekomst ten behoeve van onvoorzien onderzoek het stuk Hagestein-Wijk bij Duurstede alsnog te modelleren.

Begrenzing zeegebied

De begrenzing van het zeegebied is niet ter discussie geweest, omdat deze in het bestaande model reeds was vastgesteld (zie par. 2.2).

Haringvlietsluizen

De Haringvlietsluizen vormen eveneens een begrenzing van het model. Het op schaal nabouwen van de spuisluisgeometrie geeft door de schaalvertrekking een foute reproductie van het spuidebiet. Gekozen is voor een oplossing, waarbij met een gesloten leiding een verbinding is gelegd tussen de Haringvlietsluizen binnenzijde en zeezijde. Met een regelinstallatie in de leiding kan een debietverloop worden opgelegd en het debiet nauwkeurig gemeten worden. De debietkromme kan ontleend worden aan prototype-metingen, overlaatformules met

gegeven waterstandsverschil of overzichtsmoedellen van het Noordelijk Deltabekken (bijv. IMPLIC). Hierdoor wordt het model wel weer hybried bij Rijnafvoer groter dan 1700 m³/s.

Een andere mogelijkheid is het regelen van het spuidebiet op zodanige wijze dat aan een gegeven waterstandsverloop op het Haringvliet wordt voldaan. Alle genoemde mogelijkheden zijn in principe beschikbaar.

5.3 Labyrinten, spiegelingen en bochtstraalverkleiningen

5.3.1 Inleiding

Het zondermeer overnemen van de plattegrond van het Noordelijk Deltabekken heeft als konsekwentie het bouwen van een omvangrijke modelhal met alle nadeln van dien (bouwkosten, exploitatie). Zonder te kort te doen aan de gestelde eisen, kan een flinke reduktie in de halomvang worden bereikt door de uitlopende riviertakken bij te draaien, waardoor de takuiteinden bovenstrooms van het onderzoekgebied op een betrekkelijk gering haloppervlak kunnen worden ingepast (zogenaamde labyrinten). Hierbij dient aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

- juiste weergave van het stroomvoerend profiel, de waterdiepte en de lengte van de riviertakken, zodat lange golven (getij, afvoervariaties en regulaties) de juiste looptijden hebben en resonantielengten op orde zijn;
- de invloed van de komberging op de grootte van het horizontaal getij moet goed worden weergegeven;
- de ruwheid (energiedissipatie tengevolge van de geometrie) dient op orde te zijn voor een juiste weergave van de afvoerverdeling rondom eilanden, waterstandsverhangen en middenstanden;
- er dienen geen extra dwarsverhangen (en daarmee samenhangende dwarsstromen) te worden opgewekt, met name in de omgeving van splitsingspunten.

In het uitgebreide model wordt de geografische ligging van de rivieren Noord, Nieuwe en Oude Maas rond het eiland IJsselmonde en de ligging van de rivieren Beneden-, Nieuwe Merwede en Dordtsche Kil rond het Eiland van Dordrecht konform de prototype-situatie weergegeven in het belang van een juiste stroomverdeling in het onderzoekgebied. Daarnaast is de Biesbosch al zo kompakt dat een

labyrintenaanpak daar nauwelijks een ruimtebesparing oplevert. In een aantal hierna te bespreken riviertakken zijn wel veranderingen aangebracht.

5.3.2 Hollandsche IJssel, Lek, Amer, Boven Merwede

Voor het opzetten van de uitleg is gebruik gemaakt van spiegelingen in de plattegrond of het verkleinen van de bochtstralen. Voor het spiegelen is de plaatskeus in hoge mate bepaald door het al of niet symmetrisch zijn van de dwarsdoorsnede. Bij bochtstraalverkleining moet met een geringe ruwheidstoe-name rekening worden gehouden.

Beide ingrepen doen geen afbreuk aan de in paragraaf 5.3.1 gestelde eisen, op voorwaarde dat de ingrepen voldoende ver van splitsingspunten afliggen. Daarmee wordt voorkomen dat eventuele afwijkingen in dwarsverhangen en snelheidsverdelingen in het dwarsprofiel de stroomverdeling op een splitsingspunt beïnvloeden. Ook de ervaring met het niet uitgebreide Getijmodel Rijnmond (bochtstraalverkleining in de Oude Maas bij Spijkenisse en bochtspiegeling in de Nieuwe Maas bij Honingerdijk) leert dat deze ingrepen geen konsekventies hebben op het functioneren van het model, behoudens uiteraard een beperking in de lokale reproductiekwaliteit van de stroom- en zoutverdeling in het dwarsprofiel.

In de betreffende riviertakken in het onderzoekgebied zijn de volgende spiegelingen aangebracht op grond van de reeds genoemde voorwaarden:

Hollandsche IJssel	kmrn. 15,3 en 3,5
Lek	kmrn. 985,5 en 978
(zie fig. 2)	

5.3.3 Labyrinten bovenrivieren

De Maas, de Waal en de Lek worden ingebouwd tot respectievelijk de stuw te Lith, Tiel en de stuw te Hagestein. Deze riviertakken zijn minder detailrijk en opgevouwen tot een labyrint ingebouwd. De riviergedeelten buiten het onderzoekgebied dienen als "randvoorwaardenfabriek" voor het model. Deze modelgedeelten moeten ter plaatse van de randen van het onderzoekgebied het juiste verloop van het debiet en de waterhoogte als functie van de tijd leveren, voor alle omstandigheden waarop het model is ontworpen.

De bovenrivieren zijn zó opgevouwen dat ze de beschikbare ruimte zo goed mogelijk benutten. Het aantal bochten is zo klein mogelijk gehouden. Er is voor gezorgd dat alle kombergingsgebieden tussen de winterdijken ingebouwd kunnen worden.

5.3.4 Haringvliet/Hollandsch Diep

Ook het Haringvliet en een gedeelte van het Hollandsch Diep zijn niet geometrisch gelijkvormig ingebouwd, maar als labyrint.

Het Haringvliet/Hollandsch Diep is een randvoorwaardenfabriek voor de rest van het Noordelijk Deltabekken. De vormgeving van het labyrint bij de aantakkingspunten moet zó zijn dat de waterbeweging in het onderzoekgebied er niet foutief door beïnvloed wordt. Bij de aantakkingspunten moeten de waterstanden op orde zijn.

Door het vervormen van het Haringvliet moet het Spui (onderzoekgebied) ook vervormd worden om op de goede plaats bij het Haringvliet aan te takken.

De stukken Spui nabij de splitsingspunten met de Oude Maas en het Haringvliet zijn zo ver mogelijk intact gelaten. Het tussenliggende gedeelte is samengesteld uit stukjes Spui welke soms gespiegeld zijn. Eén recht stuk is als extra bocht van ongeveer 100° uitgevoerd (fig. 9).

Voor een goede reproductie van de waterbeweging op het Haringvliet/Hollandsch Diep is het ook hier nodig dat aan de in paragraaf 5.3.1 genoemde voorwaarden wordt voldaan.

1. In het Haringvliet/Hollandsch Diep labyrint is het karakteristieke geulen- en platenpatroon met de juiste lengten ingebouwd. Hierin zitten wel extra bochten en een gespiegeld stuk rondom het eiland Tiengemeten.

Door in de bochten geleidingsschotten aan te brengen kan er voor gezorgd worden dat de stroming de geulen volgt. Hierbij moet bedacht worden dat de snelheden op het Haringvliet/Hollandsch Diep zelden de 0,25 m/s prototype d.w.z. 0,03 m/s model zullen overschrijden. (Deze lage snelheden zijn niet of nauwelijks meetbaar m.b.v. een mikromolen!).

Het spiegelen van het gedeelte van het Haringvliet met het eiland Tiengemeten heeft geen invloed op de waterbeweging als voldaan is aan de volgende voorwaarden:

- geen dwarsverhang over het spiegervlak
- loodrechte aanstroming van het spiegervlak
- het dwarsprofiel bestaat uit één geul.

Bij het spiegervlak Haringvlietbrug is de aanstroming loodrecht op de pijlers van de brug. Het profiel bestaat uit één geul en er treden geen dwarsverhangen op. De voorwaarden om te spiegelen zijn bij de Haringvlietbrug vervuld.

