Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en *Zee/RIKZ*

Haringvlietmonding: reconstructie van een afsluiting

Beschrijving, verklaring en modelaanpak van de effecten van de sluiting van de Haringvlietmonding 1970-2000

Rapport RIKZ/2002.028

auteurs: J.M.T. Stam, M. Groen, L. Walburg
datum: november 2002

Inhoud

SAMENVATTING

INHOUDSOPGAVE

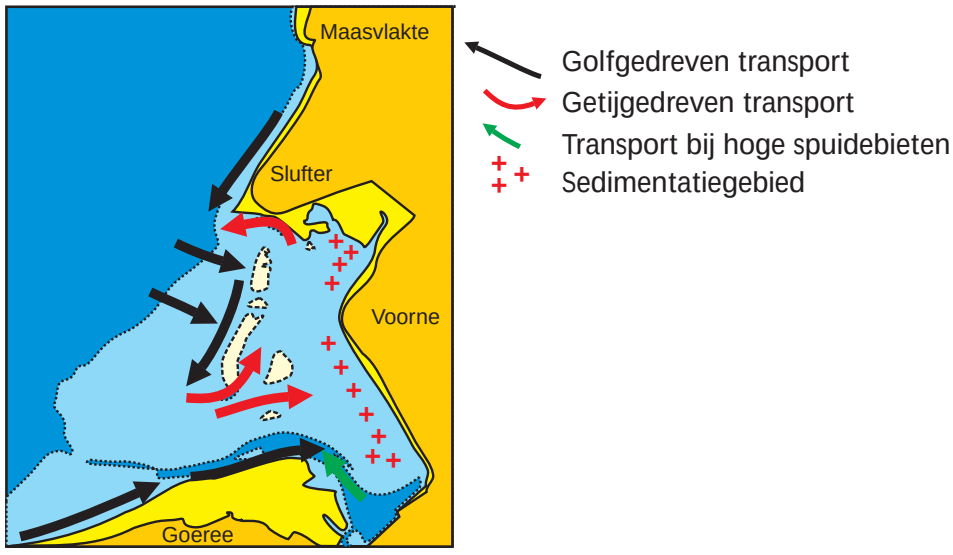
1)	**INLEIDING**	**7**
1.1	Een gewijzigd beheer van het Haringvliet	7
1.2	Morfologische voorspellingen	8
1.3	Doelstelling reconstructie van de afsluiting	8
1.4	Leeswijzer	8
2)	**ACHTERGROND**	**11**
2.1	KUST 2005: een RWS onderzoeksprogramma	11
2.2	K2005*Voordelta: morfologische voorspellingen voor de lange termijn	11
2.3	Doelstelling	12
2.4	Wat voegt K2005*Voordelta toe aan De Kier of Maasvlakte 2?	12
3)	**ONTWIKKELING BEHEERSPARAMETERS**	**15**
3.1	Aanpak	15
3.2	Gebiedsbeschrijving Haringvlietmonding	15
3.3	De ontwikkeling beschreven in beheersparameters	18
3.3.1	*Sedimentvolume in de monding*	*18*
3.3.2	*Momentane kustlijn*	*20*
3.3.3	*Strandbreedte*	*21*
3.3.4	*Locatie geulen en platen en areaal intergetijdengebied*	*24*
3.3.5	*Vaargeul diepgang*	*29*
3.4	Samenvatting	30
4)	**CONCEPTUEEL MODEL**	**33**
4.1	Aanpak	33
4.2	Ontwikkeling 1950-heden	33
4.3	Huidige situatie	36
4.3.1	*Getij*	*36*
4.3.2	*Golven*	*38*
4.3.3	*Storm*	*39*
4.3.4	*Extreme afvoer*	*39*
4.4	Conclusies	39
4.5	Conceptueel model en hypotheses periode 2000-2005	40
4.6	Effect van de Kier	41
5)	**OVERZICHT EN VERVOLGSTAPPEN**	**43**
6)	**LITERATUUR REFERENTIES**	**45**
	Bijlage 1 Afvoer Haringvliet 1970-2000	47
	Bijlage 2 Suppletie- en baggergevens 1970-2000	49
	Bijlage 3 Boderus Haringvlietmonding 1964-2000	51
	Bijlage 4 Areaal intergetijdengebed Haringvlietmonding 1964-2000	57

Samenvatting

De in 1998 voorgestelde wijziging van het spuiregime van het Haringvliet (Kier) zal ook invloed hebben op de morfologie van de monding. De verandering in morfologie wordt uitgedrukt in beheersparameters, die verband houden met functies als veiligheid, recreatie, ecologie en scheepvaart, in de Haringvlietmonding.

De beheerder wil zicht hebben op mogelijke veranderingen. Dit rapport levert daarvoor een conceptueel model, uitgedrukt in beheersparameters. Waarnemingen van morfologische veranderingen tussen 1970 en heden geven inzicht in de fysische processen die van belang waren in de Haringvlietmonding in de periode 1970-heden. Dit leidt tot een kaart met daarop aangegeven de belangrijkste processen en transportrichtingen; een conceptueel model, zie figuur 0.1. Het conceptuele model wordt gebruikt bij het maken van voorspellingen van morfologische ontwikkelingen.

Een doorvertaling naar de toekomstige situatie is in het huidige rapport nog niet gegeven. In de toekomst zullen een aantal hypotheses die ten grondslag liggen aan dit conceptuele model modelmatig en via metingen nader onderbouwd of zelfs getoetst worden. Vervolgens zal een doorvertaling naar toekomstige ontwikkeling van beheersparameters gemaakt worden.



Figuur 0.1.
Fysische processen die een rol spelen bij de Haringvlietmonding anno 2000.

1 Inleiding

1.1 Een gewijzigd beheer van het Haringvliet

Na de stormvloedramp in 1953 werd besloten diverse zeegaten in het zuidwesten van het land af te sluiten. Door de sluizen in de Haringvlietdam wordt sinds 1970 alleen nog bij laag water zoet rivierwater uit het Haringvliet naar zee gespuid. De sluizen bieden veiligheid tegen overstroming en zorgen tevens voor een verbeterde zoetwaterhuishouding in het zuidwesten van Nederland. Naast deze voordelen zijn ook nadelen verbonden aan het huidige sluisbeheer, die in de loop der jaren steeds zichtbaarder zijn geworden. Het oorspronkelijke dynamische zout-brak-zoet intergetijdengebied is verdwenen, grote hoeveelheden verontreinigd rivierslib zijn afgezet in het zoetwaterbekken en in de monding (zeewaarts van de sluizen) is een scherpe zoet-zout overgang ontstaan. Om de ecologische waarden van het Haringvliet te herstellen bereidt RWS-Zuid Holland maatregelen voor om de sluizen gedeeltelijk weer open te zetten. De invoer van dit gewijzigd spuibeheer vindt plaats in twee stappen:

- KIER: Op 1 januari 2005 gaat het scenario KIER in. Hierbij zullen de sluizen niet alleen bij eb open staan maar ook, met een zeer geringe opening, tijdens vloed. Het getij en het zoute water zullen het Haringvliet binnendringen
- GETEMD GETIJ: vanaf ca. 2015 zal naar verwachting het scenario GETEMD GETIJ ingaan. Bij dit scenario worden de sluizen, voor zover de Rijnafvoer dit toestaat, het grootste deel van de tijd open gezet; echter met een beperkte doorstroom opening (met het oog op de beperking van de zoutindringing). Het estuariene karakter van het Haringvliet wordt voor een belangrijk deel hersteld.

De wijziging van het spuiregime van het Haringvliet zal onder andere invloed hebben op de morfologie van de monding en mogelijk ook op het gebied er buiten. Voor de beheerder zijn veranderingen gerelateerd aan de volgende functies van speciaal belang: veiligheid en kustlijnhandhaving, recreatie, ecologie en scheepvaart.

In een algemene bewoording kan het beheersprobleem als volgt geformuleerd worden:

In hoeverre worden de functies veiligheid, recreatie, ecologie en scheepvaart in de Haringvlietmonding beïnvloed door veranderingen in de morfologie veroorzaakt door een gewijzigd spuibeheer van het Haringvliet?

De afsluiting van de Haringvliet heeft belangrijke morfologische (Van der Spek, 1987, Arends, 1997, Van Vessem, 1998) en ecologische gevolgen gehad. Op basis van waarnemingen van morfologische veranderingen tussen 1970 en heden, kan inzicht verkregen worden in de morfologische processen die zich afspe(e)l(d)en in de Haringvlietmonding. Een beter inzicht in het huidige en vroegere morfologische gedrag van het gebied kan bijdragen aan een betere voorspelling van het gedrag na het openen van de sluizen.

1.2 Morfologische voorspellingen

Voor een ingreep als de KIER en GETEMD GETIJ worden doorgaans voorspellingen van de morfologische ontwikkeling gedaan aan de hand van uitkomsten van computer modellen met een voorspelbaarheid van jaren tot decennia (in het vervolg aangeduid als LT-modellen). Die modellen zijn volop in ontwikkeling. Probleem bij het inzetten van huidige LT modellen is dat ze slechts beperkt resultaten geven in termen van de gebruikersfuncties. Om te zorgen voor een betere aansluiting tussen onderzoeker/modelleur en beheerder is het wenselijk dat de modellen de beheerder meer inzicht geven in de lange termijn ontwikkeling van de gebruikersfuncties.

Voordat een voorspelling gedaan wordt, vindt meestal een zogenaamde calibratie plaats; activiteiten om een bepaalde mate van overeenkomst tussen model en metingen in het veld te verkrijgen. Om vervolgens vast te stellen of een model acceptabel is wordt doorgaans een validatie uitgevoerd; de modeluitvoer wordt vergeleken met een onafhankelijke (dat wil zeggen nog niet in de calibratie gebruikte) set meetgegevens. Voor zowel de calibratie als de validatie van de LT modellen zijn waarnemingen (metingen) van morfologische veranderingen als gevolg van ingrepen uit het verleden nodig. De waarnemingen in de Haringvlietmonding sinds de afsluiting in 1970 zijn in dit kader zeer waardevol.

1.3 Doelstelling reconstructie van de afsluiting

In het huidige rapport wordt een analyse van de morfologische ontwikkelingen in de Haringvlietmonding vanaf de afsluiting gegeven, in termen van de gebruikersfuncties (beheersparameters).

Doelstellingen van de reconstructie beschreven in dit rapport zijn:

Een beter inzicht krijgen in het huidige morfologische gedrag van het gebied (in termen van de gebruikersfuncties). Dit inzicht kan bijdragen aan een betere voorspelling van toekomstig gedrag.

Een geschikte casus maken van de morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmonding (sinds de afsluiting) ter validatie van LT computermodellen.

Deze analyse geeft inzicht in de morfologische processen die zich afspelen in de Haringvlietmonding. De resultaten kunnen in de toekomst gebruikt worden bij het valideren van een LT-model; de analyse en modelresultaten zullen hiertoe met elkaar geconfronteerd worden.

1.4 Leeswijzer

Het beheersvraagstuk van de Haringvlietsluizen is onderdeel van het breder opgezette Kust2005 kennisontwikkelingsprogramma van Rijkswaterstaat. Het volgende hoofdstuk beschrijft de achtergrond van het daarin ondergebrachte Haringvlietproject (aangeduid met K2005*Voordelta).

Voor de beheerder zijn ontwikkelingen in termen van de functies van het gebied van belang (zie beheersvraag in paragraaf 1.2). In hoofdstuk 3 worden de functies van het gebied vertaald in beheersparameters. Resultaten en gebiedsbeschrijvingen in het K2005*Voordelta project worden uitgedrukt in deze beheersparameters. De ontwikkeling van de beheersparamters in de Haringvlietmonding voor de periode 1970-2000 wordt beschreven in dit hoofdstuk.

In hoofdstuk 4 wordt een conceptueel model opgesteld; het conceptuele model benoemt de belangrijkste processen die van invloed zijn op de beheersparameters op de schaal van de monding en op een tijdschaal van 1-50 jaar. Het conceptuele model verklaart de waargenomen ontwikkeling van de beheersparameters. Het conceptueel model wordt uitgedrukt als kaart met sedimenttransporten en een serie hypotheses over de processen in de monding.

Het laatste hoofdstuk (hoofdstuk 5) van dit rapport geeft een overzicht van de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken en de vervolgstappen van het project.

2 Achtergrond

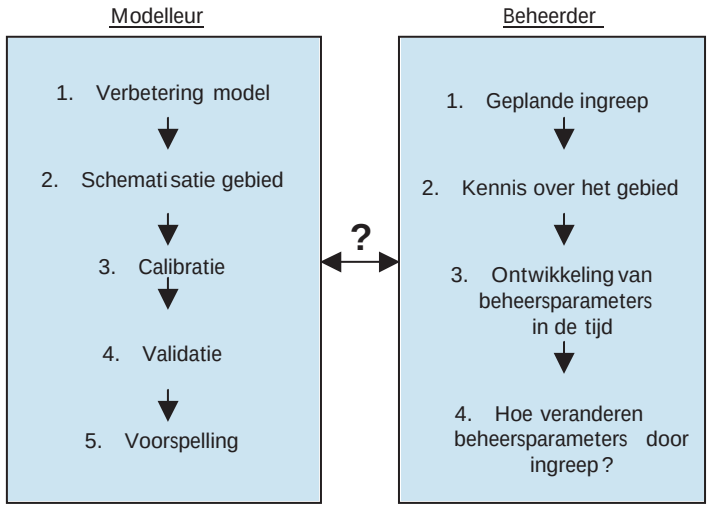
2.1 KUST2005: een RWS onderzoeksprogramma

KUST2005 is het morfologisch kennisontwikkelingsprogramma van de hoofddirectie en de regionale kustdirecties van RWS. KUST2005 is in 2000 gestart en wordt uitgevoerd door het RIKZ. Het doel is om kennis over de zandige kust te verbreden en toe te passen voor advies en beleid. Ontwikkeling en toepassing gaan dus hand in hand. Opzet en uitwerking van het programma staan verder beschreven in het programmaplan (Dunsbergen, 2002). K2005*Voordelta is een van de projecten van het KUST2005 programma. Hierin wordt een aanpak uitgewerkt en het instrumentarium ontwikkeld om advies te geven voor het alternatief beheer van de Haringvlietsluizen op het mondingsgebied.

2.2 K2005*Voordelta: morfologische voorspellingen voor de lange termijn

Binnen het K2005*Voordelta project wordt een methodologie ontwikkeld en toegepast om morfologische veranderingen in de Voordelta, Westerschelde monding en de Wadden op lange termijn te voorspellen. Onder methodologie wordt de aanpak en het nodige instrumentarium verstaan. Deze morfologische voorspellingen moeten toegespitst zijn op specifieke beheersproblemen. Hiermee staan we voor twee uitdagingen:

- Computermodellen voor de lange termijn morfologie zijn volop in ontwikkeling. Verschillende modellen (d.w.z. gebaseerd op verschillende principes of concepten) worden gebruikt, maar er moet doorgaans nog veel werk gebeuren om de ingrepen uit het verleden geschikt te maken voor de validatie van de modellen (m.a.w. data verzamelen, digitaliseren, analyseren).
- De aansluiting tussen onderzoeker/modelleur en beheerder vraagt nog veel aandacht. Modellen moeten de beheerder meer inzicht geven in de lange termijn effecten van beheersalternatieven. Onderzoeker en beheerder lijken nu nog in twee verschillende werelden te leven.



Figuur 2.1.
Modelleur en beheerder; twee aparte werelden?

K2005*Voordelta wil deze twee uitdagingen aangaan. Als praktijk casus richt het project zich op de grote schaal en lange termijn gevolgen van een gewijzigd spuiregime op de morfologie van de buitendelta van het Haringvliet. Met grote schaal wordt gedacht aan het mondingsgebied tot NAP-20m, met lange termijn wordt bedoeld perioden van 1 tot 50 jaar. De gevolgen van een gewijzigd spuibeheer van het Haringvliet in zijn geheel, worden onderzocht in het RWS project 'Implementatie ander beheer van de Haringvlietsluizen volgens De Kier', kortweg het project De Kier. De aanpak van K2005*Voordelta voor de periode 2001-2004 staat verder uitgewerkt in het projectplan (Dunsbergen, 2002). De aanpak van het project De Kier met betrekking tot de morfologie, staat uitgewerkt in het werkplan van de werkgroep Morfologie en Kwaliteit (van den Berg en Blom, 2001).

2.3 Doelstelling

Om de lange termijn gevolgen van verschillende scenario's van KIER (tussen 2005 en ca. 2015) en GETEMD GETIJ (vanaf 2015) te kunnen vergelijken en een afweging te kunnen maken, zijn betrouwbare voorspellingen nodig over het lange termijn gedrag van de beheersparameters als gevolg van het gewijzigd spuibeheer.

De doelstelling van K2005*Voordelta is:

Een aanpak uit te werken en het instrumentarium te ontwikkelen voor de voorspelling van de lange termijn morfologische effecten van een gewijzigd spuibeheer op de Haringvlietmonding.

Relevante tijdschalen zijn 10 jaar voor het scenario KIER en 50 jaar voor het scenario GETEMD GETIJ. De voorspellingen moeten uitgedrukt zijn in parameters die relevant zijn voor het beheer. Ook moet er inzicht gegeven worden in de betrouwbaarheid van de voorspellingen.

Afbakening: K2005*Voordelta beantwoordt geen adviesvragen; m.a.w. het levert geen berekeningen en afwegeningen voor verschillende scenario's van KIER en GETEMD GETIJ. De Werkgroep Morfologie en Kwaliteit van het project De Kier beantwoordt vragen die voortkomen uit de inspraakreacties en de MER. Ook worden er binnen K2005*Voordelta geen voorspellingen voor MAASVLAKTE 2 gedaan.