Bij het spiegervlak "Stad aan het Haringvliet" bestaat het dwarsprofiel uit twee geulen van ± 12 m die gescheiden worden door een rug van 6 m. De oppervlakken en de vorm van de geulen zijn nagenoeg gelijk.

De aanstroming op de twee geulen is nagenoeg loodrecht.

De snelheden in de twee geulen zullen in het algemeen niet gelijk zijn. De snelheidsverdeling in de geulen vanaf het spiegervlak in de richting van Middelharnis zal niet konform het prototype zijn. De lage snelheden en het vrij grote "kontakvlak" tussen de geulen wekken echter geen dwarsverhang op. In de buurt van de mond van het Spui zijn de twee geulen reeds in één geul samengekomen.

De konklusie die uit het voorgaande is te trekken is dat het spiegelen volgens het spiegervlak "Stad aan het Haringvliet" lokaal de snelheid beïnvloedt maar dat de snelheden en waterstanden bij mond Spui en rondom Tiengemeten goed op orde zijn.

2. De komberging van het Haringvliet is nauwkeurig ingebouwd. De gedeelten welke vervormd zijn, zijn aangepast om te zorgen dat het bergend vermogen in orde blijft.
3. De stromingsweerstand tengevolge van de bodemkonfiguratie is in het labirint vrij goed gereproduceerd. Extra bodemruweheidsmiddelen zijn nodig om het extra verhang, dat door de schaalvertrekking nodig is, op te wekken. Het Haringvliet is hydrodynamisch gezien vrij glad. De normaal optredende snelheden zijn laag. Dit betekent dat de stroming weinig energie dissipeert. De hydraulische weerstand is in principe afhankelijk van het stromingskarakter (laminair - bij snelheden $< 3,5$ cm/s - of turbulent). Bij Bovenrijnafvoeren groter dan $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt in het model de stroming op het Haringvliet/Hollandsch Diep turbulent van karakter. Berekeningen

hebben uitgewezen dat de dissipatie van energie op het Haringvliet/Hollandsch Diep niet sterk afhankelijk is van het stromingskarakter.

4. Dwarsstromingen kunnen opgewekt worden op de plaatsen waar het Haringvliet/Hollandsch Diep omgebogen wordt.

De optredende snelheden zijn echter laag (bijna altijd $< 0,03$ m/s). Bovendien kunnen er geleidingsschotten in de bochten komen om de dwarsstromingen en rotaties te onderdrukken.

De extra dwarsverhangen zijn te berekenen met de vergelijking voor het vloeistofoppervlak van een roterend vat met vloeistof

$$z - z_0 = (v^2/2g)r^2$$

met $v_{\text{proto}} = 0,25$ m/s ($v_{\text{model}} = 0,03$ m/s) en $r_{\text{model}} = 5$ m levert dit

$$z - z_0 = 1 * 10^{-3} \text{ m}$$

Dit is een verwaarloosbaar dwarsverhang, in de bochten van het labyrint. Het Haringvliet is ter plaatse van de monding van het Spui konform het prototype weergegeven. De waterstand aldaar zal niet of nauwelijks door het dwarsverhang beïnvloed worden. Bij het meten van waterstanden in en nabij de bochtombuigingen zal men op dit geringe extra dwarsverhang bedacht moeten zijn.

Het is voor de geometrisch gelijkvormige aanstroming van de vertakkingspunten van belang dat de stroming daar turbulent is. In het prototype is dit immers ook het geval.

Als Spui en Dordtsche Kil gedurende de vloed water naar het Haringvliet voeren komt er een relatief sterke stroming uit in een vrij traag stromend bekken. De inkomende vloeistofstroom wekt in de buurt van de aantakkingspunten turbulentie op.

Tijdens eb zijn de snelheden lokaal bij de aantakkingspunten op het Haringvliet hoger dan de gemiddelde snelheden tengevolge van het getij en de

bovenrivierafvoer. Bij de aantakkingspunten kan dan wat turbulentie opgewekt worden, die doorspreekt in de omgeving van de aantakkingspunten.

Samenvattend kan gesteld worden dat de stroming bij de aantakkingspunten gedurende een groter gedeelte van het getij turbulent zal zijn dan op grond van de berekende snelheden op het Haringvliet is te verwachten.

De konklusie van het voorgaande is dat het Haringvlietlabyrint de waterbeweging goed kan weergeven. Het vervult zijn functie als randvoorwaardenfabriek goed.

Zout/zoet op het Haringvliet/Hollandsch Diep

Onder normale omstandigheden is het Haringvliet/Hollandsch Diep zoet (alleen zout dat via de bovenrivieren wordt afgevoerd).

Tijdens de stormen die gepaard gaan met middenstandsverhogingen op zee en tijdens perioden met zeer lage bovenrivierafvoeren treedt wel eens verzilting van het Haringvliet/Hollandsch Diep op. Dit is de zogenaamde achterwaartse verzilting.

Ook de Volkeraksluizen geven zolang het Zoommeer niet voltooid is een zoutbelasting op het Haringvliet/Hollandsch Diep.

Het zout dat tijdens stormperioden op het Haringvliet terechtkomt zal goed gemengd worden over de vertikaal.

Tijdens verzilting tengevolge van lage rivierafvoeren en de zoutbelasting door de Volkeraksluizen kan er een gelaagdheid over de vertikaal optreden. Menging treedt dan alleen op door wind en scheepvaart.

In het model zal onder de hierboven genoemde omstandigheden de stroming op het Haringvliet laminair zijn. Het gedrag van zout op het Haringvliet/Hollandsch Diep wordt daarom in het model verkeerd weergegeven. Onderzoek waarbij zoute zee-invloed op het Haringvliet/Hollandsch Diep optreedt, dient in het model te worden voorkomen.

De zoute zee-invloed op het Haringvlietbekken heeft overigens geen invloed op de waterbeweging aldaar.

5.3.5 De aanstroming van het Spui

Omdat de zuidelijke mond van het Spui nabij een spiegervlak in het Haringvliet ligt wordt aan de aanstroming van het Spui in het navolgende nadere aandacht besteed.

Het Spui mondt via een geul in de Korendijkse Slikken uit in het Haringvliet. Tussen Middelharnis en de mond van het Spui ligt een plaat met een minimumdiepte van ± 1 m - NAP. Zie figuur 9.

Het Spui (diepte 4,5 m) mondt uit in een bredere geul met een diepte van 6,5 m.

In het uit waterhuishoudkundig oogpunt gezien interessante bovenrivieraafvoerbereik (tot QBR = $2200 \text{ m}^3/\text{s}$) bedraagt de afvoer via het Spui 100 tot $300 \text{ m}^3/\text{s}$ met NLP '70, zodat de snelheden in de orde van 10-25 cm/s bedragen.

Bij vloed komt er via het Spui een krachtige stroom in de geul tussen de plaat en de monding van het Spui. Grofweg de helft van het toegevoerde water moet "rechtdoor" stromen om het gedeelte van het Haringvliet tot de Haringvliet-sluizen van water te voorzien. De rest moet richting Tiengemeten stromen.

Door de impuls die het uitstromende water heeft zal de stroming voorkeur hebben voor de westelijke geul. De snelheden in de westelijke en oostelijke geul zullen ongeveer een faktor 10 kleiner zijn dan de snelheden op het Spui (60-75 cm/s), omdat het doorstroomoppervlak van de twee geulen ongeveer een faktor 10 groter is dan die van het Spui. De te verwachten snelheden in de twee geulen zullen getijgemiddeld in de orde van 5 à 10 cm/s liggen.

Bij eb liggen de snelheden in de westelijke en de oostelijke geul in de orde 7,5 à 12,5 cm/s.

De vloedstroom uit het Spui wordt vertraagd op het Haringvliet. Het surplus aan kinetische energie wordt geleidelijk omgezet in warmte. Dit dissiperen gebeurt via het opwekken van turbulentie én het opwekken van neren.

Dit proces gaat in het Haringvlietlabyrint voor wat het plaat- en geulgedeelte betreft konform de natuur. In dit gedeelte van het model gaat meer dan 90% van de kinetische energie door de stroming verloren (kin. energie is evenredig met v^2 : $v_{\text{spui}} \approx 70 \text{ cm/s}$; $v_{\text{westelijke geul}} \approx 10 \text{ cm/s}$).

Het restant van de kinetische energie wordt grotendeels gedissipeerd vóór de plaatsen waar het Haringvliet vervormd wordt.

In de ebfase versnelt het water van het Haringvliet richting mond Spui. Het water zal meer alzijdig naar de mond van het Spui stromen. Een versnellende stroming is een stabiele stroming, dit betekent dat wervels en neren in de ebfase dichter bij de mond opgewekt worden dan tijdens de vloedfase. De snelheden op het Haringvliet zijn zo klein ten opzichte van de snelheden vlakbij en op het Spui, dat een eventueel niet geheel korrekte snelheidsverdeling op het Haringvliet dit wervel- en nerenpatroon bij de mond van het Spui niet zal beïnvloeden. De kinetische energie en de impuls op het Haringvliet zijn dus verwaarloosbaar ten opzichte van die in de buurt van de mond van het Spui.

Voor een goede weergave van het stromingspatroon in de horizontale richting wordt in het algemeen een lengte van 5 à 10 keer de waterdiepte aangehouden. Dit is in het prototype ≤ 100 m en in het model ≤ 1000 m (vanwege de schaalvertrekking). Aan deze eis wordt voldaan in het modellabyrint als gekeken wordt naar mond van de oostelijke en westelijke geul en de vlakken waar het Haringvlietlabyrint vervormd wordt. Het stromingspatroon bij de mond van de beide geulen zal in het model goed op orde zijn.

Samenvattende kan worden gesteld dat het stromingspatroon bij de mond van het Spui in hoofdzaak bepaald wordt door de geulen en de plaat voor de monding. Dit stromingspatroon wordt in het Haringvlietlabyrint goed gereproduceerd, zodat de geometrisch gelijkvormige aanstroming van het Spui gewaarborgd is. In het model is dit gedeelte van het Haringvliet behoorlijk gedetailleerd ingebouwd.

5.4 Ontwerphoogte modelgeometrie versus randvoorwaarden

Toekomstig onderzoek in het getijmodel zal vooral gericht zijn op de verziltingsproblematiek in het Noordelijk Deltabekken. De zoutindringing wordt eerst problematisch bij lage bovenrivierafvoeren; toekomstig onderzoek zal daarom veelal plaatsvinden onder lage afvoeromstandigheden.

De extreme omstandigheden die in het getijmodel natuurgetrouw moeten kunnen worden ingesteld zijn als volgt gekozen:

- $QBR = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$
- gemiddeld springtij + middenstandsverhoging van ruim 1,50 m te Hoek van Holland

- gesloten Haringvlietsluizen.

(Zie par. 4.3).

Deze extreme omstandigheden bepalen het minimale peil tot waar de riviergeometrie in het model natuurgetrouw moet worden opgetrokken. Het optrekken van de bodemkonfiguratie in het model tot een hoger peil is dus niet strikt noodzakelijk, echter wanneer enige overhoogte zonder noemenswaardige extra inspanning en kosten kan worden gerealiseerd, verdient dit uiteraard aanbeveling.

De aldus gedefinieerde ontwerppeilen bepalen tevens de hoogte tot waar gegevens betreffende de riviergeometrie voor de modelbouw moeten worden verwerkt. Voor het vaststellen van de vereiste hoogte van de modelvloer ("maaiveld" model) geldt een ander criterium.

De berekening van de ontwerp-hoogten langs de diverse riviertakken van het Noordelijk Deltabekken bij de genoemde maatgevende omstandigheden is uitgevoerd met het mathematisch model IMPLIC.

Het model is geijkt aan natuurmetingen onder normale en lage afvoeromstandigheden; de berekeningsresultaten bij zodanig extreme omstandigheden als in dit onderzoek dienen daarom met enige reserve te worden benaderd.

Een viertal berekeningen is uitgevoerd met de volgens de tabel (zie bovenaan volgende bladzijde) vermelde randvoorwaarde.

Berekening 1 geeft de ontwerppeilen voor de riviergeometrie. De berekeningen 2 en 3 zijn uitgevoerd om een indruk te krijgen van de omstandigheden die bij een eventueel in te bouwen overhoogte behoren.

Uit de resultaten van berekening 4 is de vereiste ontwerphoogte van de modelvloer bepaald.

De maximale waterhoogten volgend uit berekeningen 1 en 2 zijn verzameld in de figuren 10 en 11 met dien verstande dat de resultaten van berekening 2 tussen haakjes zijn vermeld.

In figuur 12 zijn op overzichtelijke wijze ter plaatse van alle splitsingspunten de maximale waterstanden, volgend uit de 4 berekeningen, onder elkaar vermeld.

	1	2	3	4
Q_{BR} [m ³ /s] volgens stuwprogramma S285 wordt dit: Q_{Lek} [m ³ /s] Q_{Waal} [m ³ /s]	3000 550 2020	4500 880 3000	3000 550 2020	10000 2125 6505
Q_{Maas} *)	600	900	600	1725
Waterstand Hoek van Holland gem. springtij 1971.0 + mid- denstandsverhoging tot HW-peil van NAP +3,00 m	X	X		
Waterstand Hoek van Holland: Stormvloed 1953			X	X
Haringvlietsluizen gesloten	X	X	X	
Opening HVS volgens NLP -'70				X

*) Voor de Q_{Maas} is bij genoemde Q_{BR} behorende 50%-winterafvoer van de Maas gekozen (zie fig. 3).

Nagegaan is wat de konsekwentie is van de gekozen randvoorwaarden (zee- en rivierstrand) op de omvang van de modelbouw, in het bijzonder voor de Lek, de Waal en de Maas met zijtakken. Immers, het overschrijden van een waterstand kan tot gevolg hebben dat omvangrijke oeverlanden moeten worden gemodelleerd. Onder oeverlanden kan worden verstaan rietlanden, uiterwaarden, oeverstroken, enz. Men kan oeverlanden ook omschrijven als gebieden welke een extra bijdrage leveren aan de komberging behorende bij een gemiddelde afvoer (stel bijv. $Q_{BR} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$).

Voor een ruwe schatting van de modelbouwinspanning kan het best de oppervlakte in de plattegrond worden gehanteerd. Uitgaand van de hoogste waterstanden volgens berekening nummers 1 en 2 hierna te noemen situatie $Q_{BR} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, respektievelijk $4500 \text{ m}^3/\text{s}$, is aan de hand van rivierkaarten de oppervlakte-omvang als volgt te schatten:

RIVIER riviertrajekt, -lengte (km)	zomerbed*)	zomerbed*) + oeverlanden	
		$Q_{BR} = 3000$	$Q_{BR} = 4500$
LEK			
WbD - Hag. - Lexmond 18+10	100%	105%	105%
Lexmond - Schoonhoven 15	100%	130%	130%
Schoonh. - Kr. a/d L. 17	100%	110%	110%
WAAL			
Tiel - St. Andries 12	100%	100%	130%
St. Andries - Brakel 21	100%	105%	110%
Brakel - Loevestein 6	100%	130%	130%
MAAS			
Lith - Hoenzadr. 14	100%	105%	105%
Hoenzadr. - Hedel 5	100%	140%	200%
Hedel - Heusden 10	100%	200%	205%
Heusden - Geertr.berg 20	100%	200%	200%
ANDELSE MAAS	100%	300%	300%

De kosten om de oeverlanden behorende bij $Q_{BR} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ te modelleren staan niet in verhouding tot de totale bouwkosten van het model. De extra kosten voor het modelleren van oeverlanden behorend bij $Q_{BR} = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn nihil. De omvang van de in het model weer te geven oeverlanden langs Waal, Lek en Maas is niet aanmerkelijk te beperken door een marginale reductie toe te passen op de ontwerp-normen van de zee- en rivierstranden (bijv. $Q_{BR} = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$ i.p.v. $3000 \text{ m}^3/\text{s}$).

Het negeren van kombergingsgebieden is niet acceptabel, gezien de gestelde eisen aan reproductie in het model van getijomstandigheden.

Het is aannemelijk dat het weglaten van de oeverlanden langs de Lek (stroomafwaarts onderzoekgebied, stroomopwaarts randvoorwaarden "fabriek") consequenties op de getijreproductie heeft.

Omdat de Waal (Loevestein - St. Andries) eveneens in het getijgebied ligt, is het negeren van de oeverlanden niet acceptabel.