2.4 Wat voegt K2005*Voordelta toe aan De Kier of Maasvlakte 2?

K2005*Voordelta beantwoordt enkele van de vragen die gesteld zijn door de Werkgroep Morfologie en Kwaliteit van het project De Kier. Deze vragen zijn geformuleerd in het Werkplan (van den Berg en Blom, 2001) en hierin staat K2005*Voordelta expliciet genoemd onder de vraag: *'Resulteert een gewijzigd beheer van de sluizen in een verandering van het areaal van de verschillende fysiotopen'.* In het huidige rapport wordt de volgende activiteit (vermeld in het werkplan) uitgewerkt: Analyseren (in kaart brengen en verklaren) van de huidige situatie op basis van bestaande (historische) gegevens.

Wat betreft Maasvlakte 2, vindt er kennisuitwisseling plaats tussen het project Mainportontwikkeling Rotterdam en K2005*Voordelta. Hierbij moet opgemerkt worden dat het tempo van Maasvlakte 2 en van K2005*Voordelta verschillend is. Maasvlakte 2 voert veelal korte snelle modelstudies en opdrachten uit omdat er op korte termijn antwoorden nodig zijn. K2005*Voordelta is niet direct betrokken bij het advies en kan daardoor tijd nemen voor een gestructureerde aanpak met oog voor lange termijn resultaten. De bijdragen van K2005*Voordelta zijn:

- Een serie gedigitaliseerde bodemkaarten van het Haringvliet van de periode 1970-1990; er is nu een goede serie bodemkaarten van de periode 1964-2000 beschikbaar (Tönis, 2000).
- Een analyse van de morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmonding vanaf de sluiting, in termen van beheersparameters, zodat de gevolgen van de sluiting voor de functies duidelijk worden begrepen (dit rapport).
- De inzet van een serie bewust gekozen LT-modellen, die resultaten opleveren in termen van beheersparameters. Tot op heden (eind 2002) is er geen modelstudie geweest die met deze opzet is gestart.
- Een geïntegreerde aanpak van gegevensanalyse, LT modelstudies en metingen waardoor de methodes met elkaar vergeleken kunnen worden.
- In samenwerking met het project De Kier, levert K2005*Voordelta nieuwe hydrodynamische metingen van de buitendelta.
- Door nieuwe hydrodynamische metingen kunnen een serie beter gecalibreerde en gevalideerde modellen tot stand komen.
- Door toepassing van verschillende modellen, inzicht in de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen (i.e. interpreteerbaarheid van modelresultaten).

3 Ontwikkeling beheersparameters

3.1 Aanpak

De beheersvraag van dit project kan in algemene bewoording als volgt gesteld worden:

In hoeverre worden de functies in de Haringvlietmonding (veiligheid, recreatie, ecologie en scheepvaart) beïnvloed door veranderingen in de morfologie veroorzaakt door een gewijzigd spuibeheer van het Haringvliet?

Om deze algemene beheersvraag uit te werken, worden de functies van het gebied uitgedrukt in beheersparameters. Beheersparameters zijn kwantificeerbare grootheden die de staat van een bepaalde functie karakteriseren. Bij de Haringvlietmonding zijn vier functies belangrijk: veiligheid, recreatie, ecologie en scheepvaart. Voor deze vier functies zijn beheersparameters gekozen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de functies en de gekozen beheersparameters. De beheersparameters spelen een belangrijke rol bij de calibratie en validatie maar ook bij de interpretatie van de resultaten van LT-modellen.

Tabel 3.1.
Functies en beheersparameters in de Haringvlietmonding.

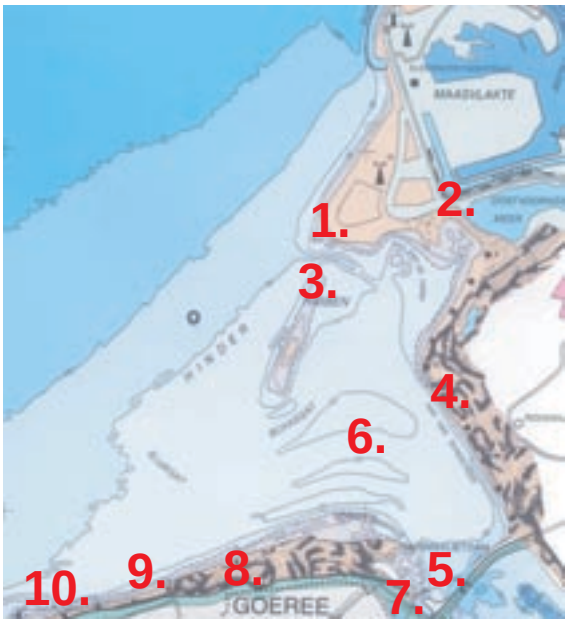
Functie	Beheersparameter
Veiligheid en kustlijnhandhaving	• Sedimentvolume in de monding
	• MKL
Recreatie	• gemiddelde strandbreedte
Ecologie	• locatie platen en geulen
	• areaal intergetijdengebied
Scheepvaart	• Vaargeul diepgang

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens:
- Een kwalitatieve beschrijving gegeven van de Haringvlietmonding met het oog op de functies die daar belangrijk zijn.
- De beheersparameters voor deze studie benoemd.
- Per beheersparameter de ontwikkeling gedurende de periode 1964-2000 beschreven.
- De samenvatting per beheersparameter gegeven.

3.2 Gebiedsbeschrijving Haringvlietmonding

Het Haringvliet was het zeegat gelegen tussen Voorne en Goeree (zie figuur 3.1). De landzijde van de monding wordt tegenwoordig in het noorden gevormd door de Maasvlakte met de Slufterdam, naar het oosten door de kust van Voorne, de Haringvlietdam en vervolgens aan de zuidzijde door de kust van Goeree. De monding bestaat uit een systeem van geulen en platen. De belangrijkste geulen zijn (van noord naar zuid) het Hindergat, het Bokkegat, de Middengeul en het Slijkgat. De belangrijkste platen zijn (van noord naar zuid) de Hinderplaat, de Garnalenplaat Noord en de Garnalenplaat Zuid.

Figuur 3.1.
Locatie Haringvlietmonding en belangrijkste geulen en platen. De cijfers refereren aan de foto's waarmee een indruk van het gebied wordt gegeven.
1) Slufterdam
2) Brielse Gat en Gat van de Hawk
3) Hinderplaat
4) Rak van Scheelhoek
5) Haringvlietdam
6) Middengeul, Garnalenplaten Noord en Zuid
7) Haven Stellendam
8) Kwade Hoek
9) Strand Goeree
10) Flaauwe Werk

























Als we meer in detail kijken naar het gebied en de belangrijkste functies, kunnen de volgende deelgebieden worden beschreven (zie ook figuur 3.1 en bijbehorende foto's):

1) Slufterdam
   De Slufter is een baggerspeciedepot dat in 1986 aan de Maasvlakte is gebouwd. De dam is in zijn geheel uit zand gebouwd. De zeewaartse kant van de Slufterdam is een van de meest gesuppleerde gebieden van Nederland (zie ook bijlage 2 suppletie en baggergegevens). De kust heeft hier een zeer steil profiel en een breed strand. Naar het noorden toe verraden de golven dat er een bank ligt, die in het verlengde van de Maasvlakte een spit vormt.
2) Brielse Gat en Gat van de Hawk
   Een gebied in de luwte van de Slufter met flauwe hellingen en veel platen. Ook slib sedimenteert in dit gebied. Het is een vogelrustgebied van ecologisch belang.

3) Hinderplaat
   De grootste plaat in de monding. De top ligt op circa NAP+1m. GHW en GLW zijn respectievelijk NAP+1,21m en NAP-0,92m (uitgerekend voor 1997, Jaarboek 1996, 97). Daarmee valt de bovenkant van de plaat enkele uren per dag droog. De foto is genomen 3 uur na HW. De plaat levert de belangrijkste bijdrage aan het areaal intergetijdengebied van de monding en is dus van ecologisch belang.
4) Rak van Scheelhoek
   Ook een luwtegebied achter de Hinderplaat. Een zeer breed strand met brede hoge duinen dus een belangrijk gebied voor recreatie. Op de foto wordt het gebied vanaf het strand voor Rockanje getoond.
5) Haringvlietdam
   Een dam van 4,5 km lengte met een sluizencomplex bestaande uit 17 openingen. In het midden is de dam gebouwd op de plaat de Pampus. De sluizen (in het zuidelijke gedeelte van de dam) staan open bij laag water om het overtollige water uit het Haringvliet af te voeren.
6) Middengeul, Garnalenplaten Noord en Zuid
   Het systeem van de Garnalenplaat wordt doorbroken door de relatief ondiepe Middengeul. Ook deze twee platen vormen een belangrijk gedeelte van het ecologisch interessante intergetijdengebied in de monding.
7) Haven Stellendam
   Aan de zuidzijde van de Haringvlietdam ligt de haven van Stellendam, de belangrijkste haven voor de scheepvaart. De toegang wordt verschaft door de geul het Slijkgat.
8) Kwade Hoek
   Naar het oosten van Stellendam is de Kwade Hoek te zien. Dit is een zeer breed complex van aanlandende strandhaken. Het gebied is eigendom van Natuurmonumenten en van groot ecologisch belang.
9) Strand Goeree
   Meer naar het oosten zien we de stranden van Goeree. Het punt op de foto, bij Ouddorp, laat een zeer smal strand zien.
10) Flaauwe Werk
    Bij de punt van Goeree begint het Flaauwe Werk, eveneens een zeer smal strand. Op de punt van Goeree is de vuurtoren zichtbaar.

3.3 De ontwikkeling beschreven in beheersparameters

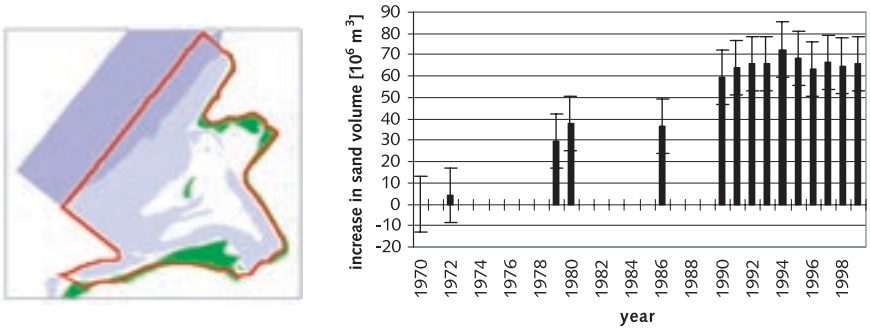
De ontwikkeling van de Haringvlietmonding wordt in het navolgende beschreven aan de hand van beheersparameters. Een dergelijke beschrijving moet zorgen voor een goede aansluiting op de beheersvraag (§ 1.1).
De belangrijkste functies en de gekozen beheersparameters staan opgesomd in Tabel 3.1. In de volgende secties wordt de ontwikkeling van de beheersparameters gedurende de periode 1964-2000 beschreven.

3.3.1 Sedimentvolume in de monding

Het grootschalig kustonderhoud wordt gekwantificeerd aan de hand van het sedimentvolume van een groot gebied (‘zandbak’), zoals beschreven door Mulder (2000). De gehele buitendelta van de Haringvlietmonding is een voorbeeld van een dergelijk grootschalig gebied.
De ontwikkeling van het sedimentvolume in de Haringvlietmonding is recent door Tönis (2000) geanalyseerd aan de hand van 15 bodemopnames tussen 1970 en 1999. De bodemgegevens zijn opgenomen in Bijlage 3 Voor deze studie waren meer digitale bodems beschikbaar dan voor de MER (Van Vessem, 1998). De extra bodems betroffen opnames uit de jaren 1971, 1979, 1980, 1986. Hierdoor is tevens een meer nauwkeurige schatting mogelijk dan in de MER, omdat toen nog geen digitale bodems in de periode tussen 1970 en 1990 beschikbaar waren.

De toename van het sedimentvolume is te beschrijven met een exponentiële functie (Tönis, 2000). Dit is te zien in figuur 3.2. (de balans is gecorrigeerd voor bagger- en suppletievolumes). Voor de volumeberekeningen is een vast gebied gekozen door in de bodem van een bepaald jaar (1986) de zeewaartse grens van het balansgebied op de NAP-10m en de landwaartse grens op NAP+5m te stellen. De NAP-10m dieptelijn verandert nauwelijks in de tijd. De duinen zijn voor het grootste gedeelte ook in het gebied gevat. Volumeveranderingen in het duingedeelte (b.v. door verstuiving) beïnvloeden de sedimentbalans, zij worden echter geacht verwaarloosbaar te zijn in vergelijking met de volumeveranderingen in de monding.

Figuur 3.2.
Sedimentbalans van de Haringvlietmonding t.o.v. 1970. De ontwikkeling van het zandvolume heeft een nagenoeg exponentieel verloop. De getallen zijn gecorrigeerd voor baggeren en suppleties.

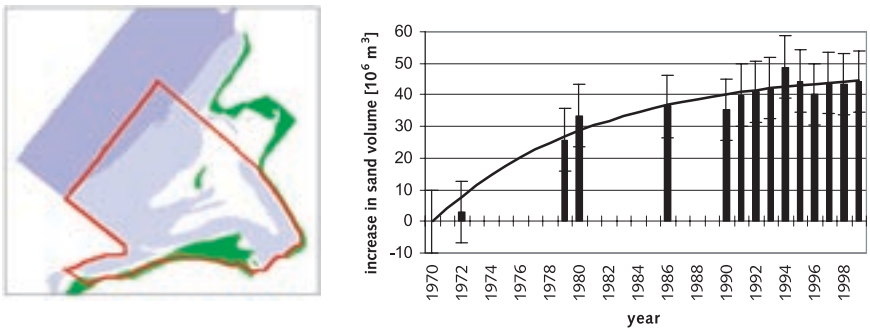


De sedimentinhoud vanaf 1986 is duidelijk groter. Dit is het gevolg van de bouw van de Slufterdam (gemaakt van zand) waarvoor circa $20 \cdot 10^6$ m^3 zand in het systeem is ingebracht (Tönis, 2000). Dit hoort uiteraard niet bij de natuurlijke ontwikkeling van het gebied. Om dit te verdisconteren, wordt het gebied van de monding zonder de Slufter en het Brielse Gat beschouwd.

Conclusie

Een sedimentbalans van de monding (exclusief het gebied rondom de Slufter en Brielse Gat) laat vanaf 1970 een duidelijk exponentieel verloop zien (zie fig. 3.3.). Dit deel van de monding is nagenoeg in evenwicht. Het gebied in de onmiddellijke omgeving van de Slufterdam is van weinig invloed op dit evenwicht. De karakteristieke aanpassingstijd[1] is 11 jaar, hetgeen vrij kort is (in 11 jaar is 63% van het evenwichtsvolume bereikt). In 2000 is 93% van het evenwicht bereikt en is er ca. $45 \cdot 10^6$ m^3 sediment in het gebied gekomen. In 2020 zou dit 99% zijn. In 2000 is de sedimenttoename in de orde van 0,3 10^6 m^3/jaar. Dit is aanzienlijk minder dan in de MER wordt aangegeven (Van Vessem, 1998). Hierin werd geschat dat tussen 40% en 80% van de aanpassing plaats had gevonden en dat de netto sedimentatie op dat moment 1 miljoen m^3/jaar bedroeg.

Figuur 3.3.
Sedimentbalans van de Haringvlietmonding t.o.v. 1970. Het gebied ten zuiden van de Slufter dam is nu nagenoeg in evenwicht. De sedimentbalans heeft een exponentieel verloop; in 2000 is ca. $48 \cdot 10^6$ m^3 sediment in het gebied gekomen (dat is 93% van het evenwichtsvolume).