Ervan uitgaande dat de aannamen van de ontwerpberekeningen een majorering van de ontwerphoogte tot gevolg hebben, kan gesteld worden dat het negeren van

*)kombergend oppervlak bij een gemiddelde afvoer (stel bijv. $Q_{BR} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$).

oeverlanden tussen Tiel en St. Andries (Waal) en de extra oeverlanden tussen Hoenzadriel en Hedel (Maas) geen konsekventies heeft voor de getijbeweging in het Noordelijk Deltabekken bij een $Q_{BR} = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ en $Q_{Maas} = 900 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uit het voorgaande volgt dat de omvang van het model, voor wat betreft de ontwerphoogte, ontleend moet worden aan de berekeningsuitkomst van berekeningsnummer 2. Voor het traject St. Andries - Tiel en Hoenzadriel - Hedel kan de uitkomst van berekeningsnummer 1 (fig. 12) worden aangehouden.

5.5 Details modellering

5.5.1 Modelleringshoogte gebied Oude Maasje/Donge

In het kader van de Deltawet zal het gebied zuidelijk van de Bergsche Maas hoogwatervrij worden gemaakt.

In dit gebied zijn gesitueerd het Oude Maasje en het Zuiderkanaal, alsmede de Donge, de Boven-Donge en het Wilhelminakanaal (fig. 13). In hoofdstuk 5.4 zijn de ontwerphoogten voor het getijmodel gepresenteerd; ter plaatse van de aantakking van de Donge en het Oude Maasje aan de Bergsche Maas bedraagt, bij de voor het getijmodel gekozen randvoorwaarden, het ontwerppeil NAP +3,01 m respectievelijk NAP +3,02 m.

Indien waterstanden konform de voornoemde peilen in het prototype voorkomen, zullen langs het Oude Maasje alsook langs de (Boven-)Donge uitgebreide kombergingsgebieden inunderen, omdat de waterkeringen plaatselijk lager liggen dan de ontwerphoogten volgens hoofdstuk 5.4.

Nabij de aantakking van de Bergsche Maas zal in het Oude Maasje een keersluis worden gebouwd: deze sluis is gesitueerd juist ten oosten van het nieuwe gemaal te Keizersveer en zal in 1982 operationeel zijn. Volgens de huidige inzichten zal bij buitenwaterstanden hoger dan NAP +1,50 m de sluis worden gesloten.

De waterkering langs de Donge en het Wilhelminakanaal lagen tijdens de ijkmeting in 1979 plaatselijk ca. 0,60 m te laag om waterstanden ter hoogte van het ontwerppeil te kunnen keren.

De Boven-Donge is nu echter afgedamd.

Voor zowel het Oude Maasje bovenstrooms van de keersluis, alsook voor de Boven-Donge, bovenstrooms van de afdamming, is in het model dié komberging

ingebouwd, die behoort bij het peil waarop het laagste gedeelte van de kruin van de desbetreffende waterkering ligt.

Het onderhavige peil ligt bij het Oude Maasje op ca. NAP +2,60 m en bij de Boven-Donge op ca. NAP +2,40 m.

De keersluis en de afdamming worden in het model gerealiseerd middels het aanbrengen van een schuifje.

Aangezien tijdens in 1979 uitgevoerde ijkmetingen de hoogste waterstanden op de Bergsche Maas belangrijk beneden het laagste van de hiervoor genoemde peilen zijn gebleven, kan tijdens de ijking toch de juiste berging in het gebied zuidelijk van de Bergsche Maas worden gereproduceerd.

Indien het model operationeel wordt, kan door een eenvoudige ingreep in het model de Boven-Donge worden afgesloten en bij hogere waterstanden dan NAP +1,50 m de keersluis in het Oude Maasje worden gesloten.

5.5.2 Hartelkanaal

Voor het nadraaien van de ijkmetingen 1979 in het uitgebreide Getijmodel Rijnmond, is het nodig de situatie van het Hartelkanaal (voorhaven en sluizen-complex) in de toestand 1979 na te bouwen. De contouren van deze situatie zijn aangegeven in figuur 14.

Voor toekomstig waterhuishoudkundig onderzoek in het model is een open verbinding van het Hartelkanaal met de Oude Maas relevant. De contouren van deze situatie zijn aangegeven in figuur 15. Met behulp van een relatief eenvoudig te verwisselen modelblok is de situatie met een gesloten Hartelkanaal te veranderen in die met een open verbinding.

5.5.3 Modellerings in verband met toekomstig onderzoek

Het was moeilijk te bepalen welke onderzoeken (en in welke volgorde) in de toekomst in het Getijmodel Rijnmond zouden worden uitgevoerd. Daarnaast zou men nu de toekomstige onderzoeken vergaand moeten voorbereiden om op zinvolle wijze trefzeker rekening te houden met toekomstige verbouwingen in het model. Besloten is om bij de bouw van het model niet te anticiperen op mogelijke verbouw ten behoeve van het eerste waterhuishoudkundig onderzoek.

In algemene zin wordt wel rekening gehouden met toekomstig onderzoek. Voor de ruimtelijke indeling van de modelhal is namelijk rekening gehouden met de grootst mogelijke omvang van de rivieren c.a. in het model. Een aanpassing van

de ruimtelijke indeling zal doorgaans mogelijk blijven (kolommen zijn in principe verplaatsbaar). Desondanks moet de kans op een aanpassing zo gering mogelijk worden gehouden in de huidige ontwerpfase.

In verband hiermee zijn de volgende criteria gesteld:

- Onbelemmerde modelbouw moet kunnen plaatsvinden tussen de hoogwaterkeringen (bandijken).
- Een vrije strook ter breedte van ca. 1,5 km (prototypemaat) ter weerszijde van de rivieras.

Naast de voorgaande criteria moet ook rekening worden gehouden met de onderstaande projekten, welke ingrepen inhouden die deels buiten de hoogwaterkeringen vallen:

- aantakking Rijnpoorthaven
- doorsteek Oude Maas/Spui bij Berenplaat
- bochtafsnijding Oude Maas ter hoogte van Heerjansdam
- bochtafsnijding Nieuwe Maas bij polder Van Esch
- enkele bochtafsnijdingen in de Hollandsche IJssel.

Er wordt niet expliciet rekening gehouden met de aanleg van het Krimpenerwaardkanaal in het model. Te zijner tijd kan een dergelijk kanaal in het model worden gesimuleerd door een pomp, debietmeter, regelafluisiter en een leiding tussen de Lek en de Hollandsche IJssel.

6 De profilering

6.1 Bouw modelprofilering

Voor een optimale werkwijze bij het bouwen van een model is het noodzakelijk om het karakter van de 3-dimensionale geometrie in ogenschouw te nemen. Gegeven de schaalkeuze, c.q. de schaalvertrekking, kan de volgende subjektieve indeling worden gemaakt

- het algemeen voorkomende type rivier uit het Noordelijk Deltabekken
- vlaktemodel (bijv. Noordzee, Haringvliet)
- prismatisch profiel (kanalen, haventakken)
- gekompliceerde plattegrond (bijv. Biesbosch).

Voor een keuze van een bouwwijze is ook van belang de mate waarin het reproduceren van profileringsdetails noodzakelijk is (probleemgebied versus randvoorwaardengebied).

Bij de herbouw en uitbreiding van het Getijmodel Rijnmond domineert de eerstgenoemde klasse. Veronderstellend dat een maximum aan detail in het model moet worden weergegeven, komt een bouwwijze in aanmerking zoals die sinds jaar en dag gebruikt wordt. (Modelleren met metselwerk en cementmortel in het model zelf).

Hoewel het laboratorium de beschikking heeft over cementverwerkende modelbouwers, is de capaciteit niet toereikend om het omvangrijke project herbouw en uitbreiding Getijmodel Rijnmond binnen de gestelde tijd te realiseren. Daarom is omgezien naar een andere bouwwijze. De feitelijke modellering zou uitgevoerd moeten kunnen worden door hout- en kunststofverwerkende modelmakers. De mogelijkheden voor een eventuele personele capaciteitsvergroting is in deze sektor minder problematisch. Hiertoe is de volgende werkwijze ontworpen.

- Vervaardigen van dwarsprofielen uit raailodingen, ter weerszijde aangevuld met terrestische gegevens van de oever.
- Het zagen van triplex contramallen met behulp van dwarsprofielen.
- Het samenstellen van een aantal (ca. 4) contramallen in een 3-dimensionale opstelling (moot) met behulp van planimetrische gegevens (plaats en richting van de contramallen in het RD-net). Het bovenvlak van de profielbegrenzing valt samen met de werkvloer waarop de moten ondersteboven zijn gesteld.
- Inbouwen in de moot van raaipalen.
- Het opvullen in overmaat van de ruimten tussen de houten mallen met een

speciaal kunststofschuim.

- Het modelleren van de moot door het weg "snijden" van het overtollige schuim langs de omtrekken van de contramallen; zonodig de vormgeving van de moot bijwerken aan de hand van detailinformatie uit peilkaarten e.d. Eventuele kribben worden toegevoegd.
- Het insluiten van de moot met een verticale bekisting; na plaatsing van een net-wapening volgt een betonstort; na harding van het beton wordt het geheel gekeerd en de contraprofiel moot (schuim met mallen) uit het blok verwijderd. Eventuele grindnesten e.d. worden bijgewerkt.
- Het stellen van het blok op de bouwplaats (hoogte en ligging).
- Afdichten van dwarsvoegen tussen de blokken.

Voor wat betreft de vormvastheid, de waterdichtheid, de ruwheid c.q. de aan te brengen extra ruwheid zijn er geen verschillen aan te geven ten opzichte van de traditionele bouwwijze. Ten aanzien van een aantal andere aspecten zijn wel voordelen aan te wijzen.

De oevervormgeving direkt naast een krib kan éénduidiger worden uitgevoerd (afrijen van mal tot mal) door de krib na profilering aan te brengen.

Bij de traditionele bouwwijze zit een krib bij het profileren in de weg. Uiterst gekompliceerde vormgevingen kunnen beter volgens de traditionele bouwwijze worden uitgevoerd (bijv. Biesbosch, enkele splitsingspunten). Evenzo kunnen uiterst eenvoudige profileringen (rechtlijnige prismatische doorsneden) efficiënter op de traditionele wijze worden gebouwd (bijv. havens).

Bij kleine modificaties (bij toekomstig onderzoek) kunnen één of meer blokken worden vervangen. Bij verbouw met een omvang van één of meer blokken is het een voordeel dat een nieuwe configuratie tevoren gemaakt kan worden (kortere stilstandsperiode modelfaciliteit).

6.2 Profilering kribben

Indien de krib in dwarsdoorsnede (vertikale doorsnede, loodrecht op lengte-as krib) is afgewerkt met een talud van 1:6, of flauwer, mag men verwachten dat de stroom aan blijft liggen. De taludhellingen zijn doorgaans echter steeper (orde van grootte 1:4), waardoor de stroom loslaat. Door schaalvertrekking (helling in model is dan orde van grootte 1:0,4) zal de stroom in het model evenmin aanliggen. Met een beperkt aantal kribben kon bij het onderzoek M1351 (bijlage B) niet worden aangetoond dat de schematisatie van een kribdoorsnede

tot een "schotje" met verticale wanden een al dan niet significante invloed heeft op de bij dat onderzoek gereproduceerde zouttoestand: de gevonden effecten waren kleiner dan de instelnaauwkeurigheid in het model.

Men dient erop bedacht te zijn dat de schematisering tot schotje van alle kribben in het model mogelijk de zouttoestand wel beïnvloedt. Ondanks deze onzekerheid is het echter uit oogpunt van kosten en tijd niet te verantwoorden om de geometrie van de dwarsdoorsnede van de krib op schaal na te bouwen.

Volledigheidshalve moeten nog genoemd worden de mogelijke schaalearkten ten gevolge van het aanbrengen van kribben voor wat betreft de ruwheidsreproductie c.q. de ruwheidsverdeling langs bodem en wanden. Deze problematiek is onderzocht in het Getijgootonderzoek "Invloed kribben op Zoutverdeling" [11].

6.3 Profilering bovenrivieren

In het onderzoekgebied wordt er om de 125 m prototype een mal geplaatst (19,5 cm model). In het model zullen de bovenrivieren in het labrynt met een 2-maal kleinere dichtheid aan mallen gebouwd worden.

Bij deze dichtheid aan mallen worden de karakteristieke lange geulen in de rivierbedding ingebouwd. De weerstand door de vorm van de rivier wordt op deze manier meegenomen.

Het aantal kribben langs de rivier wordt gereduceerd, maar daarbij wordt ervoor gezorgd dat de ruwheid die de stroming van de "wanden" ondervindt ongeveer hetzelfde blijft.

De komberging als functie van de waterstand en de afstand zal ingebouwd worden binnen de grenzen die door de ontwerprandvoorwaarden worden bepaald.

6.4 Profilering Haringvliet/Hollandsch Diep

Het onderzoekgebied wordt gebouwd met een mal om de 19,5 cm model (125 m prototype), waarbij het gebied tussen de mallen met behulp van kaarten nog verder gedetailleerd wordt.

Bij het Haringvlietlabrynt wordt om de 625 m prototype (97,5 cm model) een mal van de oever geplaatst. Op de bodem komt om de 2 oevermallen een bodemmal. Het vlak tussen de mallen wordt recht afgewerkt met behulp van een rij.

Het traject Moerdijk - Noordschans en het mondingsgebied van het Spui worden gedetailleerd ingebouwd.

In de extra bochten van het Haringvlietlabrynt kunnen stroomgeleidingsschot-

ten geplaatst worden om de stroming de geulen te laten volgen. Deze stroomgeleiding onderdrukt dan rotaties in de stroming, die na de bocht het stroombeeld kunnen beïnvloeden.

6.5 Profilering havens

De noodzaak van het inbouwen van havens in het Getijmodel Rijnmond is te beargumenteren aan de hand van eisen te stellen aan fysische schaalmodellen [8].

Er wordt uitgegaan van de veronderstelling dat geen onderzoek plaatsvindt naar het stroomgedrag c.a. in de havens zelf. De havenmond daarentegen kan een mogelijke onderzoeklokatie zijn. Ten denken valt aan een onderzoek naar de gevolgen van het wijzigen van een havenmondconfiguratie. Het accent van de argumentatie valt op de reproductie van de invloed van havens op het stroomgedrag van de rivier. Achtereenvolgens worden een aantal aspecten daarvan genoemd met een indicatie voor wat bij het schematiseren van belang is.

Getij

Van het kombergend vermogen komt een niet te verwaarlozen deel voor rekening van de havens langs de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas. Het reproduceren daarvan is van wezenlijk belang voor een juiste reproductie van het getij. Het stelselmatig negeren van een aantal kleine havens (orde van grootte als de Berghaven te Hoek van Holland) heeft een systematische afwijking in het kombergend vermogen in het getijdengebied tot gevolg. Buiten het getijdengebied is de komberging van havens van invloed op de berging van de was of val van de rivierafvoer bij het simuleren van getijreeksen.

Omdat het getijvermogen niet zondermeer instelbaar is in het model dient deze geometrie-eigenschap goed in het model te worden gereproduceerd. Met name komt het neer op de omvang van het wateroppervlak tussen de laatste en de hoogste waterstand.

In het getijdengebied van het model moet bij relatief lange havens ook de representatieve diepte voor de voortplanting van het getij juist worden weergegeven (seiches).

Vertikale uitwisseling

De in het prototype voorkomende interactie tussen rivier en haven ten gevolge van dichtheidsstromen moet in het model worden gereproduceerd. Dientengevolge

moet de totale waterinhoud van een haven op orde zijn ten opzichte van het prototype.

De havens moeten de juiste waterdiepte hebben voor de reproductie van dichtheidsstromen.

Horizontale uitwisseling

Van belang voor de hoofdstroom op de rivier is een juiste reproductie van de primaire neer in de havenmond en de daarachter in de haven aangedreven secundaire neren. De "plattegrond" van de haven moet dan ook in het model worden weergegeven.

Konfiguratie havenmond (bodem en oevers)

Voor de reproductie van de stromingen in de havenmond ten gevolge van getij, verticale en horizontale uitwisseling dienen eventuele karakteristieke geulen gemodelleerd te worden. Als leidraad ter vaststelling van de omvang van de havenmond dient aangehouden te worden een lengte van 5 à 10 maal de waterdiepte.