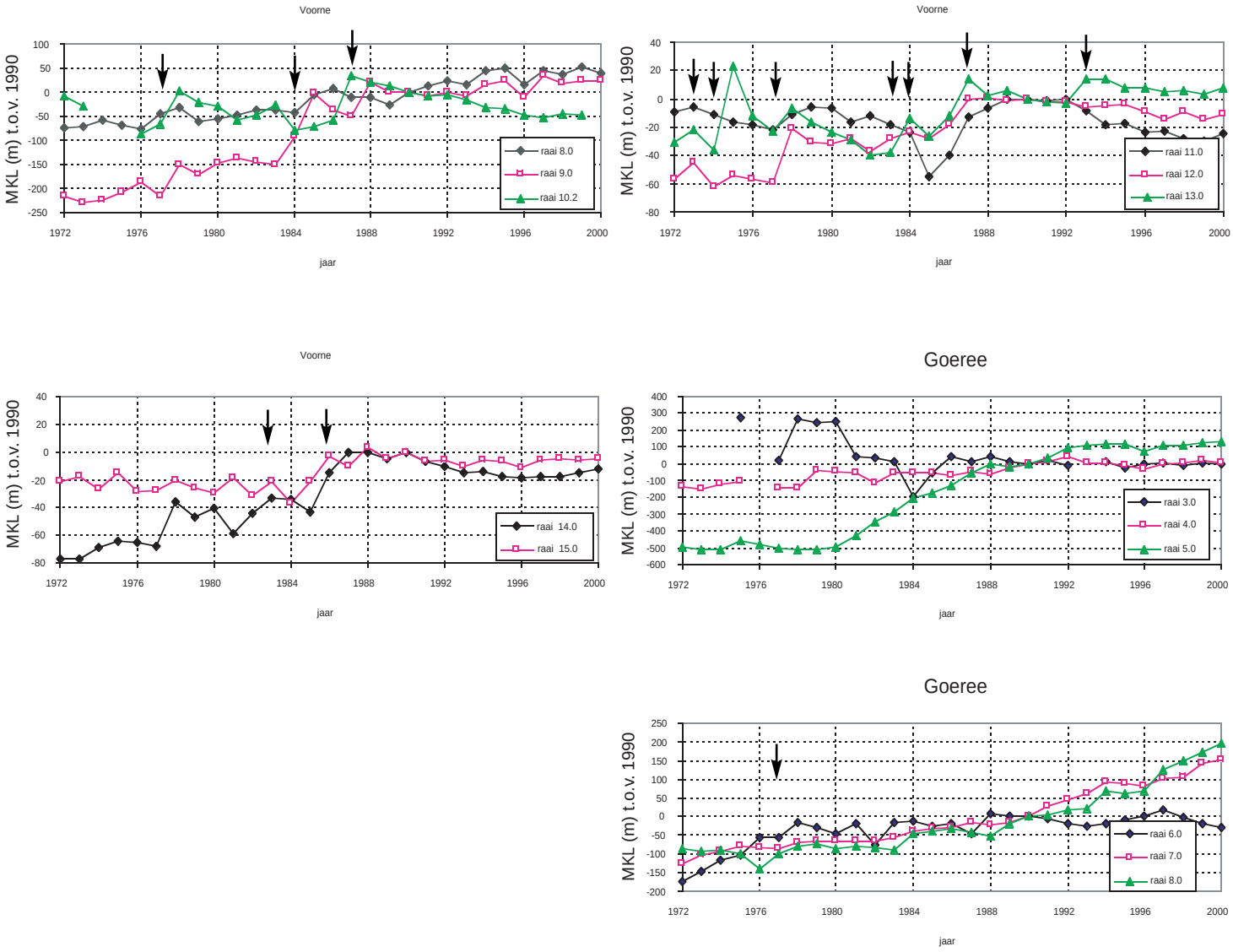
[1] Het verloop van het sediment volume wordt beschreven met de vergelijking $V_t = V\infty (1\text{-}e^{-t/T})$. Vis het sediment volume, T de karakteristieke aanpassingstijd en t de tijd. $V\infty$ en T zijn uit de gegevens met de kleinste kwadraten methodeberekend. Door t=T te stellen wordt $V_t = 0{,}63\ V\infty$

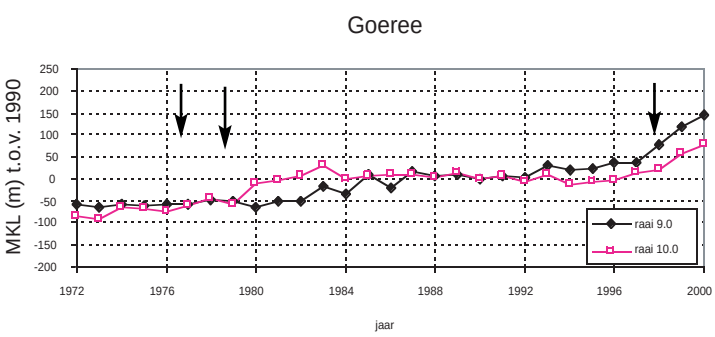
3.3.2 Momentane kustlijn

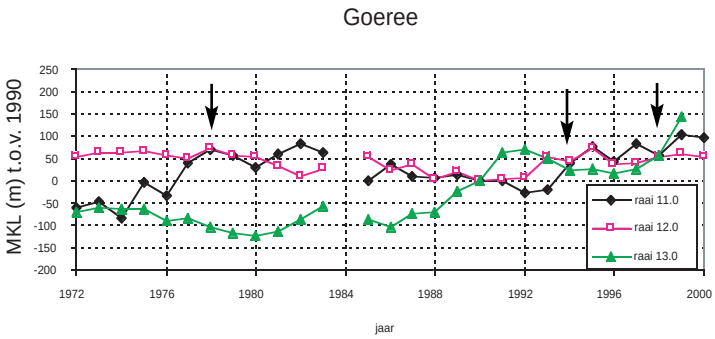
De parameter die de positie van de kustlijn bepaalt is de MKL (Momentane kustlijn). De MKL wordt sinds 1990 gebruikt als parameter voor het kustbeleid (zie de eerste kustnota 'Kustverdediging na 1990: beleidskeuze voor de kustlijnzorg'). De MKL wordt jaarlijks bepaald en is een maat voor de locatie van de kustlijn in dat jaar. Als de tienjaarlijkse trend van de MKL voor een aantal opvolgende raaien, onder de maat van 1990 komt (dit is de BKL), wordt er een zandsuppletie gepland. Als de MKL in de tijd in een grafiek wordt uitgezet, dan zijn de zandsuppleties herkenbaar. In totaal is tussen 1960 en 2000, 35 miljoen m^3 zand in het systeem gebracht. Een overzicht van de suppleties die in het gebied zijn uitgevoerd is opgenomen in Bijlage 2

In figuur 3.4 wordt de MKL weergegeven voor 8 raaien op Voorne en voor 11 raaien op Goeree. Tabel 4.2 geeft een kwalitatieve beschrijving van het gedrag van de MKL.

Figuur 3.4.
Verloop MKL bij Voorne en Goeree. Bij de MKL berekeningen zijn de suppleties inbegrepen. Het jaar van een suppletie is aangegeven met een pijl.







Suppleties: De suppleties zijn meestal herkenbaar aan een sprong in de MKL. Afhankelijk van het moment waarop de diepte van de kustzone wordt gemeten om de MKL te bepalen, gebeurt dit in hetzelfde jaar als de suppletie of een jaar later.

Uit de figuren is het volgende beeld te halen:

1) Oostvoorne
   - raai 8: tot 1981 redelijk stabiel waarna er vanaf 1981 een sprongsgewijze toename van in totaal 100 m te zien is.
   - raai 9: sprongsgewijze toename van 225 m. In 1983-1985 en in 1987 is bovendien het effect van suppleties te zien.
2) Groene Punt
   - raai 10.02: sprongsgewijze toename in 1978 en 1986/87 veroorzaakt door suppleties, gevolgd door een afname van ca. 75 m.
3) Rak van Scheelhoek
   - raai 11: blijft met enige fluctuatie vrijwel constant (met een maximale fluctuatie van 50m).
   - raai 12 t/m 15: tonen een constante tot licht toenemende trend (in de orde van 25 à 75 m).
4) Goeree Kwade Hoek
   - raai 3: toont een redelijk constante waarde (met uitzondering van 197-1981 en 1984).
   - Raai 4: toont een redelijk constante waarde.
   - Raaien 5 t/m 13: tonen een constante toename.

Conclusie

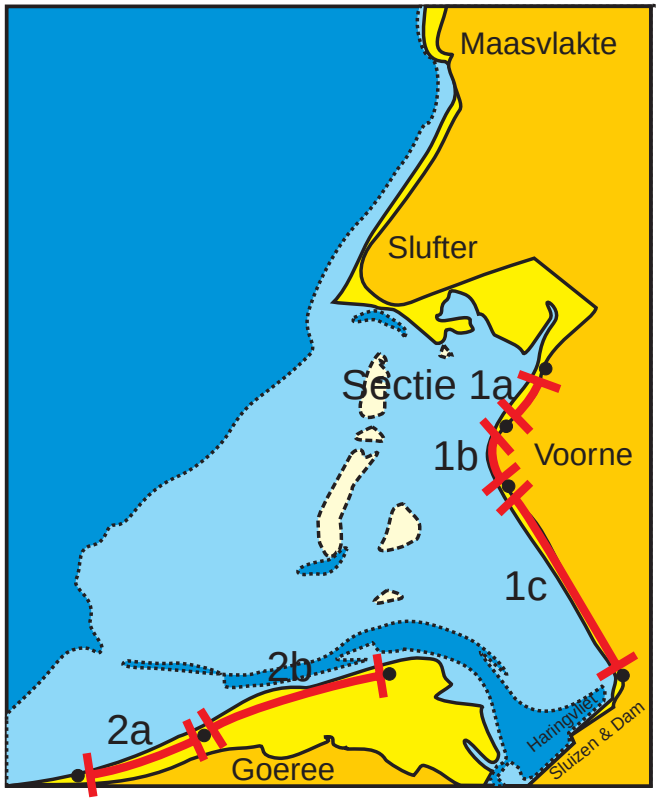
1) Voorne: Het gebied ten noorden van de Groene Punt laat omstreeks 1983-1986 een sprongsgewijze toename van de MKL zien, waarna een meer geleidelijke toename van de MKL optreedt. De Groene Punt zelf laat afnemende MKL zien, het effect van suppleties is hier duidelijk herkenbaar. Ten zuiden van de Groene punt blijft de MKL vanaf 1986 relatief constant.
2) Goeree: hier laten de raaien een toename van de MKL zien.

3.3.3 Strandbreedte

De strandbreedte is belangrijk voor de recreatiefunctie van een gebied. Om de ontwikkeling van de strandbreedte te bepalen is de monding opgedeeld in een aantal secties met morfologisch vergelijkbare eigenschappen (fig. 3.5). Met behulp van GIS zijn er van de bodems per sectie twee parameters berekend:

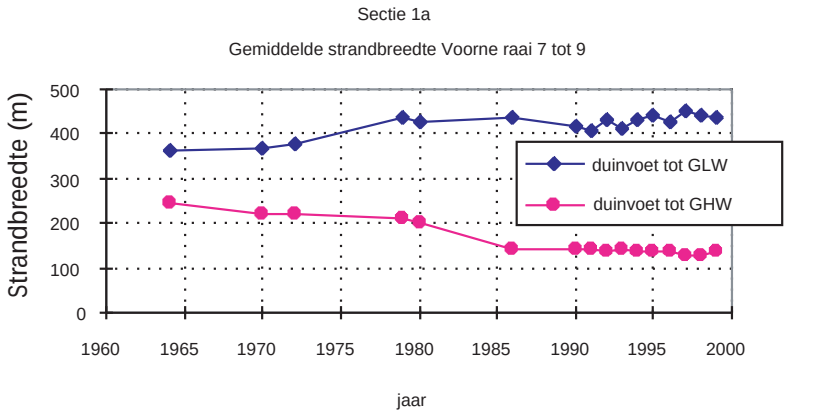
- De totale strandbreedte: dit is de gemiddelde afstand tussen duinvoet (DV) en gemiddeld laagwater (GLW). Als grenzen zijn respectievelijk NAP+3m en NAP-1,3m genomen.
- De droge strandbreedte: dit is de gemiddelde afstand tussen duinvoet (DV) en gemiddeld hoogwater (GHW). Als grenzen zijn respectievelijk NAP+3m en NAP+1m genomen.

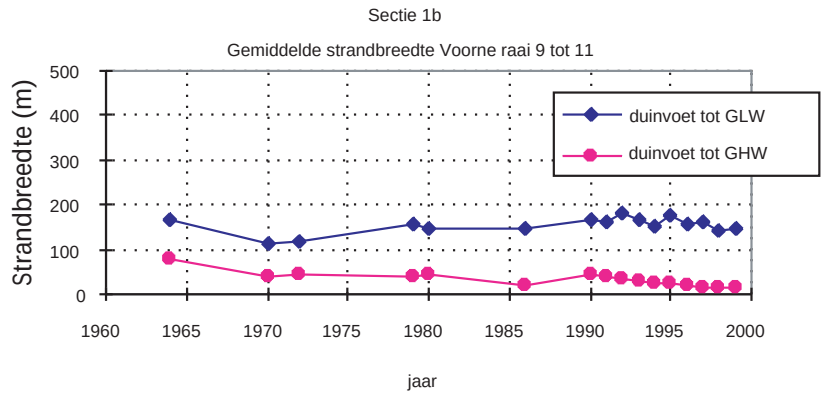
Figuur 3.5.
Indeling van de Haringvlietmonding in secties ten behoeve van de gemiddelde strandbreedtes. De grenzen zijn aangegeven door de nummers van de strandpalen.



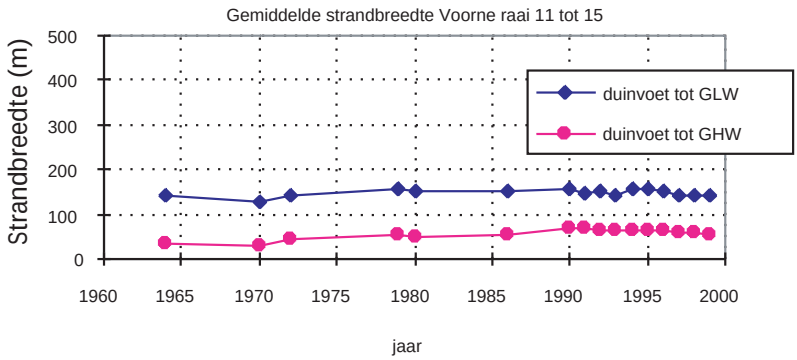
De resultaten worden in figuur 3.6 gegeven. Tabel 3.2 geeft een kwalitatief overzicht

Figuur 3.6.
Gemiddelde breedte van het gehele strand en gemiddelde breedte van het droge strand, per sectie. De nummering van de secties komt overeen met figuur 4.5. De periode is 1964-2000. Er is niet gecorrigeerd voor strandsuppleties.

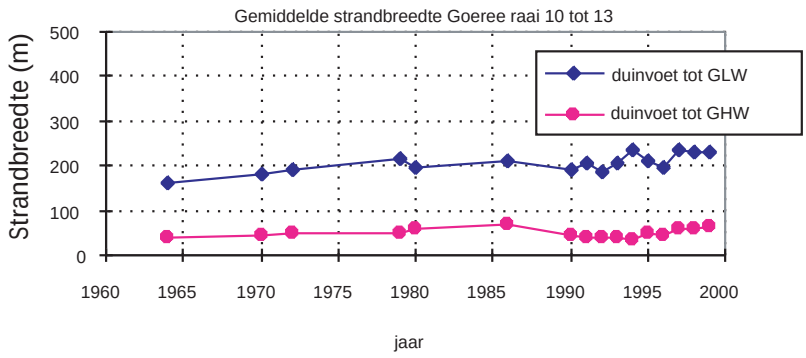




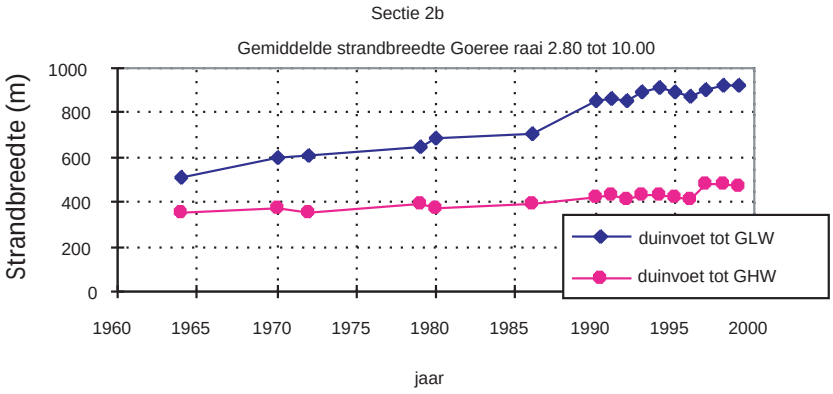
Sectie 1c



Sectie 2a



Sectie 2b



Tabel 3.2.
Globaal gedrag van gehele strandbreedte en droge strandbreedte per kustsectie, gedurende de periode 1964-2000.

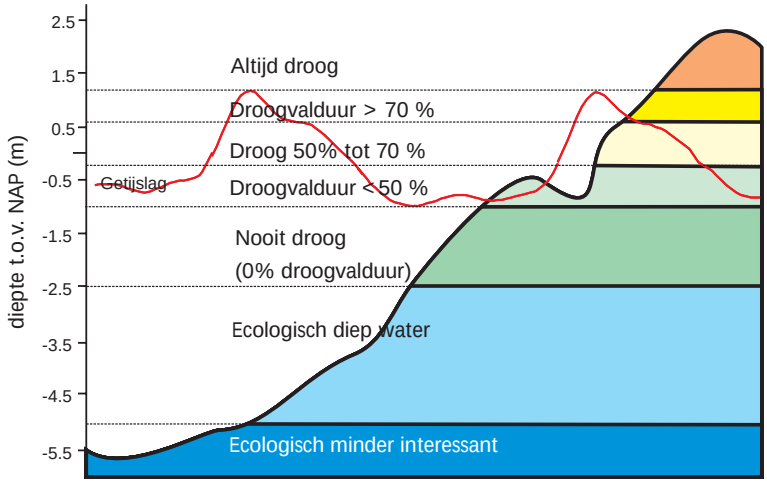
Sectie	Breedte gehele strand	Breedte droog strand	Gedrag
Slikken van Voorne (Voorne Km 7 –9)	367 tot 438 m toename	219-135 m afname	De totale strandbreedte neemt toe terwijl het droge strandbreedte afneemt. Dit betekent toename van de natte strandbreedte. Suppleties in 1977 en 1984 kunnen hieraan bijgedragen hebben.
Groene Punt (Voorne Km 9 –11)	115 – 147 m tot 1990 toename, daarna afname	40-14 m afname	Onregelmatig gedrag van het gehele strand. Suppleties in 1977, 1984 en 1987 kunnen dit deels veroorzaakt hebben. Na 1990 neemt de strandbreedte in zijn geheel af. Het droge strand laat dit heel duidelijk zien.
Rak van Scheelhoek (Voorne Km 11-15)	128-140 m tot 1990 toename, daarna lichte afname	29-54 m tot 1990 toename, daarna lichte afname	Er is een lichte toename tot 1990 waarna de strandbreedte enigszins afneemt.
Kwade Hoek (Goeree Km 2,8 – 10)	180-230 m toename	43-67 m lichte toename	Strandprofiel wordt in zijn geheel breder maar vooral het natte strand wordt breder.
Flaauwe Werk (Goeree Km 10-13)	602-922 m toename	374-474 m toename	De strandbreedte neemt in zijn geheel sterk toe.

Conclusie
Het globale beeld is:
- Brielse Gat (Slikken van Voorne tot aan Groene Punt): de strandbreedtes nemen toe door toename van het natte strandprofiel. Suppleties kunnen hieraan bijgedragen hebben
- Groene Punt: het strand vertoont tot 1990 een onregelmatig gedrag, mogelijk veroorzaakt door suppleties. Na 1990 wordt het strand smaller.
- Rak van Scheelhoek: de strandbreedte wordt na 1990 smaller.
- Goeree: de strandbreedte neemt in zijn geheel toe.

3.3.4 Locatie geulen en platen en areaal intergetijdengebied

Definitie dieptezones intergetijdengebied
De locatie van de platen en geulen en het areaal intergetijdengebied zijn belangrijke parameters voor de ecologische waarde van het gebied. De diepteverdeling van het gehele intergetijden gebied dat uit ecologisch oogpunt belangrijk is, staat gespecificeerd in tabel 3.4. Deze diepteverdeling is gerelateerd aan de tijd waarop een gebied, gedurende een getijslag, onder water staat (zie ook figuur 3.7). De gebieden die regelmatig onderwater staan of droog vallen zijn rijk aan verschillende plant- en diersoorten.
Voor het bepalen van deze dieptes is een gemiddelde getijcurve van het Haringvliet genomen; HW en LW zijn genomen van het tien-jaar slotgemiddelde in de getijtafels voor Nederland 2001 (slotgemiddelde 1991.0 – RWS, 2000). Hierbij is er met een vaste diepte t.o.v. NAP in de tijd gewerkt. Dit betekent dat de veranderingen van het areaal

intergetijdengebied door jaarlijkse getijvariaties verwaarloosd worden. Omdat de ontwikkeling van de ecologische waarde (m.n. fauna) niet met de dagelijkse variaties, maar geleidelijk verandert, lijkt een 10-jarig gemiddelde een voldoende nauwkeurige benadering.



Figuur 3.7.
Diepteverdeling van het intergetijdengebied voor het berekenen van arealen. De diepteverdeling is afhankelijk van de tijd gedurende een getijslag waarop het gebied onder water staat.

Tabel 3.3.
Dieptes t.o.v. NAP waarop het areaal intergetijdengebied gedefinieerd zijn.

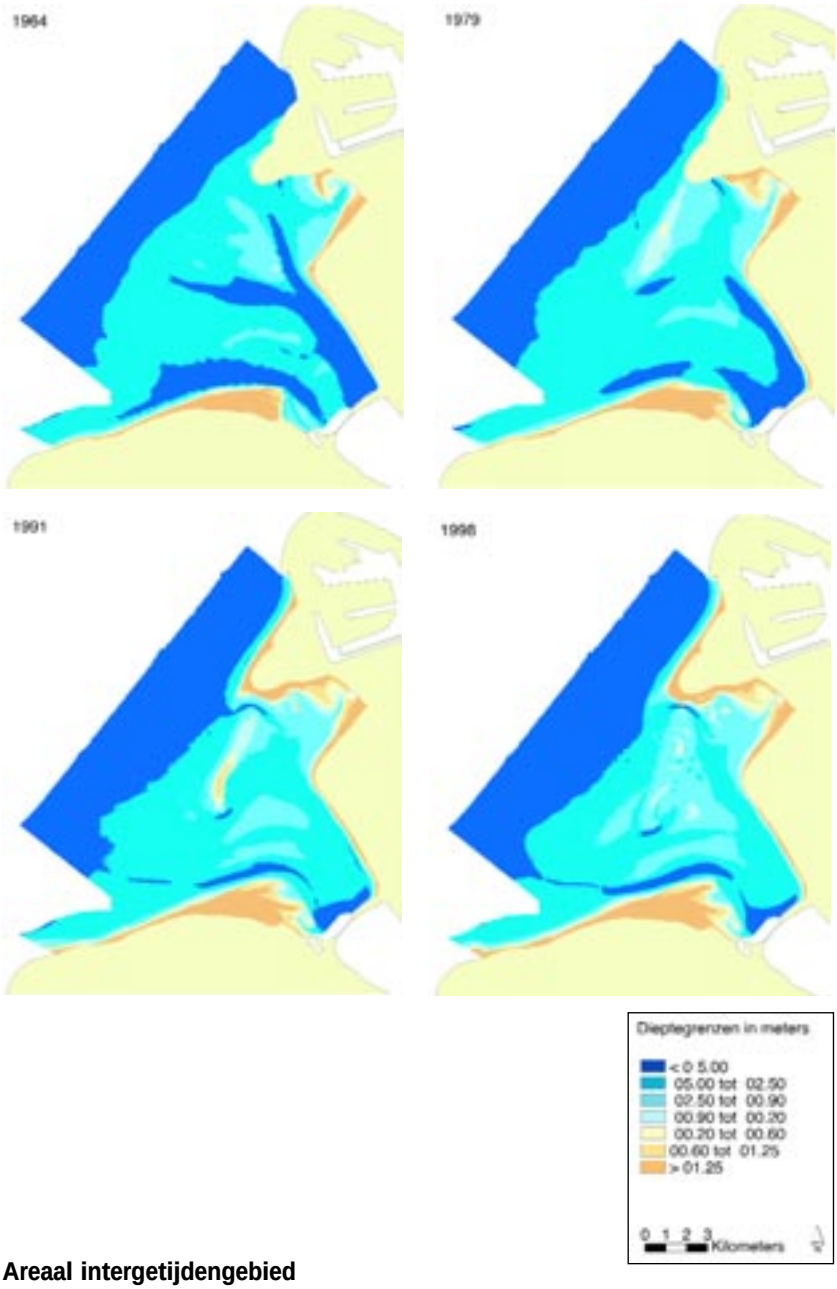
Ecologische waarde	Dieptes t.o.v. NAP
Ecologisch minder interessant	dieptes groter dan NAP-5m
Ecologisch diep water	NAP-5m tot NAP-2,5m
0% droogvalduur	NAP-2,5m tot NAP-0,90m
(het gebied is altijd nat)	
minder dan 50% droogvalduur	NAP-0,90 m tot NAP-0,20m
tussen 50% en 70% droogvalduur	NAP-0,20 m tot NAP+0,60m
hoger dan 70% droogvalduur	NAP+0,60m tot NAP+1,25m
100% droogvalduur	hoger dan NAP+1,25m
(het gebied is altijd droog)	

Ligging platen en geulen

Alle bodemopnames van de Haringvlietmonding zijn weergegeven volgens de diepteverdeling van tabel 3.3, (zie Bijlage 4). In figuur 3.8 worden vier typische momenten gegeven: 1964 (vóór de aanleg van de Haringvlietdam), 1979 (vóór de aanleg van de Slufterdam), 1990 en 1999 (beiden na de aanleg van de Slufterdam). Hieraan kan de verschuiving van de zones intergetijdengebied door de tijd (waaronder geulen en platen) gevolgd worden. Deze ontwikkeling is kwalitatief beschreven met speciale aandacht voor de ligging van geulen en platen. Daarvoor maken we onderscheid in drie perioden:

- Vóór sluiting (tot 1970)
  De monding wordt gedomineerd door de twee geulen. De noordelijke geul is de grootste, deze splitst zich verder ook in twee geulen. Tussen deze splitsing ligt de grootste plaat van het gebied (de Hinderplaat), die een NW-ZO oriëntatie heeft. Er zijn drie belangrijke geulen.
- Tussen sluiting en aanleg Slufterdam (1970-1986)
  De Hinderplaat wordt groter en verandert van oriëntatie naar NO-ZW. De noordelijke geul wordt ondieper. De Garnalenplaat wordt groter en verschuift naar het noorden. Hij heeft een bocht vorm, parallel aan de naastgelegen geul (Slijkgat). De zuidelijke geul blijft ongeveer op dezelfde lokatie. De noordelijke geul verzandt. De middelste geul eveneens.

- Na aanleg Slufterdam (1986-heden)
  De Hinderplaat draait tegen de richting van de klok in en wordt groter. Hij migreert verder landwaarts. De Zuidelijke plaat (Garnalenplaat Noord) wordt eveneens groter in oppervlak. Een nieuwe plaat met dezelfde vorm en oriëntatie verschijnt ten zuiden van de Garnalenplaat (Garnalenplaat Zuid). Alle drie de platen groeien aan elkaar vast, ze zijn alleen maar gescheiden door vloedgeulen (Bokkegat en Middengeul). Het intergetijdengebied in het Brielse Gat breidt eveneens uit. Van de oorspronkelijke drie geulen is alleen het Slijkgat nog in stand. Het Rak van Scheelhoek blijft op locatie maar zandt aan. Tussen de Hinderplaat en de Garnalenplaat-Noord ontwikkelt zich een complex van vloedscharen (Middengeul en Bokkegat).

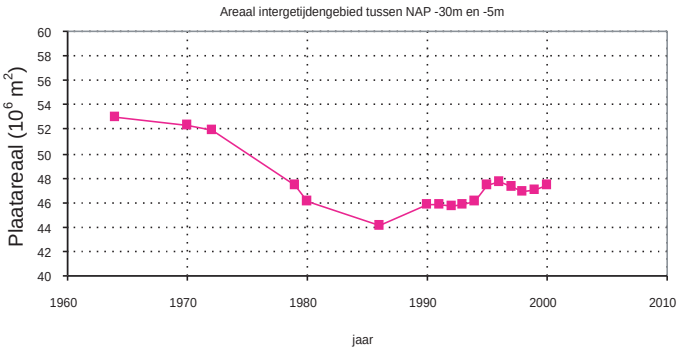


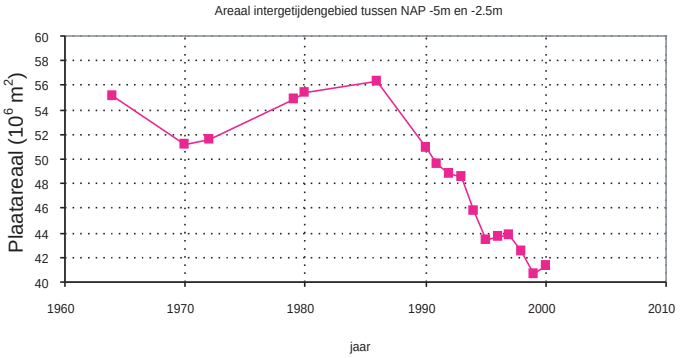
Figuur 3.8.
Areaal intergetijdengebied op vier karakteristieke momenten:
1964 (vóór sluiting), 1979 (na sluiting) 1991, 1998 (na Slufterdam).
De kaarten tonen de diepteverdeling conform tabel 3.3.

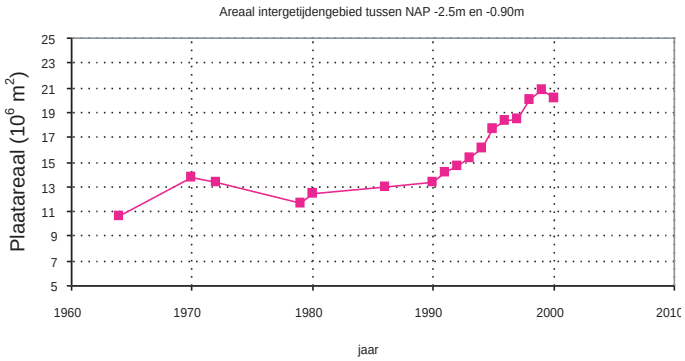
Areaal intergetijdengebied

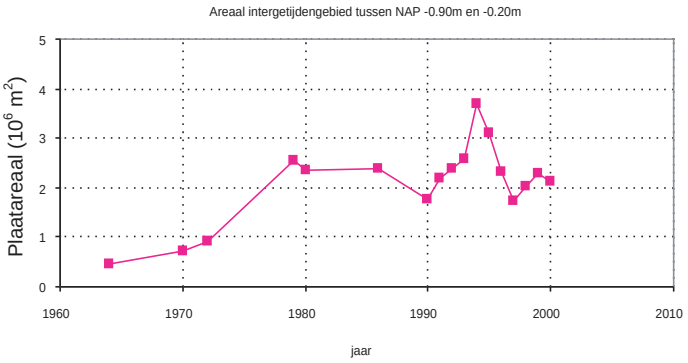
Het areaal intergetijdengebied op verschillende dieptes, gedefinieerd volgens tabel 3.3. is berekend voor de monding. Hierbij is het gebied van de monding zonder het strand genomen (de toeristische stranden zijn zelf namelijk niet ecologisch interessant). Als grens is de NAP-0,90 m dieptelijn aan de strandzijde genomen. Figuur 3.9 laat de ontwikkeling van het areaal per dieptezone zien.

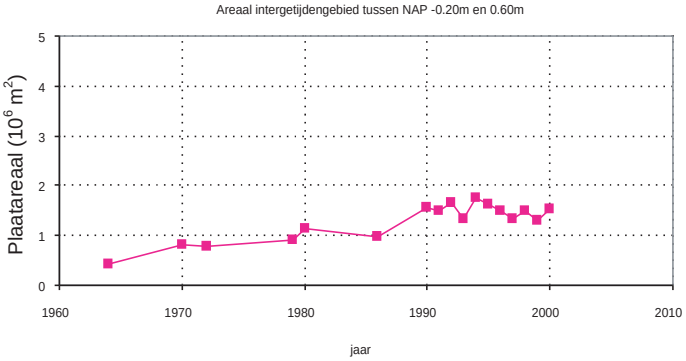
Figuur 3.9.
Ontwikkeling van het areaal intergetijdengebied tussen verschillende grenzen:
- < NAP-5m,
- NAP-5m - NAP-2,5m
- NAP-2,5 - NAP-0,9m
- NAP-0,9m - 0,2m
- NAP-0,2m - NAP+0,6m
- NAP+0,6m -NAP+1,25m
- > NAP+1,25m

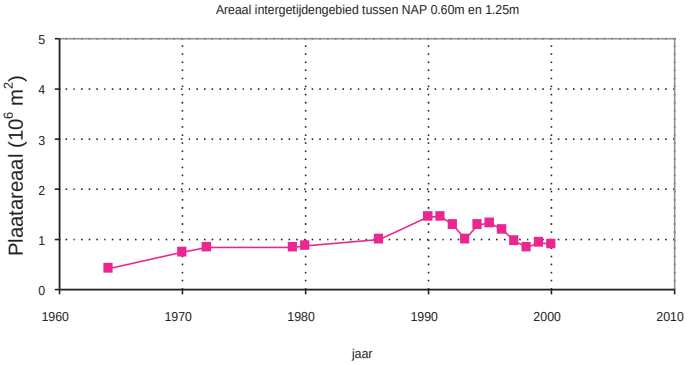






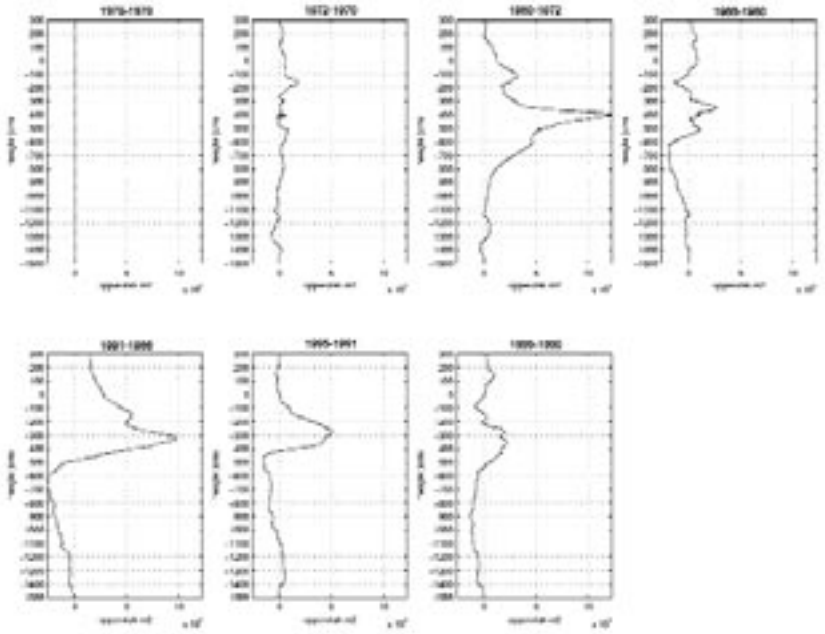






In Figuur 3.10 is de verandering van diepten tussen 1970 en 1999 getoond in de vorm van sedimentatie-erosie grafieken. In deze grafieken zijn de stranden wel meegerekend.

Figuur 3.10.
De sedimentatie-erosie grafieken Haringvlietmonding voor totale periode1970-1999 (uit Tönis, 2000).



Aan de hand van figuren 3.8 en 3.9 is de ontwikkeling van het areaal intergetijdengebied goed te analyseren. Het is globaal samengevat in tabel 3.4.