Eventuele karakteristieke details in de oeverkonfiguratie van de havenmond (uitstulpingen in de oever) dienen in beschouwing te worden genomen over een lengte van 2 à 5 maal de maatgevende breedte van de havenmond (reproductie primaire neer).

Laminaire stroming

Indien men dichtheidsstromen en neren in de haventakuiteinde negeert, resteert een stroming tengevolge van getijberging. Deze neemt af naar de achterste havenbegrenzing. Bij een veronderstelde standaardhaven met een breedte = 200 m, een diepte = 10 m en een $dh/dt = 0,2 \cdot 10^{-3}$ m/s zal globaal de laatste 1,5 km van een haventak laminair zijn. Minder hoge eisen zijn dan te stellen aan de vormruwheid (oeveruitstulpingen e.d.).

Met behulp van voorgaande criteria is elke haven beoordeeld op welke wijze verantwoordt de havengeometrie te styleren is.

De oevers van de havens zijn doorgaans onder een talud afgewerkt; 1:3 tot 2:3. Door schaalvertrekking worden deze taluds in het model aanzienlijk steiler. Op simpele wijze is de konsekwentie van het schematiseren van taluds tot verticale wanden geschat (fig. 16).

Bij een normaal getij, zonder middenstandsafwijking en met verwaarlozing van faseverschuiving ten gevolge van traagheidskrachten, kan de totale debietaf-

wijking voor alle havens als het ware bij Hoek van Holland op een bepaald tijdstip van het getij oplopen tot ca. $30 \text{ m}^3/\text{s}$ bij talud van 1:3. Bij een talud van 2:3 is dat ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

De schematiseringsinvloed op het debietverloop in een rivierhavenmond is groter. Rekent men met een breedteverhouding ("weggeschematiseerde breedte t.o.v. een standaardbreedte van een haven") dan kan de debietfout oplopen tot 2,5% van het momentane debiet bij een talud van 1:3, respectievelijk 1,3% bij een talud van 2:3.

De schematiseringsfout op het gehele rivierensysteem lijkt verwaarloosbaar klein. In een rivierhavenmond is de fout groter (de haven kan geheel omgeven zijn door taluds) echter nog klein t.o.v. de meetnauwkeurigheid, waarmee debieten in een havenmond gemeten kunnen worden. Omdat de fout systematisch is (wel afhankelijk van getijrandvoorwaarden) moet getracht worden dergelijke fouten tot kleine proporties terug te brengen.

In hoofdlijnen worden de havens als volgt geschematiseerd:

Bodem. Het karakter van de bodemligging (zwaairom, centrale vaargeul) te ontlenen aan peilkaarten wordt tot platte vlakken geschematiseerd. Hiermee is de haveninhoud en de representatieve diepte (voor getij- en dichtheidsstromen) op orde. In voorkomende gevallen wordt de bodemconfiguratie in de havenmond direkt grenzend aan de rivier geometrisch juist nagebouwd.

Oevers. Voor de overgrote meerderheid zullen taluds in het model worden aangebracht. Het taludverloop (onderwater talud, plasberm en steenglooing) zal per haventak omgewerkt worden tot een standaardtalud.

Plattegrond. In voorkomende gevallen zal de plattegrond van de haven achter een havenmond zonodig in geringe mate vereenvoudigd worden, echter met behoud van het kombergende oppervlak.

7 Meetfaciliteit

7.1 Inleiding

Het uitbreiden van het Getijmodel Rijnmond heeft twee direkte konsekwenties tot gevolg. De eerste is een verhoging van het aantal meetinstrumenten door vergroting van het onderzoekgebied. De tweede konsekwentie is het gevolg van de modellering van eilandsituaties van het Noordelijk Deltabekken. De vraag naar de debietverdeling rondom de eilanden is evident. Om hierin te voorzien is een nieuwe meettechniek ontwikkeld en voor toepassing in het Getijmodel Rijnmond operationeel gemaakt (MADEM). Hoewel praktijkervaring nog ontbreekt lijkt deze methode meetuitkomsten te geven met de gewenste nauwkeurigheid. De konventionele wijze van debietmeten in open leidingen (meten van snelheden in een aantal punten in de dwarsdoorsnede) is onvoldoende nauwkeurigheid en niet op grote schaal toepasbaar.

Andere ontwikkelingen van meetfaciliteiten hangen meer samen met een voortdurende evaluatie, waarvan het startpunt gelegd kan worden bij de bouw van het Getijmodel Rijnmond en de Getijgoot in de zestiger jaren. Een belangrijke rol in de evaluatie spelen de aspecten:

- resultaten met fundamenteel zout/zoetonderzoek (Getijgoot)
- ervaring met waterhuishoudkundig onderzoek (Getijmodel Rijnmond)
- verschuivingen in de soort gevraagde meetinformatie tengevolge van de steeds hogere eisen die aan het beheer van het Noordelijk Deltabekken worden gesteld.
- het beschikbaar komen van verfijndere meettechnieken en van grotere mogelijkheden van verwerkingstechnieken met een computer.

Enkele voorbeelden van recentelijke ontwikkelingen zijn:

- filtertechnieken waarbij een optimum kan worden ingesteld tussen het elimineren van ruissignalen (turbulentie) en het doorlaten van relevante meetinformatie; hiermee wordt een representatieve bemonstering van het verschijnsel beoogd
- ontwikkeling van een meetinstrument waarmee de zoutindringingslengte direkt kan worden gemeten; bij het in bedrijf nemen van het uitgebreide model kan deze ontwikkeling weer worden opgepakt (zogenaamde horizontale zouthark)
- de ontwikkeling van een meetopnemer waarmee de dichtheidsverdeling simultaan over een vertikaal kan worden gemeten; de bemonstering van zoutconcentraties in tijdreeksen kan daarmee efficiënter worden uitgevoerd (zogenaamde ROVER).

7.2 Globale inventarisatie van meetinstrumenten

Naast een breed assortiment van meetinstrumenten voor algemeen laboratoriumgebruik is een basisbestand gereserveerd voor gebruik op het Getijmodel Rijnmond. Uiteraard is dat bestand in de toekomst aan te passen naar gebleken behoefte zowel voor wat betreft het soort instrument als de aantallen. In bijlage C wordt globaal een overzicht gegeven van de huidige stand van zaken. Een opgave van aantallen tussen haakjes, betekent dat deze instrumenten tot de reservering van het Getijmodel Rijnmond behoren.

7.3 Korte beschrijving van enkele meetinstrumenten

(zie ook fig. 19 en fotoblad)

Waterstandsvolger (WAVO)

In de WAVO, op te stellen vertikaal boven het meetpunt, zijn de volgende componenten met een asje onderling verbonden:

- een kettingtrommel; aan het afgewikkelde eind van het kettinkje hangt de eigenlijke sensor
- een potentiometer; hiermee wordt de rotatiestand van de as, c.q. de trommel gemeten en is daarmee een maat voor de hoogte van de sensor
- een servomotor om de sensor op de juiste hoogte ten opzichte van de waterspiegel te houden.

De eigenlijke sensor bestaat uit een verticale naaldelektrode waarvan het onderste tipje het wateroppervlak "raakt". Door een miniatuur excitator wordt de naaldelektrode longitudinaal in trilling gebracht (slag ca. 1 mm, frequentie 50 Hz), waardoor de elektrode-tip alternerend het wateroppervlak wel en niet raakt. Dit "raken" wordt gemeten als een weerstandsvariatie (bloksignaal) tussen de elektrode en het wateroppervlak (elektrische massa). Het weerstandssignaal wordt vergeleken met het stuursignaal voor de excitator. Faseverschuiving daartussen is een maat voor een te hoge of te lage stand van de sensor ten opzichte van de waterspiegel. De hoogte-afwijking wordt automatisch gecorrigeerd met de servomotor in de WAVO.

Deze methode van meten kan worden getypeerd als een grensvlak (lucht-water)meting.

Het gekozen meetbereik voor het Getijmodel Rijnmond is 10 cm (6,40 m prototypemaat).

De grootst mogelijke getijrijzing/daling is ca. 3 cm/min (prototypemaat).

Een globale maat voor de nauwkeurigheid is ca. $\pm 0,2$ mm (ruim ± 1 cm prototypemaat).

Vaste zoutopnemer (VAZO)

Voor het meten van de zoutconcentratie in een hoeveelheid (gerekend in aantal meetpunten en intensiteit gedurende het getij) komt praktisch gesproken alleen in aanmerking de meting van de elektrische geleidbaarheid van water. De VAZO bestaat uit een holle stang (z.g. geleidbaarheidsopnemer) die vertikaal op de gewenste meetplaats wordt opgesteld. De onderkant van de stang komt overeen met de diepte van het meetpunt. De eigenlijke sensor bevindt zich onderin de holle stang en bestaat uit een inwendige vernauwing (lengte 10 mm, diameter 1 mm). De geleidbaarheid wordt bepaald door de elektrische weerstand over de vloeistofkolom in de vernauwing te meten. Door continu wat water door de buis te zuigen ($1 \text{ ml/s} \approx \text{ca. } 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ prototypemaat) wordt het monster in de sensor voortdurend ververscht. De doorstroomsnelheid in de sensor is ca. 1 m/s . Simultaan wordt naast het meetpunt ook de watertemperatuur gemeten met een temperatuurgevoelige weerstand.

Uit beide meetgegevens wordt naderhand de dichtheid $\rho(\text{kg/m}^3)$ berekend.

Het meetbereik ligt tussen ca. 1000 en 1030 kg/m^3 .

Voor de temperatuur geldt een meetbereik van $0-35^\circ\text{C}$.

Een globale maat voor de nauwkeurigheid is ca. $\pm 0,25 \text{ kg/m}^3$.

Mini-akoustische debietmeter (MADEM)

In het Getijmodel Rijnmond worden op vaste meetplaatsen MADEM's geplaatst voor de nauwkeurige bepaling van debieten tijdens de ijking van het model en voor "debietbewaking" tijdens toekomstig onderzoek.

Het meetprincipe berust op het feit dat geluidsgolven (toegepast wordt ultrasoon geluid met $f = 1 \text{ MHz}$) in water zich voortplanten ten opzichte van de vloeistof. De effectieve voortplantingssnelheid ten opzichte van een vast punt is dan de som van de geluidssnelheid in water en de watersnelheid.

Aan beide oevers van een meetraai zijn onder een hoek van ca. 45° met de hoofdstroom op gelijke diepte transducenten (een combinatie van "geluidszen-der" en "-ontvanger") opgesteld. Door gelijktijdig aan beide oevers een geluidssignaal naar de overzijde van de rivier te zenden, scheef door de hoofdstroom van de rivier, zullen beide looptijden verschillend zijn. Het looptijdverschil (positief of negatief; afhankelijk van de richting van de hoofdstroom) is evenredig met de langs de meetlijn gemiddelde watersnelheid. Het

toepassen van twee geluidssignalen in tegenovergestelde richting heeft het voordeel dat de temperatuursafhankelijke geluidssnelheid in water wordt geëlimineerd.

Door stapeling van meerdere, bovenelkaar geplaatste, akoustische snelheidsmetingen met een spatiëring van ca. 1,50 m (prototypemaat) kan voor elke meetlijn een debiet worden bepaald. In combinatie met een waterstandsmeting (o.a. voor de bepaling van het maatgevende profieloppervlak rondom de bovenste meetlijn) wordt het totale debiet bepaald.

De gemeten waterstand (vertikaal getij) wordt ook gebruikt voor het aan- en uitschakelen van meetlijnen in het gebied waar getijverschillen voorkomen.

Om een optimale meetnauwkeurigheid te krijgen zijn enkele ontwerpgegevens afgestemd op de lokale omstandigheden van de meetplaats (schaalbereik debieten, laagste LW-stand, hoogste HW-stand, diepste punt uit het profiel, grootste breedte van de rivier, enz.).

Voor het vaststellen van het schaalbereik van de debieten is met IMPLIC in een jaarreeks de waterbeweging op het Noordelijk Deltabekken gedurende 1976 nagedraaid. Gedurende dat jaar varieerde de Bovenrijnafvoer tussen 3480 en 780 m³/s. In het voorjaar zijn enkele perioden met middenstandsverlaging op zee en enkele perioden met flinke middenstandsverhogingen op zee opgetreden. Voor de meetplaatsen waar de MADEM's worden opgesteld zijn de berekeningsresultaten van deze jaarreeks uitgewerkt in de vorm van histogrammen (zie fig. 17 en 18). De gekozen debietbereiken zijn met pijlen in de histogrammen aangegeven en vermeld in de tabel van figuur 20. De meetbereiken zijn overigens nastelbaar. Op vergelijkbare wijze als bij de debieten zijn voor elke meetplaats ook bepaald de hoogste HW-stand en de laagste LW-stand. De resultaten zijn opgenomen in de tabel van figuur 20. De laatste kolom in de tabel geeft aan het profiel van vrije ruimte in de hoogte. Deze maat is zo gering mogelijk gehouden om de nodige stijfheid van de gehele meetopstelling zeker te stellen. Een globale verwachtingswaarde voor de nauwkeurigheid is 1 à 3% van het meetbereik.

Zogenaamde horizontale zouthark

Dit meetinstrument is qua opzet bedoeld om de grens van de zeeïnvloed bij de bodem in longitudinale zin te meten. Op een in de Thal-weg liggende stang zijn zoutverklikkers aangebracht met een spatiëring vooralsnog van 10 cm (64 m prototypemaat). Een verklikker bestaat uit een kort stiftje van een niet elektrisch geleidend materiaal. Aan de buitenkant zijn op een onderlinge

afstand van 1 cm twee ringvormige elektroden verzonken aangebracht. Verlaging van de elektrische weerstand tussen de beide elektroden verklikt de aanwezigheid van zout rondom het stiftje. Een prototype volgens dit concept aangemaakt moet nog worden beproefd.

Zogenaamde verticale zouthark (ROVER)

Om een efficiënte bemonstering van het zout in de vertikaal te verkrijgen wordt een opnemer ontwikkeld met een aantal sensoren op één opnemerstang. Om aanvaardbare afmetingen van de opnemerstang te houden (diameter 8 mm) wordt een ander type sensor dan bij de VAZO toegepast.

De opnemerstang bestaat uit een elektrisch isolerend materiaal waarin per cm in de lengterichting gezien, ringvormige elektroden verzonken zijn aangebracht. Evenals bij de VAZO is de elektrische weerstand tussen twee bij elkaar behorende ringen een maat voor de geleidbaarheid van het water rondom de meetopnemer.

Met de temperatuur van het water (afzonderlijk te meten) kan de dichtheid worden berekend).

Met deze opzet kan dus simultaan in de vertikaal de dichtheid worden bepaald als gemiddelde over een hoogte van ca. 0.65 m prototypemaat, met een hoogte-spatiëring van ca. 1,50 m prototypemaat.

Beproeving van een prototype moet uitwijzen wat de praktische kwalifikaties zijn voor wat betreft de meetnauwkeurigheid en het betrouwbaar functioneren onder bedrijfsomstandigheden.

7.4 Meetnet

Verspreid over het gehele modelgebied zijn 40 aansluitkasten voor meetinstrumenten geïnstalleerd. Per aansluitkast kunnen doorgaans 8 typen meetinstrumenten worden aangesloten. De aktieradius van een aansluitkast is ca. 5 km (prototypemaat). In het onderzoekgebied overlappen de aansluitkasten elkaar; bij splitsingspunten is een 3-voudige overlapping aanwezig. De wijze van rangschikken maakt het mogelijk om met de beschikbare aantallen meetinstrumenten een meetopstelling te variëren tussen een overzichtsmeting van het gehele Noordelijk Deltabekken en een detailmeting, waarbij op enkele lokaties de konzentratie van aantallen opnemers kan oplopen tot maximaal 16 langs riviertakken en 24 stuks bij een splitsingspunt.

Enkele vast opgestelde meetinstrumenten hebben een afzonderlijke aansluiting. Dat zijn de MADeMs en in de toekomst de horizontale zouthark.

7.5 Verwerking meetgegevens

Ook voor de verwerking van meetgegevens geldt dat de uitbreiding en herbouw van het model geen direkte konsekventies heeft voor de bestaande methode van verwerken van meetgegevens, behoudens de uitbreiding van het aantal en soort instrumenten. Voor de computerverwerking heeft dat overigens nauwelijks konsekventies.