Tabel 3.4.
Ontwikkeling areaal intergetijdengebied 1970-1999

Sectie	Areaal
< NAP-5m,	Tot 1986 afname van ca. $9 \cdot 10^6$ m^2, daarna lichte toename van ca. $4 \cdot 10^4$ m^2
NAP-5m - NAP-2,5m	Tot 1986 toename, daarna sterke afname van $14 \cdot 10^6$ m^2
NAP-2,5m - NAP-0,9m	Lichte toename, vanaf 1990 sterkere toename van $10 \cdot 10^6$ m^2
NAP-0,9m - NAP-0,2m	Toename tot 1980; daarna stabiel met fluctuaties van ca. $1 \cdot 10^6$ m^2
NAP-0,2m - NAP+0,6m	Toename, vanaf 1990 lichte afname van $0{,}5 \cdot 10^6$ m^2
NAP+0,6m -NAP+1,25m	Toename, vanaf 1986 plotselinge toename daarna afname van ca. $0{,}5 \cdot 10^6$ m^2
> NAP+1,25m	Toename van enkele duizenden vierkante meters bij de Kwade Hoek. Hier is geen grafiek van opgenomen.

Conclusie

Het globale beeld is als volgt:

- Locatie en grootte van platen en geulen:
  Na 1970 groeien de platen in oppervlakte. De oriëntatie (m.n. de lengteas) van de belangrijkste plaat (de Hinderplaat) draait na 1970 van NO-ZW naar NW-ZO. De zuidelijke platen die verschijnen na 1970 (Garnalenplaat Noord en Zuid), worden eveneens groter. Zij hebben aanvankelijk een ‘bocht-vorm’, parallel aan de naastgelegen geul. De drie hoofdgeulen blijven op ongeveer dezelfde locatie, echter alleen het Slijkgat houdt een belangrijke diepte. Het Rak van Scheelhoek en de Middengeul zanden aan.

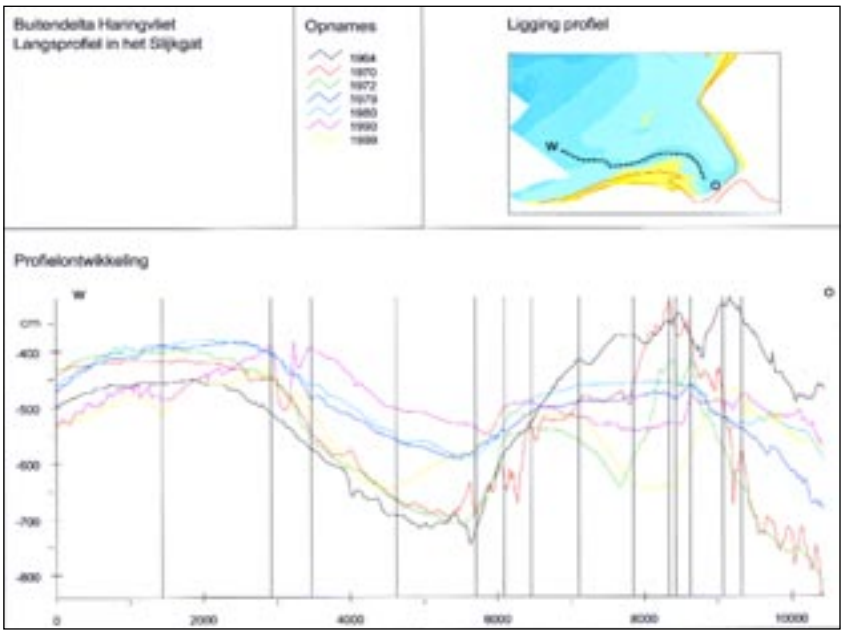
Na 1986 draait de Hinderplaat tegen de richting van de klok in, wordt groter en migreert verder landwaarts. De zuidelijke platen (Garnalenplaat Noord en Zuid) worden eveneens groter in oppervlak en groeien aan elkaar vast. Zij worden alleen nog gescheiden door vloedgeulen. Van de geulen blijft de locatie van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek in stand. Tussen de Hinderplaat en de Garnalenplaat-Noord ontwikkelt zich een complex van vloedscharen (Middengeul en Bokkegat).

- Areaal intergetijdengebied:
  De algemene tendens is dat het areaal verschuift naar hoger gelegen zones, van ecologisch diep water (dieper dan NAP-2.5m) vooral naar de dat nooit droogvalt (tussen NAP-2,5m en NAP-0,9m). Dit betekent dat geulen opvullen en het natte gedeelte van de platen groeit.
  Deze trend wordt nog sterker vanaf 1986. Vooral voor de afname in het gebied tussen NAP-5m en NAP-2,5m (geulen) en de toename van het gebied tussen NAP-2,5m en NAP-0,9m. De arealen die hoger liggen dan NAP-0,9m nemen eveneens toe.

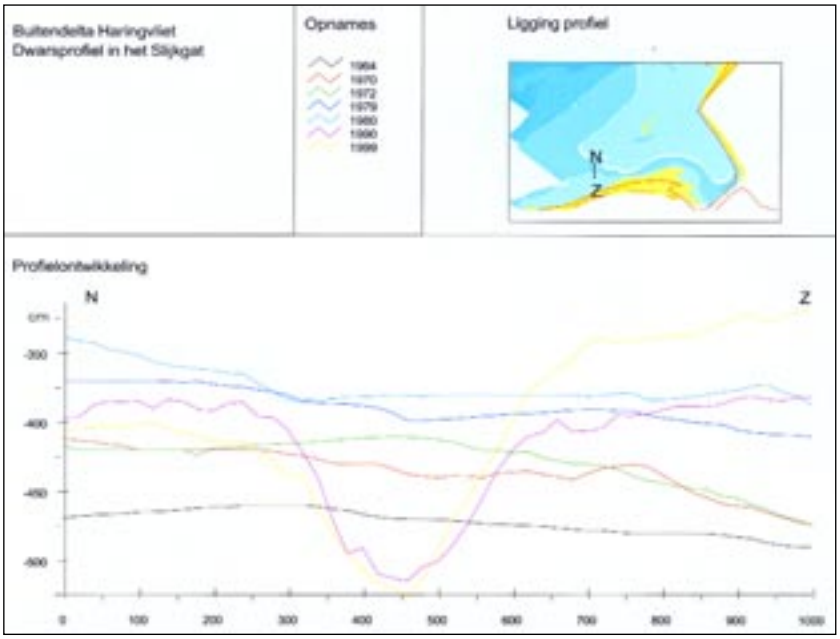
3.3.5 Vaargeul diepgang

Het Slijkgat wordt gebruikt als vaarweg naar de haven van Stellendam. Het Rijk garandeert een diepte NAP-4m (van Vessem, 1998). In het westelijk deel van het Slijkgat ligt een natuurlijke ondiepte (een drempel). In de vaargeul op de plaats van de drempel moet sinds 1983 jaarlijks gebaggerd worden om de gegarandeerde diepte tot de haven te behouden.

Figuur 3.11 laat een langsdoorsnede en een dwarsdoorsneden van de vaargeul zien. De verondieping links in de langsdoorsnede is de drempel. De verondieping rechts in de doorsnede wordt veroorzaakt door de Kwade Hoek. Omdat deze niet de hele geul doorkruist, vormt het geen hinder voor de scheepvaart. De profielen tussen 1964 en 1980 laten de natuurlijke ontwikkeling van de drempel zien. Na 1983 wordt de geul kunstmatig op diepte gehouden.
In de dwarsprofielen is te zien dat de drempel tussen 1964 en 1980 ca. 0,5 m hoger wordt. Na 1983 wordt de geul gebaggerd en kunstmatig op diepte gehouden.
De profielen tussen 1964 en 1980 laten mogelijk een landwaartse verplaatsing van de drempel zien. Na 1980 is dit niet meer te herkennen. Het gedrag van de drempel is niet goed te analyseren zonder gedetailleerde baggergegevens van het Slijkgat.



Figuur 3.11.
Drempel in het Slijkgat. De doorsneden tussen 1964 en 1980 laten de natuurlijke ontwikkeling van de drempel zien. Na 1983 wordt de geul kunstmatig op diepte gehouden.
a. langs de as
b. dwarsdoorsnedeas langs geul



3.4 Samenvatting

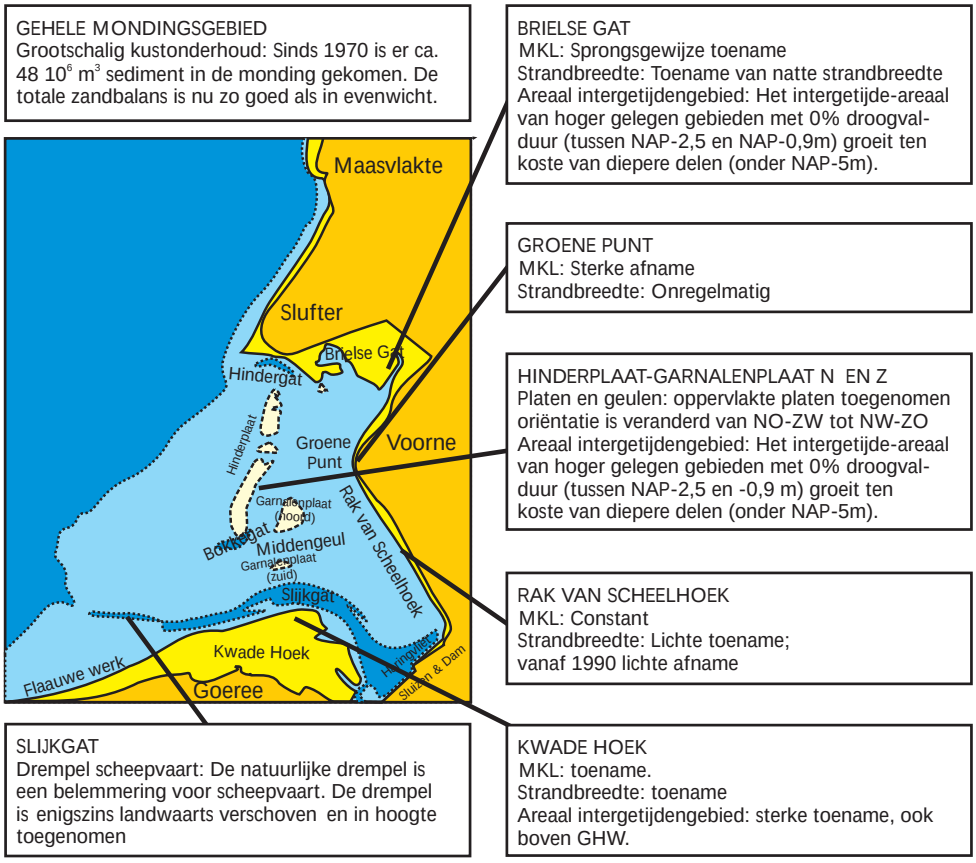
De beheersparameters tonen globaal het volgende gedrag:

- Sedimentvolume in de monding
  De ontwikkeling van het sedimentvolume in de monding tot aan NAP-10m geeft aan dat het evenwicht bereikt is. In de afgelopen 30 jaar is circa 48 10^6 m^3 sediment in het systeem gekomen. De karakteristieke aanpassingstijd na de sluiting (i.e. de tijd waarin 63% van het evenwichtsvolume is bereikt) van het Haringvliet is 11 jaar. In 2000 is 93% van het evenwicht bereikt.
- MKL
  Bij Voorne is gedurende de periode 1970-heden een divers beeld te zien; bij Oostvoorne neemt de MKL sprongsgewijs toe, bij de Groene Punt treedt erosie op en bij het Rak van Scheelhoek blijft de MKL constant. Bij Goeree neemt de MKL toe.
- Strandbreedte
  Ten noorden van de Groene Punt, bij het Brielse Gat, nemen de strandbreedtes tot ca.1990 toe, door toename van het natte gedeelte van het strandprofiel. Het droge strand neemt hier af. Het strand bij de Groene Punt toont een onregelmatig gedrag, mogelijk toe te schrijven aan suppleties. Ten zuiden van de Groene Punt, bij het Rak van Scheelhoek, neemt de strandbreedte voor 1990 licht toe en hierna licht af. De stranden van Goeree worden breder.
- Locatie en omvang van geulen en platen
  Na 1970 groeien de platen in oppervlakte. De oriëntatie van de belangrijkste plaat (de Hinderplaat) draait na 1970 van NO-ZW naar NW-ZO. Er verschijnen zuidelijke platen die aanvankelijk een ‘bochtvorm’ hebben, parallel aan de naastgelegen geul (Garnalenplaat Noord en -Zuid).
  Na 1986 draait de Hinderplaat tegen de richting van de klok in, wordt groter en migreert verder landwaarts. De Zuidelijke platen worden eveneens groter in oppervlak en groeien aan elkaar vast. Zij worden alleen door vloedgeulen gescheiden.
- Areaal intergetijdengebied
  De algemene tendens is dat het areaal verschuift naar hoger gelegen zones, van ecologisch diep water naar de zone met 0% droogvalduur. Dit betekent dat geulen opvullen en het natte gedeelte van de platen groeit. Na 1986 wordt deze trend nog sterker.

- Diepgang vaargeul
  De drempel in het Slijkgat is tussen1970 en 1980 hoger geworden. Na deze datum is de gebaggerde geul duidelijk herkenbaar. Mogelijk is de drempel in de periode tussen 1970 en 1980 enigszins landwaarts verschoven. Het gedrag van de drempel is echter niet goed te analyseren zonder gedetailleerde baggergegevens van het Slijkgat.

Figuur 3.12 geeft een samengevatte versie van de beheersparameters per deelgebied.

Figuur 3.12.
Gedrag beheersparameters Haringvlietmonding, voor de periode 1970-2000.



4 Conceptueel model

4.1 Aanpak

Het conceptueel model van de Haringvlietmonding beschrijft de belangrijkste hydrodynamische en morfologische processen in de huidige situatie, die op de termijn van 10 tot 50 jaar van invloed zijn op de beheersparameters. De waargenomen morfologische veranderingen worden gekoppeld aan fysische processen. Het gedrag van de beheersparameters uit hoofdstuk 3 wordt verklaard. Er is bewust gekozen om dit conceptueel model uitsluitend te baseren op kaartmateriaal en algemene stroom- en golfmetingen en niet op modelresultaten.

Achtereenvolgens wordt in dit hoofdstuk aandacht gegeven aan:
- de ingrepen in het gebied van de Haringvlietmonding,
- de hydrodynamica en het sediment transport in de huidige situatie,
- de gevolgen hiervan voor de ontwikkeling van de beheersparameters en de hypotheses die hieraan ten grondslag liggen.

4.2 Ontwikkeling 1950-heden

Kenmerkend voor de huidige situatie zijn de ingrepen die sinds ca. 1950 zijn uitgevoerd (zie tabel 4.1).

Tabel 4.1.
Ingrepen in en rondom de Haringvlietmonding

Jaar	Ingreep
1950	Afdamming van de Brielse Maas
1966	afsluiting van het Brielse Gat
1958-1970	de bouw van de Haringvlietdam; dit is in twee fases gebeurd: • de bouw van de spui- en schutsluizen aan de zuidkant van de keel (1957-1968), • de bouw van de dam aan de noordkant van de keel (1968-1970).
1964-1976	aanleg van de Maasvlakte
1986-1987	aanleg van het baggerspecie depot de ‘Slufter’
	Ingrepen rondom de Haringvlietmonding
1971	afsluiting van de Grevelingen
1966-69	aanleg en verdieping van de Euro-Maasgeul

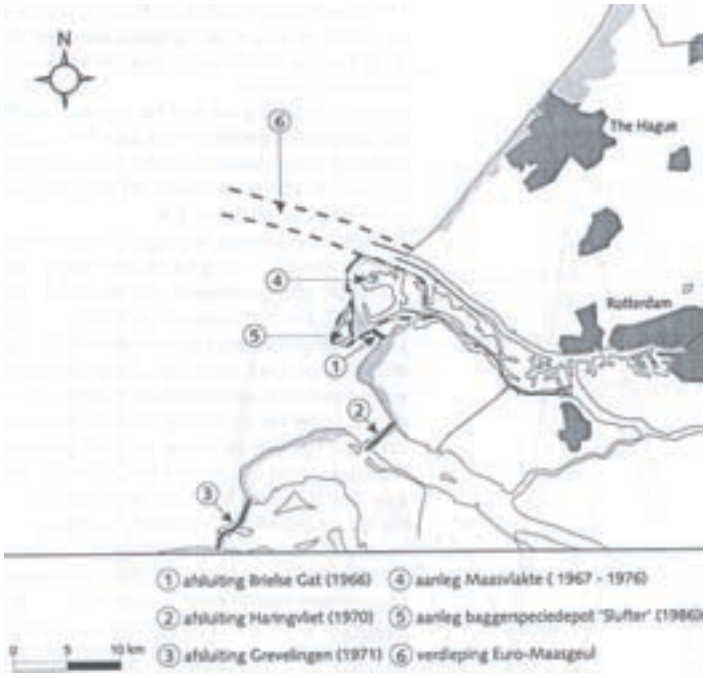
Figuur 4.1. toont een kaart van Zuidwest Nederland uit 1939 van het gebied zonder ingrepen. De Brielse Maas is daar nog te zien als volwaardige rivier en er is onbelemmerde in- en uitstroom in de Haringvlietmonding. Figuur 4.2. toont een geschematiseerde weergave van alle ingrepen.



Figuur 4.1.
Zuidwest Nederland in 1939. Er zijn nog amper ingrepen in het gebied gepleegd; de Brielse Maas stroomt als rivier naar zee en er is onbelemmerde in- en uitstroming in de Haringvlietmonding. Een noemenswaardig detail is dat deze kaart een Duitse versie is die gebruikt werd voor de invasie van Nederland in 1939.

De ontwikkeling van het gebied van de Haringvlietmonding is verschillende malen beschreven (Spek, van der, 1987, Louters et al. 1991, Biegel, 1994, Arends, 1997, van Vessem, 1998, Steijn, 1998). In een recente studie (Tönis 2000 en Tönis et al. 2002) is gebruik gemaakt van extra gedigitaliseerde bodemgegevens om de ontwikkeling van de monding vanaf 1970 te bestuderen. De totale digitaal beschikbare bodemgegevens bevatten nu 17 opnames: 1964, 1970, 1972, 1979, 1980, 1986 en 1990 t/m 2000.

In grote lijnen kan men de volgende periodes onderscheiden (gebaseerd op van der Spek, 1987) (zie ook figuur 4.3):



Figuur 4.2.
Haringvlietmonding met locatie van ingrepen vanaf 1950 (Arends, 1997).

Figuur 4.3.
Veranderingen in de Haringvlietmonding.
Periode 1950-1965: aanzanding, sluiting Brielse Maas en vorming van de Westplaat.
Periode 1965-1970: grote ingrepen: Brielse Gat, Maasvlakte, Europoort en afsluiting Haringvliet.
Periode 1970-heden: de monding gaat naar een nieuw evenwicht. De Slufter dam wordt nog aangelegd.



Figuur 5.3

1950-1965: aanzanding
Het gebied van de monding zandt aan. Deze trend is al ingezet in het begin van de twintigste eeuw (Haring, 1955) en heeft waarschijnlijk een natuurlijke oorzaak. De kust bouwt zeewaarts uit, het oppervlak intergetijdengebied verdubbelt. Na afdamming van het Brielse Gat groeien de platen in de monding in een jaar tijd aaneen tot een grote plaat: de Westplaat. In deze periode is de aanzanding gemiddeld $1{\cdot}10^6$ m^3 per jaar. Het Gat van de Hawk (onmiddellijk ten zuiden van de Westplaat) en het Bokkegat blijven stabiel. De tussenin gelegen Zeehondenplaat (nu de Hinderplaat) erodeert. Er wordt een start gemaakt met de bouw van de spui- en schutsluizen in het Haringvliet.

1965-1970: ingrepen
In deze periode vinden de grote ingrepen plaats: de afsluiting van het Brielse Gat, de aanleg van de Maasvlakte, de aanleg van Europoort en de afsluiting van het Haringvliet. Van deze ingrepen is de laatste waarschijnlijk de belangrijkste. De afsluiting gebeurt in twee delen. Eerst worden de spuisluizen in de zuidelijke helft aangelegd (1957-1968). Het water kan gedurende deze tijd alleen nog via de noordelijke geul stromen. Wanneer dit voltooid is wordt het noordelijk deel afgesloten (1970).
De Maasvlakte wordt deels aangelegd op de Westplaat. Door de afsluiting wordt de monding als geheel ondieper. De Hinderplaat (eerst de Zeehondenplaat) neemt in oppervlak toe en wordt langgerekter. De geulen beginnen te verzanden. Bij de Kwade Hoek groeit de kust in oostelijke richting aan.

1970-heden: een nieuw evenwicht
Het Haringvliet is geheel gesloten. Hierdoor is de relatieve invloed van het getij afgenomen en die van golfstroming toegenomen. Het zand van de oorspronkelijk uitgebouwde buitendelta wordt door golfwerking kustwaarts gebracht. Het gebied werkt zelf ook als een zandvang voor sediment dat vanaf het noorden en zuiden langs de kust wordt getransporteerd.
De enige ingreep in deze periode is de aanleg van het baggerspeciedepot ‘de Slufter’. De dam van het depot is opgebouwd uit zand. Uit volume-

berekeningen van het gebied rondom de Slufter, wordt geschat dat het volume zand dat hiervoor kunstmatig in het gebied is gebracht circa $20 \cdot 10^6$ m^3 is (Tönis et al. 2002).

4.3 Huidige situatie

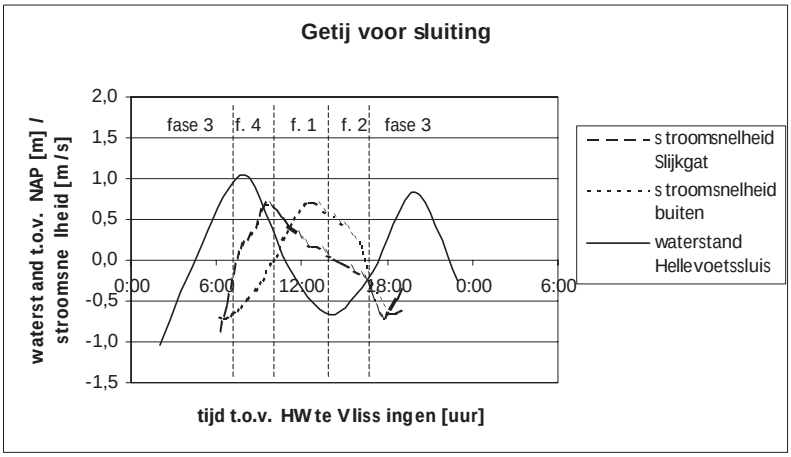
De monding lijkt nagenoeg een dynamisch evenwicht te hebben bereikt. Zand import neemt nog nauwelijks toe. Wel zijn er verschuivingen en veranderingen van geulen en platen. Kwantitatieve informatie is ontleend aan Arends (1997), Steijn (1998) en Steijn (2000).
Voor een conceptueel model van de huidige situatie wordt hierna onderscheid gemaakt tussen getij-gerelateerde processen, golf gerelateerde processen en extreme omstandigheden (storm en hoge rivier afvoeren).

4.3.1 Getij

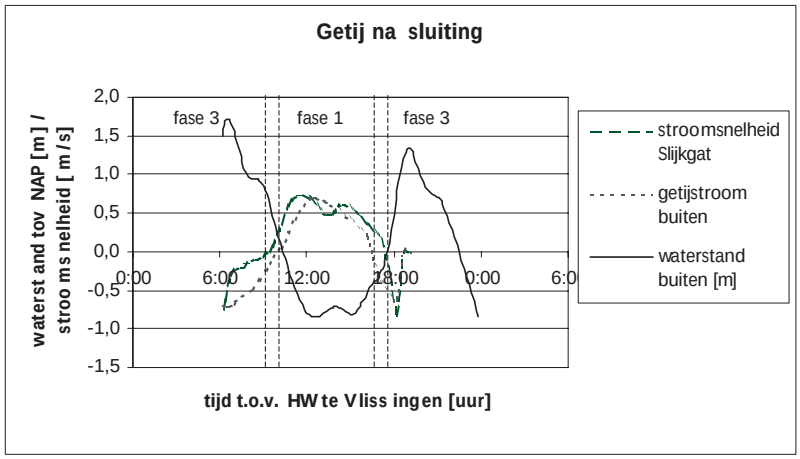
Vóór de sluiting was het Haringvliet een lang bekken. Het getijvolume (de som van eb- en vloeddebieten) was ca. $53 \cdot 10^6$ m^3. Het huidige getijvolume (dit beperkt zich eigenlijk tot het spuidebiet) is in de orde van $22 \cdot 10^6$ m^3 (Van Vessem, 1998). De getijslag in de monding is ca. 2,4m.

Figuren 4.4 en 4.5 tonen de verandering in het getijklimaat vóór en na afsluiting.
Voor de sluiting waren de watersnelheden minder dan 90° uit fase met de waterstanden (zie figuur 4.4). Dit werd veroorzaakt door het effect van de bodemwrijving. Het gevolg hiervan was dat, terwijl het buitengaats (in de Noordzee) eb was, het binnengaats nog vloed was (zie figuur 4.5). Dit is het klassieke gedrag voor de zeegaten van het Deltagebied zoals beschreven door Sha en van der Berg (1993).

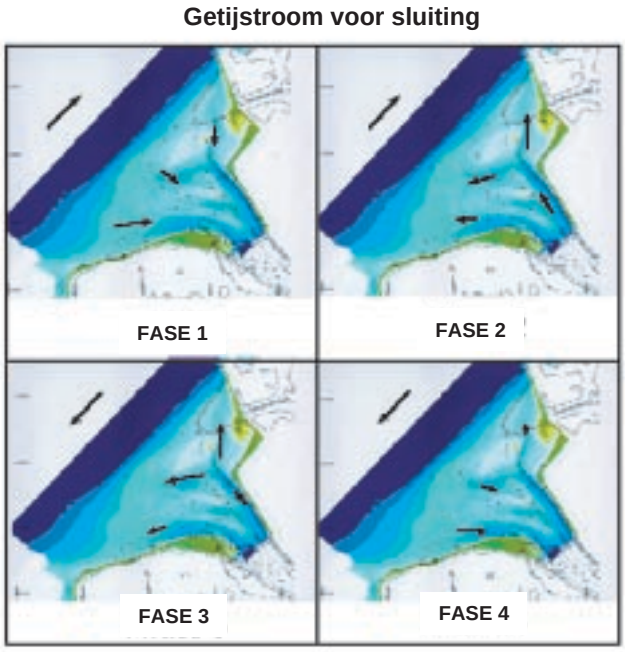
Na sluiting is de monding van het Haringvliet een kort bekken geworden en zijn watersnelheden precies 90° uit fase met de waterstanden. Eb en vloed treden gelijktijdig op buiten de monding en in de hoofdgeul van de monding (Slijkgat). Binnen de monding ontstaat er nu een soort rondstroming om de Hinderplaat.

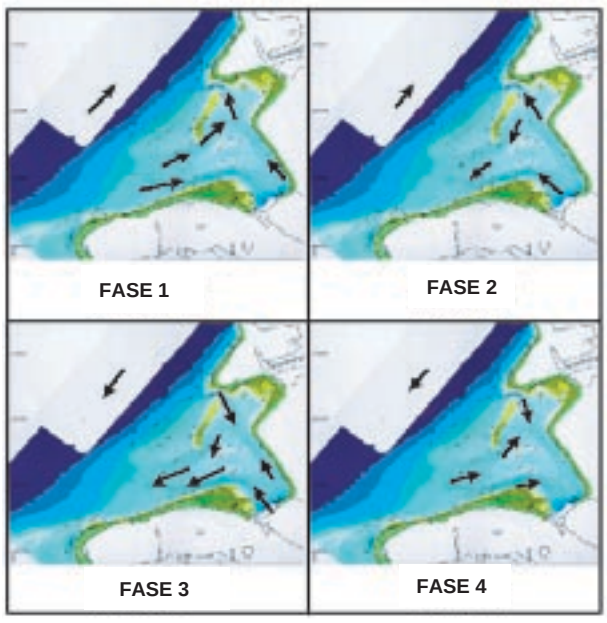


Figuur 4.4.
Stroomsnelheid getij (Tönis et al. 2002) vóór en na afsluiting. De stroomsnelheden uit 1967 zijn gebaseerd op 13 uur stroommetingen. De getijsnelheden nu zijn gebaseerd op modelberekeningen.



Figuur 4.5.
Schema van getij in de Haringvlietmonding vóór en na afsluiting (Tönis 2000). Dit schema is gebaseerd op metingen uit de stroomatlas.



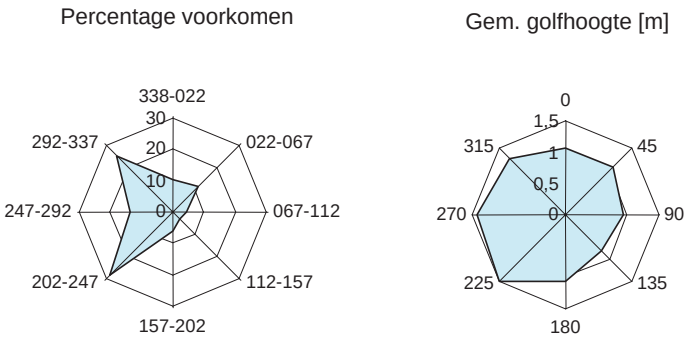


De sluiting van de Haringvliet heeft vooral het getijklimaat ingrijpend veranderd. Het resultaat hiervan is dat anno 2000:

- het Hindergat eb-gedomineerd is (dit is te zien aan de aanwezigheid van een kleine ebdelta aan de buitenzijde van het Hindergat). Hierdoor gaat het sediment dat vanaf de kust van de Maasvlakte het gebied binnen komt, niet via het Hindergat de monding binnen. Mogelijk wordt het langs de Hinderplaat via het Bokkegat en Middengeul de monding in gevoerd om bij het Brielse Gat en het Rak van Scheelhoek terecht te komen.
- het Bokkegat en de Middengeul beiden vloed-gedomineerd zijn (eveneens te zien aan de vorm). Sediment wordt door beide geulen naar binnen getransporteerd. Dit kan terecht komen in het Brielse Gat en het Rak van Scheelhoek.
- het Slijkgat eb-dominant is. Sediment wordt naar buiten gebracht. Door spiraalstroming in de bocht van het Slijkgat zal er erosie optreden in de Garnalenplaat-Zuid.

4.3.2 Golven

De meest voorkomende golfstroming is vanuit het noordwesten en zuidwesten. De hoogste golven worden veroorzaakt door zuidwestelijke stormen (zie figuur 4.6.). Golven uit het noordwesten vallen loodrecht in de monding. Zuidwestelijke golven kunnen het gebied rondom de Groene Punt van Voorne aantasten. De minder voorkomende westelijke golven zullen een noordwaarts gerichte golfstroming veroorzaken. Relatief hoge golven uit het noorden komen ook voor; zij zullen een zuidwaarts gericht golftransport veroorzaken.



Figuur 4.6.
Gemiddelde golfhoogte t.p.v. Lichteiland Goeree, gemeten in de periode 1979-1998.

Het gevolg is dat anno 2000:

- er een zuidelijk gericht golfgedreven zandtransport vanaf de Slufter is. Dit is zichtbaar doordat een kusthaak als verlengde van de Slufterdam waar te nemen is (zie ook foto in figuur 3.1). Dit is ook consistent met de vorm van het noordelijke deel van de Hinderplaat (in literatuur zoals Steijn, 1991, getypeerd als ‘drumstick’). Het eb gedomineerde Hindergat zorgt voor zand ‘by-pass’ naar de Hinderplaat.
- er langs de Hinderplaat een golfgedreven sedimenttransport optreedt. Indien men het golfklimaat uit figuur 4.6. beschouwt lijkt een noordwaarts gericht transport door golven vanuit het zuidwesten en westen het meest waarschijnlijk.
- de Hinderplaat verder wordt opgebouwd door golven uit het noordwesten die loodrecht op de plaat invallen (transport door golfasymmetrie). Bij hoge waterstanden zullen er ‘washovers‘ voorkomen en wordt de plaat weer afgebroken. Dit is zichtbaar aan het profiel van de plaat. Het zuidelijke deel hiervan is het hoogste. De maximale plaathoogte nam toe tot 1991, om daarna af te nemen. Golven zorgen ook dat de plaat kustwaarts migreert. Volgens Tönis (2000) is het hoogste punt van de plaat tussen 1980 en 1999, 1500m landinwaarts verschoven.

- vanaf het Flaauwe Werk en de punt van Goeree golfgedreven sediment het gebied binnenkomt. Veel wordt afgezet in de Kwade Hoek. Het samenspel van golfgedreven sedimenttransport richting sluizen en de ebstroming uit het Slijkgat zorgt voor de haak-vorm van de zandbanken aan de Kwade Hoek.

4.3.3 Storm

Stormen uit het zuidwesten kunnen effect hebben op de kust van Voorne waar zij duinafslag veroorzaken. Gezien het golfklimaat in figuur 4.6 zal tijdens zuidwestelijke stormen en hoogwater, water over de Garnalenplaat, Middengeul en Bokkegat stromen en afslag van de Groene Punt en omgeving veroorzaken.

4.3.4 Extreme afvoer

De gemiddelde Rijnafvoer is ca. 2200 m^3/s. Daarvan gaat, getijgemiddeld, slechts ca. 550 m^3/s door het Haringvliet. Extreme afvoeren zijn echter hoger dan 6000 m^3/s (Van Vessem, 1998).
Wanneer er hoge spuidebieten voorkomen, zal water voornamelijk via het Slijkgat stromen. Daar zal het zorgen voor erosie van de zuidelijke rand Garnalenplaat Zuid en aanzanding bij de Kwade Hoek.
Bij extreme spuidebieten (bij extreme afvoer) kan water behalve door het Slijkgat ook door de Middengeul gaan. Hier zorgt het voor aanzanding van de noordelijke rand van de Garnalenplaat Zuid en erosie van de Garnalenplaat Noord. Door bochtstroming erodeert de Garnalenplaat Noord aan de zuidzijde en groeit de Garnalenplaat Zuid aan.
Dwarsdoorsneden door de Garnalenplaat bevestigen dit (Tönis, 2000).