Bij de ontwikkeling van nieuwe typen meetinstrumenten worden verwerkingstechnieken simultaan meegenomen.

De mogelijkheid van verwerking en presentatie zijn uiteraard legio. Gangbare presentatievormen zijn cijfermatige of grafische uitvoer. Bij het verwerken van meetgegevens heeft men mogelijkheden voor middelingen (in de vertikaal of over een cyclische periode), voor uitwerking in de tijd (waterstands-, snelheids- en zoutkoncentratieverlopen) en voor Fourier-analyse van het meetsignaal.

Afhankelijk van het soort onderzoek en de aard van de probleemstelling kunnen meer specifieke bewerkingen worden uitgevoerd.

Referenties

- 1 Water-, zout- en sedimentbeweging in het Noordelijk Bekken van het Delta-gebied; richtlijnen voor onderzoek
Werkgroep Rijkswaterstaat, Gemeentewerken Rotterdam en Waterloopkundig Laboratorium; december 1965.
- 2 Getijmodel Rijnmond; bouw nieuwe zeerandregeling; basisgegevens en uitgangspunten ontwerp
Waterloopkundig Laboratorium; M1350-4, november 1976.
- 3 Voorbereiding bewijsproef; verslag modelonderzoek
Waterloopkundig Laboratorium, M1353, september 1976.
- 4 Getijmodel Rijnmond; bouw nieuwe rivierrandregeling en verificatie modelinstelling; verslag ontwerp, bouw en ijking
Waterloopkundig Laboratorium, M900-XVIII, maart 1975.
- 5 Bewijsproef Getijmodel Rijnmond; verslag modelonderzoek
Waterloopkundig Laboratorium, M1397 deel I, april 1977.
- 6 Bewijsproef Getijmodel Rijnmond; aanvullend onderzoek; verslag modelonderzoek
Waterloopkundig Laboratorium; M1397 deel II, oktober 1980.
- 7 Waterhuishoudkundig onderzoek van het Noordelijk Deltabekken; evaluatie onderzoeksmiddelen
Waterloopkundig Laboratorium; M1350-X, december 1978.
- 8 Grondslagen waterhuishoudkundig onderzoek ten behoeve van het Noordelijk Deltabekken in het Getijmodel Rijnmond; verslag onderzoek
Waterloopkundig Laboratorium; M1350-XI, mei 1981.
- 9 Nieuw Havenmond Hoek van Holland; bewakingsmeting 1973
Waterloopkundig Laboratorium; M1222-II.

Referenties (vervolg)

10 Getijdebieten Hagestein

District Zuidwest; Nota: 31.004.21, deel II.

11 Invloed kribben op zoutverdeling

Waterloopkundig Laboratorium, diverse verslagen M896-39.

Bijlage ALijst van WV-Nota's

WV 1	Index WV-nota's
WV 2	Invloed geheugeneffect op variantkeuze Haringvliet
WV 3	Haringvliet/Holl. Diep als 'labyrinth' of 'conform' de werkelijkheid!
WV 4	Het Haringvliet als randvoorwaardenfabriek in het hydraulisch model van het Noordelijk Deltabekken
WV 5	Gevoeligheidsonderzoek profielveranderingen
WV 6	Afvoeren van de bovenrivieren ten behoeve van het ontwerp van het hydraulisch model van het Noordelijk Deltabekken
WV 7	Zeerlandvoorwaarde - ontwerpgetij Hoek van Holland
WV 8	Ontwerphoogten getijmodel M1350
WV 9	Getijdebieten Hagestein
WV 10	Jaargang bodemligging getijmodel M1350
WV 11	Het Haringvliet/Hollands Diep in het hydraulisch model van het Noordelijk Deltabekken
WV 12	Ontwerpgegevens MADAM
WV 13	Windeffekten op Noordelijk Deltabekken
WV 14	Simulatie van verhangen ten gevolge van wind op het Haringvliet/Hollands Diep
WV 15	Bovenrivierlabirinten
WV 16	Rooilijn model
WV 17	Verbouwingen model t.b.v. toekomstig onderzoek
WV 18	Styleren havens
WV 19	Hartelkanaal
WV 20	Kribbenbouw
WV 21	Onttrekkingen en lozingen
WV 22	Bouw modelprofilering Getijmodel Rijnmond
WV 23	Keuze "jaargang" zeeloding t.b.v. modelbouw
WV 24	Afsluiting Gat van de Hawk
WV 25	Evaluatie ontwerphoogte modelgeometrie versus randvoorwaarden
WV 26	Omvang onderzoekgebied en plaats modelranden c.a.
WV 27	Gebied Oude Maasje Donge
WV 28	Jaargang lodingen Biesbosch

Bijlage BWaterhuishoudkundige onderzoeken in het getijmodel

	<u>jaar van onderzoek</u>
<u>In M900</u>	
M1110 Uitwendig koelcircuit Maasvlakte-centrale	1970
M1158 Rijnpoothaven	1970/71
M1159 Open Hartelkanaal	1972
M1186 Rekonstruktie Noorderhoofd annex verondieping mond Rotterdamsche Waterweg	1972
M1298 Vormgeving Breediep	1974
M1319 Invloed luchtbellenschermen op zoutindringing Rotter- damsche Waterweg en op uitwisselingsdebiëten Botlek	1974
M1337 Verkenkend onderzoek effluentlozing nabij Kralingse- veer	1975
M1351 Vormgeving kribbenpatroon Breediep	1975
M1352 Vastlegging bodem Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas volgens de definitieve trapjeslijn	1975
M1367 Vormgeving bodembescherming mond Oude Maas	1975
<u>In M1350</u>	
M1462* Verbetering Oude Maas	1977/78
M1466* Maatregelen ter beperking van de zoutindringing nabij de Hollandsche IJssel	1978
M1552 Afsluiten Oude Maas	1978
M1554 Onderzoek naar de invloed op de zouttoestand in het Noordelijk Deltabekken van een 72/75-voet bereik- baar Europoort met compenserende werken	1978/79

*) onderzoeken uitgevoerd met behulp van getijreeksen.

Bijlage C

Globale inventarisatie van meetinstrumenten

Waterhoogtemeting

- peilnaald (10 stuks); voornamelijk bedoeld voor het aangeven van referentie-waterstanden voor het ijken van WAVO's
- waterstandvolgers (WAVO, 20 stuks); voor het meten van waterstandsverlopen in beginsel opgesteld in standaard meetstations.

Snelheidsmeting, c.q. debietmeting

- drijvers (groot aantal stokdrijvers van verschillende lengte); door het fotograferen (6 fototoestellen boven het zeegebied op afstand bestuurbaar) van het drijverstroombeeld is snelheid en stroomrichting te bepalen; zie ook dwarskrachtmeting
- micromolen (WSM, 25 stuks, optie voor 5 stuks extra); voor het meten van snelheid in één meetpunt, zowel eb- als vloedrichting; meethoek is gefixeerd
- micromolen met richtingsvaan (SER, optie op 10 stuks); als WSM; bovendien wordt stroomrichting meegemeten; meethoek wordt automatisch aangepast aan de stroomrichting; van belang voor stroommetingen op zee, splitsingspunten en havenmonden
- slingerstroommeter (SSM); kan zeer kleine snelheden registreren; echter door kwetsbaarheid minder geschikt om op grote schaal toe te passen
- tracermeting; als methodiek nog niet toegepast; zie ook "meting verspreiding"
- turbulentie korrelatie techniek; principe oplossing bekend voor het meten van kleine snelheden in kenteringsperioden in het getij
- hittedraad; voor het meten van snelheidsflux (turbulentie-intensiteit); de grote gevoeligheid voor vervuiling is een meettechnische beperking
- Laser-Doppler techniek; in ontwikkeling; problematisch bij dichtheidsverschillen
- mini akoustische debietmeter (MADEM, 14 stuks); wordt operationeel gemaakt voor het meten van debieten, zowel in eb- als vloedrichting; nog niet geschikt voor inhomogene stroming
- cupmolen; geschikt voor lage snelheden; breed bemonsteringsoppervlak, snelheidsrichting niet te bepalen