4.4 Conclusies

Als bovengenoemde processen in samenhang met de beheersparameters worden beschouwd (§ 3.4) kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

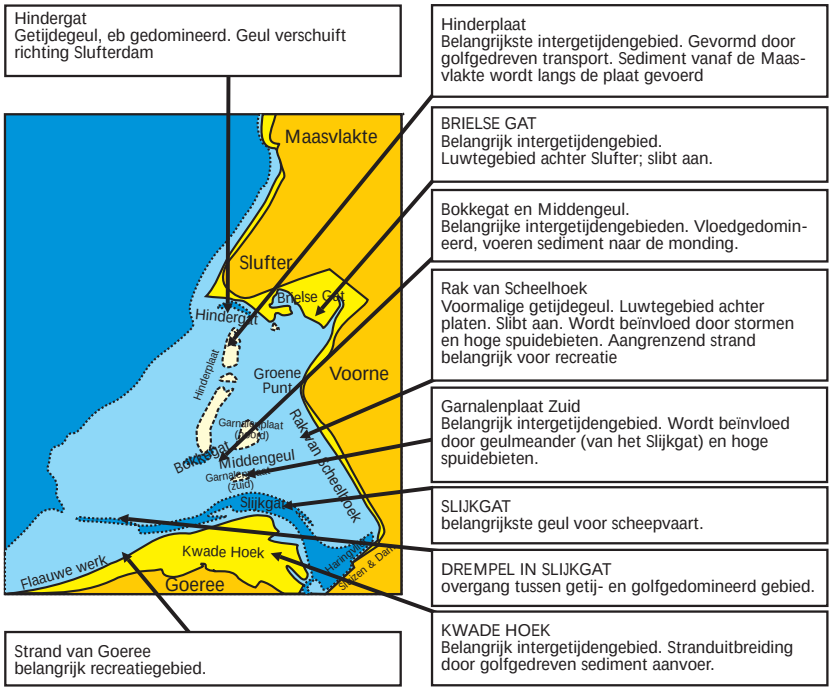
- Sedimentvolume in de monding
  Het volume neemt nog maar licht toe (in 2000 ca. $0{,}3 \cdot 10^6$ m^3/j - Tönis, 2000). Dit komt hoogst waarschijnlijk door golfgedreven transport vanuit het noorden langs de Maasvlakte en langs de Slufter en vanuit het zuiden langs het Flaauwe Werk.
- MKL:
  Bij Oostvoorne neemt de MKL toe, waarschijnlijk omdat dit in de luwte ligt van platen en van de Slufterdam. Het sediment is afkomstig vanuit de Maasvlakte, wordt langs de Hinderplaat getransporteerd en komt via de Middengeul naar binnen. Omdat het een luwtegebied is zal er ook slib sedimenteren.
  Bij de Groene Punt neemt de MKL af, waarschijnlijk door stormen uit het zuidwesten.
  Bij het Rak van Scheelhoek neemt de MKL licht toe, waarschijnlijk omdat dit gebied ook in de luwte van de Slufterdam en de platen ligt.
  Bij Goeree neemt de MKL toe; de aanvoer van golfgedreven sediment vanuit Goeree is hier de oorzaak van.
- De strandbreedte
  Bij het gebied voor de kust van Voorne neemt de strandbreedte toe, net zoals de MKL omdat het in de luwte ligt van de platen en van de Slufterdam. Dat vooral de natte strandbreedte toeneemt (o.a. Brielse Gat) geeft aan dat het strandprofiel zelf erg flauw is en waarschijnlijk uit fijn sediment bestaat. Bovendien zal de golfinvloed relatief klein zijn. Stormen kunnen afslag bij de Groene Punt veroorzaken; dit is in overeenstemming met de afnemende strandbreedte.

De strandbreedte bij de kust van Goeree groeit aan door golfgedreven transport vanaf de punt van Goeree.

- Het areaal intergetijdengebied
  Het areaal in het Brielse Gat groeit, eveneens door getijgedreven sediment via het Bokkegat en golfgedreven sediment via het Hindergat dat hier bezinkt. Het areaal intergetijdengebied van de Hinderplaat groeit door de binnenbocht werking van het Bokkegat. Aan de Garnalenplaat-Zuid groeit het areaal door binnenbochtwerking van de Middengeul. Wanneer er hoge spuidebieten voorkomen, zal water voornamelijk via het Slijkgat stromen. Daar zal het zorgen voor erosie van de zuidelijke rand Garnalenplaat Zuid en aanzanding bij de Kwade Hoek. Het zal waarschijnlijk ook via de Middengeul stromen en zorgen voor aanzanding van de noordelijke rand van de Garnalenplaat Zuid en erosie van de Garnalenplaat Noord.
- Vaargeul diepgang:
  De drempel in het Slijkgat is een natuurlijke verondieping ontstaan als een kleine delta van het eb gedomineerde Slijkgat. De drempel lijkt landwaarts te zijn verschoven.

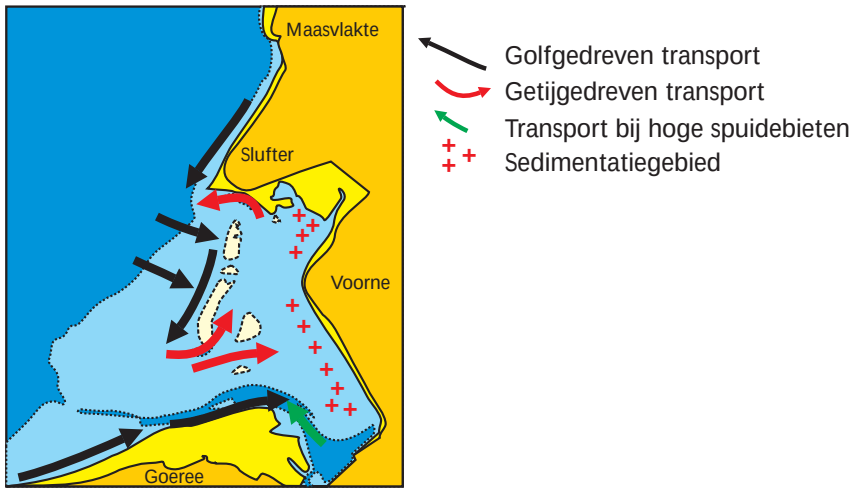
Bovenstaande analyse staat samengevat in figuur 4.7.

Figuur 4.7.
Functies die een rol spelen bij de Haringvlietmonding anno 2000.



4. 5 Conceptueel model en hypotheses periode 2000-2005

Een conceptueel model van het gebied kan uitgedrukt worden als een kaart met de belangrijkste fysische processen en sedimenttransportrichtingen. Dit wordt gegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.8.
Schema van de maatgevende fysische processen in de Haringvlietmonding.

Het conceptuele model in Figuur 4.8 geldt voor de periode 2000-2005 (wanneer De Kier wordt ingesteld). De belangrijkste hypotheses die hieraan ten grondslag liggen zijn:

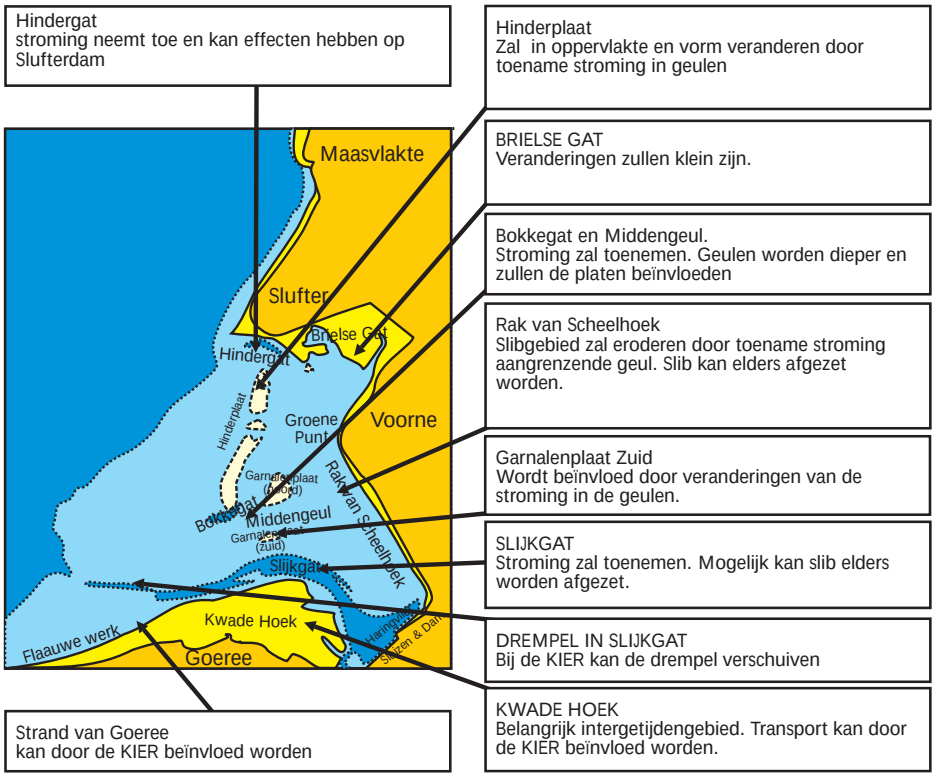
1. Zandaanvoer door golftransport vanaf het noorden en het zuiden is de belangrijkste bron van zand voor het gebied.
2. Het Hindergat is eb gedomineerd; waardoor zand 'by-passing' van de Maasvlakte naar de Hinderplaat mogelijk is.
3. Langs de Hinderplaat treedt zuidwaarts gericht golfgedreven transport op.
4. Noordwestelijke golven die loodrecht op de monding invallen, spelen een belangrijke rol in de opbouw van de Hinderplaat.
5. Er komt wat golfgedreven sediment via het Hindergat binnen. Dit wordt veroorzaakt door golven uit het westen en zuidwesten.
6. Het gebied in de luwte van de Hinderplaat en Garnalenplaat-Noord en Zuid ondervindt nauwelijks stroming. Alleen stormen uit het zuidwesten kunnen het gebied om de Groene Punt aantasten.
7. Bokkegat en Middengeul zijn vloed gedomineerd. Door het Bokkegat wordt sediment naar binnen getransporteerd.
8. Slijkgat is eb gedomineerd en transporteert sediment naar buiten.
9. Bij hoge spuidebieten gaat het water behalve door het Slijkgat ook door de Middengeul.
10. De drempel in het Slijkgat lijkt landwaarts te verschuiven in de periode 2000-2005 en te verondiepen.

Deze hypotheses kunnen modelmatig en via metingen getest worden. Metingen en modelstudies zullen binnen het K2005*Voordelta project (zie hoofdstuk 2) uitgevoerd worden.

4.6 Effect van de Kier

Wanneer in 2005 de Kier ingaat zal dit van invloed zijn op de huidige ontwikkeling van de monding. De precieze effecten zijn veelal nog onzeker. In grote lijnen kan echter aangenomen worden dat de dagelijkse getijstroming door de geulen toe zal nemen. Stormen en extreme spuidebieten zullen ongeveer hetzelfde blijven. Het resultaat is dat de verhouding tussen dagelijkse omstandigheden en extreme omstandigheden zal veranderen. De toename van het gemiddeld debiet zal de diepte van de geulen ook doen toenemen. Aangrenzende platen zullen kleiner van omvang worden, slib zal opwoelen en weggevoerd worden. Waarschijnlijk zijn de veranderingen het grootst bij het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. Figuur 4.9 geeft een overzicht van de hoofdlijnen van veranderingen. Dit moet opnieuw als een hypothese worden beschouwd. Een verdere doorvertaling van het conceptuele model naar de toekomst (in termen van beheersparamers) zal binnen K2005*Voordelta plaats vinden.

Figuur 4.9.
Mogelijke effecten van de KIER op de Haringvlietmonding gedurende de eerste vijf jaar na wijziging van het spuiregime (voor instelling getemd getij).



5 Overzicht en vervolgstappen

De belangrijkste functies in het gebied van de Haringvlietmonding (veiligheid en kustlijnhandhaving, recreatie, ecologie en scheepvaart) zijn uitgedrukt in zes beheersparameters. Gedurende de periode na de sluiting van de Haringvliet tot nu (1970-2000) hebben deze beheersparameters globaal het hieronder beschreven gedrag getoond.

- Sedimentvolume in de monding
  De ontwikkeling van het sedimentvolume in de monding tot aan NAP-10m geeft aan dat het evenwicht bereikt is. In de afgelopen 30 jaar is circa 48 10^6 m^3 sediment in het systeem gekomen. De karakteristieke aanpassingstijd na de sluiting (i.e. de tijd waarin 63% van het evenwichtsvolume is bereikt) van de Haringvlietmonding is 11 jaar. In 2000 is 93% van het evenwicht bereikt.
- MKL
  Bij Voorne is een divers beeld te zien; bij Oostvoorne neemt de MKL sprongsgewijs toe, bij de Groene Punt treedt erosie op en bij het Rak van Scheelhoek blijft de MKL constant. Bij Goeree neemt de MKL toe.
- Strandbreedtes
  Ten noorden van de Groene punt, bij het Brielse Gat, nemen de strandbreedtes tot ca.1990 toe, door toename van het natte gedeelte van het strandprofiel. Het droge strand neemt hier af. Het strand bij de Groene Punt toont een onregelmatig gedrag, mogelijk veroorzaakt door suppleties. Ten zuiden van de Groene Punt, bij de Rak van Scheelhoek, neemt de strandbreedte voor 1990 licht toe en hierna licht af. De stranden van Goeree worden breder.
- Locatie en omvang van geulen en platen
  Na 1970 groeien de platen in oppervlakte. De oriëntatie van de belangrijkste plaat (de Hinderplaat) draait na 1970 van NO-ZW naar NW-ZO. Er verschijnen zuidelijke platen die aanvankelijk een ‘bochtvorm’ hebben, parallel aan de naastgelegen geul (Garnalenplaat Noord en -Zuid). Na 1986 draait de Hinderplaat tegen de richting van de klok in, wordt groter en migreert verder landwaarts. De zuidelijke platen worden eveneens groter in oppervlak en groeien aan elkaar vast. Zij worden alleen door vloedgeulen gescheiden.
- Areaal intergetijdengebied
  De algemene tendens is dat het areaal verschuift naar hoger gelegen zones, van ecologisch diep water (tussen –5m en –2.5 m) naar de zone die nooit droogvalt (tussen –2.5m en –0.9m). Dit betekent dat geulen opvullen en het natte gedeelte van de platen groeit. Na 1986 wordt deze trend nog sterker.
- Vaargeul diepgang
  De drempel in het Slijkgat is tussen 1970 en 1980 hoger geworden. Daarna is een gebaggerde geul in dit gedeelte van het Slijkgat duidelijk herkenbaar. Mogelijk is de drempel in de periode tussen 1970 en 1980 enigszins landwaarts verschoven. Het gedrag van de drempel is echter niet goed te analyseren zonder gedetailleerde baggergegevens van het Slijkgat.

Conceptueel model.

Het conceptuele model is enkel gebaseerd op de data analyse en wordt uitgedrukt als een kaart met transportrichtingen en een serie hypotheses over de belangrijkste processen.
De belangrijkste hypotheses waarop dit conceptuele model berust zijn:

1. *door golfgedreven transport vanaf het noorden en het zuiden is de belangrijkste bron van zand voor het gebied.*
2. *Het Hindergat is eb gedomineerd; waardoor zand 'by-passing' van de Maasvlakte naar de Hinderplaat mogelijk is.*
3. *Langs de Hinderplaat treedt zuidwaarts gericht golfgedreven transport op.*
4. *Noordwestelijke golven die loodrecht op de monding invallen, spelen een belangrijke rol in de opbouw van de Hinderplaat.*
5. *Er komt wat golfgedreven sediment via het Hindergat binnen. Dit wordt veroorzaakt door golven uit het westen en zuidwesten.*
6. *Het gebied in de luwte van de Hinderplaat en Garnalenplaat-Noord en Zuid ondervindt nauwelijks stroming. Alleen stormen uit het zuidwesten kunnen het gebied om de Groene Punt aantasten.*
7. *Bokkegat en Middengeul zijn vloed gedomineerd.*
8. *Slijkgat is eb gedomineerd.*
9. *Bij hoge spuidebieten gaat het water behalve door het Slijkgat ook door de Middengeul.*
10. *De drempel in het Slijkgat lijkt landwaarts te verschuiven en te verondiepen.*

De huidige analyse van de morfologische ontwikkelingen van de Haringvlietmonding vanaf de sluiting heeft een conceptueel model opgeleverd dat geconfronteerd kan worden met LT-model resultaten. In het project K2005*Voordelta zullen metingen uitgevoerd worden om enkele bovengenoemde hypotheses te testen (confrontatie meetdata en conceptueel model). Ook modelresultaten en meetdata zullen in de toekomst met elkaar geconfronteerd worden. Al deze vervolgstappen leveren een bijdrage aan de doelstelling vermeld in paragraaf 1.3 en het beheersprobleem in paragraaf 1.1.

6 Literatuur referenties

Arends, A.A., 1997, Toepassing van evenwichtsrelaties op de Haringvlietmond, RIKZ rapport RIKZ-97.021.

Berg, G. van den Blom, G., Wijngaarden, M. van en Méndez Lorenzo, A. , 2002, Werkplan werkgroep Morfologie en Kwaliteit, Werkdocument RIKZ/2002.102x.

Biegel, E.J., 1994, Morfologische veranderingen voormalig delta van het Haringvliet tussen 1990 en 1993, Werkdocument RIKZ/OS-95.105x.

Dunsbergen, D.W., 2002, Programmaplan KUST 2005 vastgesteld voor het jaar 2002, Werkdocument RIKZ/OS/2002.102X.

Dunsbergen, D.W., 2001a, Programmaplan KUST 2005 Deel 1: Productomschrijving voor het jaar 2001, Werkdocument RIKZ/OS/2001.106X.

Dunsbergen, D.W., 2001b, Programmaplan KUST 2005 Deel 3: Projectplannen van alle projecten die zijn ondergebracht in KUST 2005 in het jaar 20001, Werkdocument RIKZ/OS/2001.106X.

Gerritsen, F., Dunsbergen, D.W., Israël, C.G., 2002, A rational stability approach for tidal inlets, including analysis of the effect of wave action, accepted in Journal of Coastal Research.

Haring, J.,1955, Zandbalansen van de zuidwestelijke wateren van Nederland over de perioden 1872, 1933 en 1933-1952. Rapport no. 3, Directie Benedenrivieren, Rijkswaterstaat.

Hartsuiker, G., Wang, Z.B., Steijn, R.C.,1999, Morfologische ontwikkelingen in het Zeegat van Ameland: toetsing van hypothesen, rapport samenwerkingsverband Alkyon / Delft Hydraulics, A450/ Z2652.

Kok, J. M. de, 2000, Slibtransport in de Maasmond. RIKZ rapport RIKZ/2000.027

Kustnota, 1990, Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijnzorg Ministerie van Verkeer en Waterstaat Tweede kamer, 1989-1990, 21 136

Louters, T. Mulder, J.P.M., Postma, R. en Hallie, F.P., 1991, Changes in morphological processes due to the closure of the tidal inlets in SW Netherlands, Journal of Coastal Research, vol 7. no. 3, pp. 635-652.

Mulder, J.P.M., 2000, Zandverliezen in het Nederlandse kustsysteem , advies voor dynamisch handhaven in de 21ste eeuw, RIKZ/2000.36.

Rakhorst, H.D., 1999, Evaluatie zeewaartse kustverdediging : Texel - dam Eierland; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland (RWS, NH).

Rijkswaterstaat, 1996/1997, Jaarboek monitoring Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, 1998, Milieu-effecten rapportage over een ander beheer van de Haringvlietsluizen.

Sha, L.P. en Berg van der, J.H., 1993, Variation in ebb-tidal delta geometry along the coast of the Netherlands and the German Bight, Journal of Coastal Research, no. 9 vol. 3, pp. 730-746.

Spek van der, A.J.F., 1987, Beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen, nota GWAO-87.105.

Steetzel et al, 1995, Voorspelling ontwikkeling kustlijn en buitendelta's Waddenkust over de periode 1990-2040, WL rapport H1887, project Kustgenese.

Steijn, R. 1991, Some considerations on tidal inlets, WL Delft Hydraulics, H 840, project Kustgenese.

Steijn, R.C., 1998, Morfologie Haringvlietmond: Lange termijn voorspellingen, in opdracht van het samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten.

Steijn, R.C., 2000, Morfologisch onderzoek Maasvlakte 2, onderhoud zachte weringen, grootschalige ontgrondingen en aanzanding Maasgeul, in opdracht van EC-PMR.

Steijn, R.C., 2000, Vier mogelijke beheersingrepen in het Zeegat van Texel. Morfodynamische modelberekeningen, rapport samenwerkingsverband Alkyon / Delft Hydraulics, A514/Z2742.

Tönis, I., 2000, Haringvlietmonding: op zoek naar evenwicht, werkdocument RIKZ/OS/2000.39x.

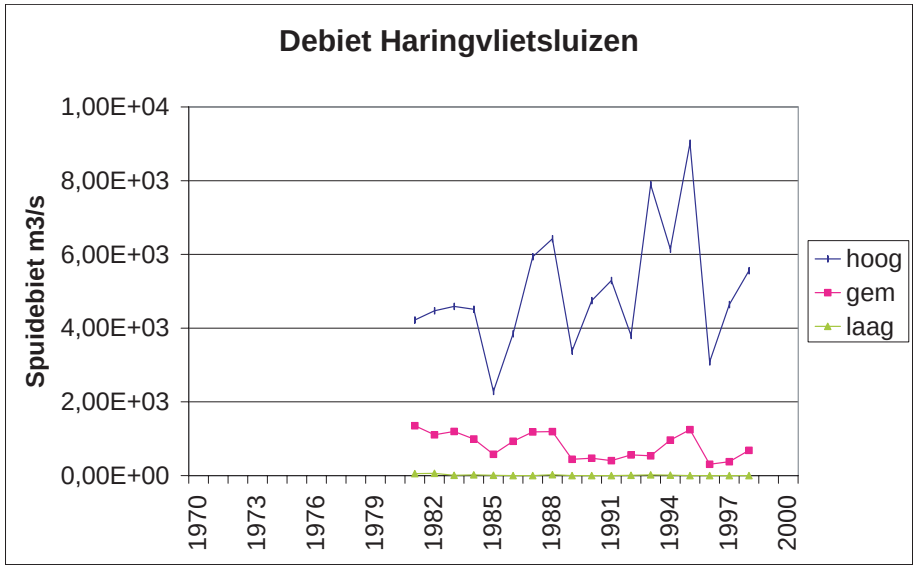
Tönis, I., Stam, J.M.T., van de Graaff, J., 2002, Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970, Journal of Coastal Egineering 44, pp 191-203.

Vessem, van, P., 1998, Morfologie monding Haringvliet, verandering van een dynamisch onderwaterlandschap, rapport RIKZ-98.016, deelrapport MER Beheer Haringvlietsluizen.

Bijlage 1
Afvoer Haringvliet 1970-2000

Overzicht van de afvoer door de Haringvlietsluizen tussen 1981 en 1998.
Bron: Tienjarig overzicht Rijkswateren.

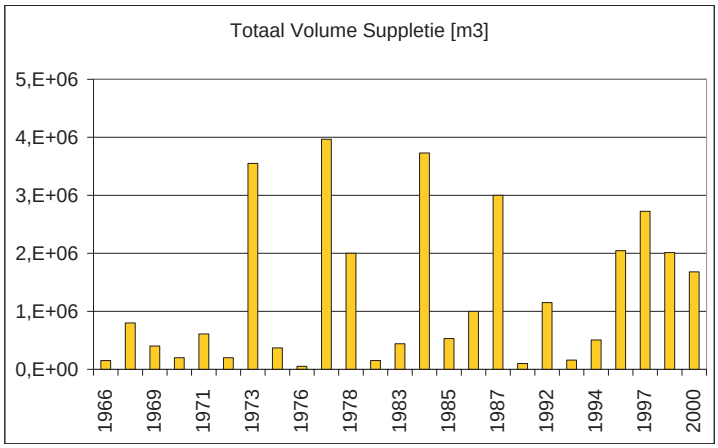
Jaar	Hoog m^3/s	Gemiddeld m^3/s	Laag m^3/s
1981	4220	1353	55
1982	4470	1106	60
1983	4590	1196	10
1984	4510	994	20
1985	2285	577	10
1986	3848	931	0
1987	5936	1186	0
1988	6425	1195	24
1989	3378	441	0
1990	4744	471	0
1991	5292	405	0
1992	3804	560	7
1993	7893	536	21
1994	6144	965	14
1995	9015	1246	0
1996	3086	307	0
1997	4641	379	0
1998	5557	685	0
1999	4504	1015	0
2000	4279	806	49
2001	4964	1050	45



Bijlage 2
Suppletie- en baggergegevens 1970-2000

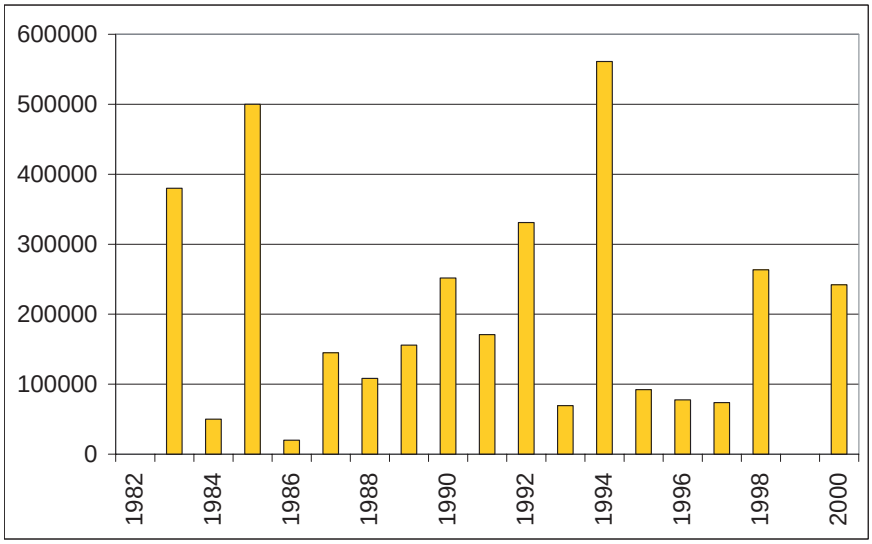
Overzicht van suppleties per kustsectie en per jaar voor de Haringvlietmonding.

kustvak	jaar	beginraai	eindraai	gemeten [m^3]	
Brielse Gat	1979	11,50	13,40	150.000	
Slufterdam	1991	9,00	10,40	100.000	
Slufterdam	1992	9,01	10,11	1.150.000	
Slufterdam	1996	7,00	10,15	2.045.197	
Slufterdam	1997	6,50	10,02	2.724.113	
Slufterdam	1998	7,00	8,30	1.266.254	
Slufterdam	2000	7,81	10,02	580.000	
Slufterdam	2000	6,41	10,54	1.100.000	onderwatersuppletie
Voorne	1973	10,50	12,50	250.000	
Voorne	1974	12,60	13,60	370.000	
Voorne	1977	8,80	12,50	1.045.000	
Voorne	1977	8,80	12,50	55.000	depot
Voorne	1983	11,60	14,40	440.000	
Voorne	1984	8,00	14,00	3.400.000	
Voorne	1986	14,40	15,40	1000.000	
Voorne	1987	9,40	13,40	3000.000	depot
Voorne	1993	11,80	13,60	160.000	
Goeree	1966	15,00	17,00	150.000	
Goeree	1968	13,00	15,00	800.000	
Goeree	1969	15,01	16,01	401.000	
Goeree	1970	4,00	6,00	200.000	
Goeree	1971	15,01	16,01	610.000	
Goeree	1972	16,50	17,25	100.000	
Goeree	1972	18,75	19,00	100.000	
Goeree	1973	14,50	17,50	2.300.000	
Goeree	1973	14,50	17,50	1000.000	
Goeree	1976	18,50	19,00	50.000	
Goeree	1977	5,75	9,75	1.600.000	
Goeree	1977	14,50	17,50	1.267.000	
Goeree	1978	9,75	11,25	2.000.000	
Goeree	1984	14,50	17,50	330.000	
Goeree	1985	14,50	17,50	530.000	
Goeree	1994	10,25	12,00	505.678	
Goeree	1998	9,00	19,00	745.376	
TOTAAL				$31,5\ 10^6$	

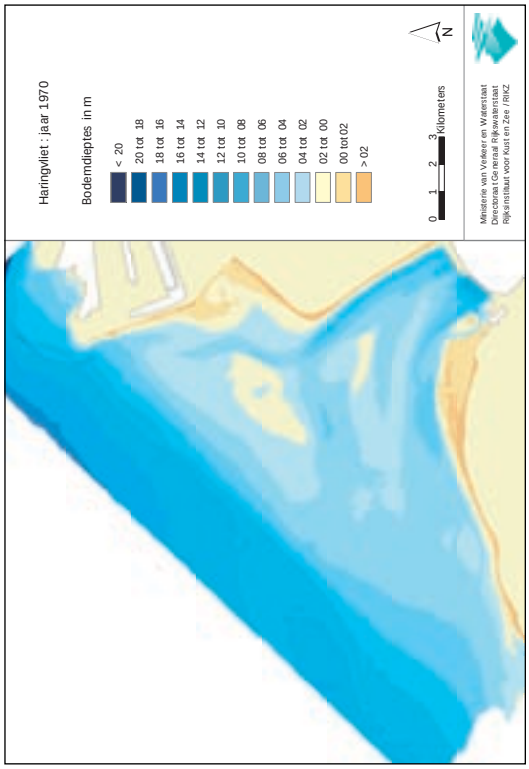


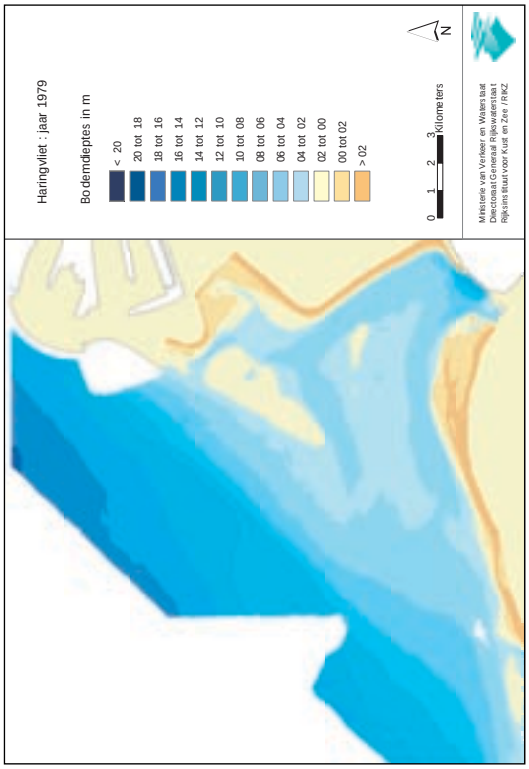
Overzicht van baggerhoeveelheden in de Haringvlietmonding.

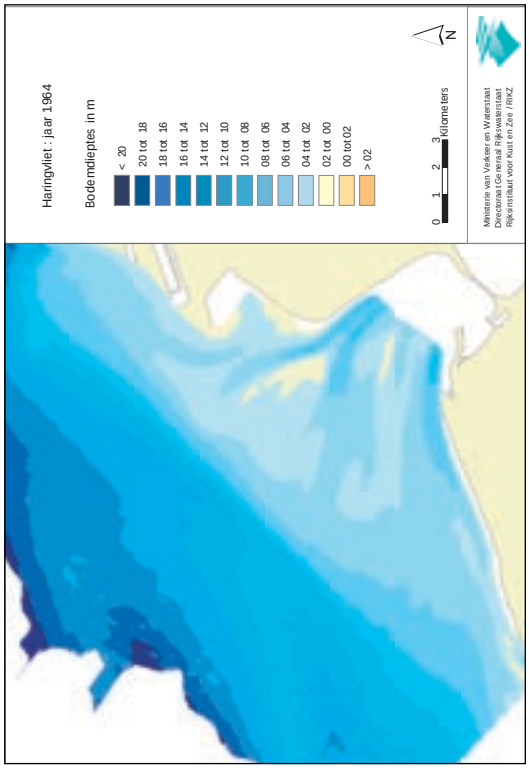
jaar	netto	baggerhoeveelheid [m^3]	gestort in stortvakken [m^3]
1983	380000	380000	
1984	50000	50000	
1985	500000	500000	
1986	20000	20000	
1987	145000	145000	
1988	108324	465909	357585
1989	155743	155743	
1990	251719	251719	
1991	170818	170818	
1992	331078	404605	73527
1993	69330	98825	29495
1994	561137	858943	297806
1995	92112	326221	234109
1996	77634	77634	
1997	73601	73601	
1998	263489	263489	
1999	0	0	
2000	242104	242104	

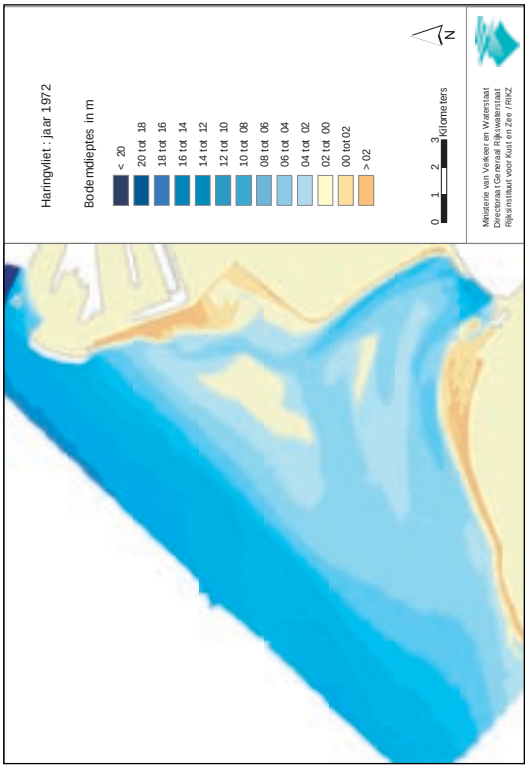


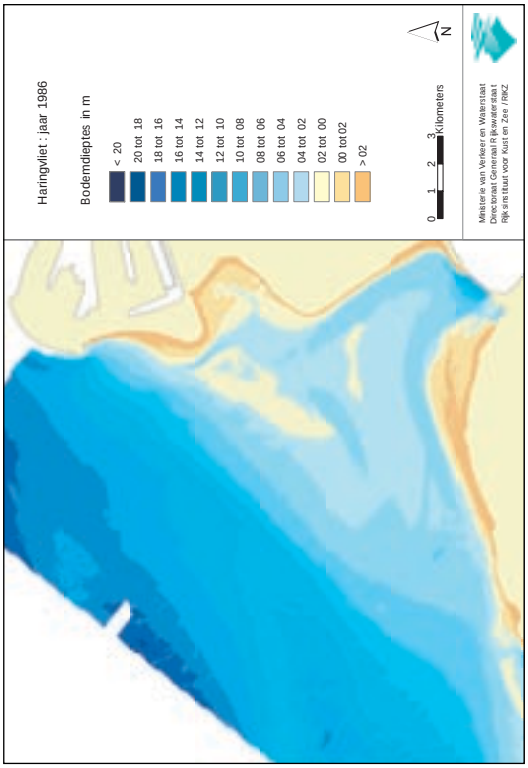
Bijlage 3
Bodems Haringvlietmonding 1964-2000

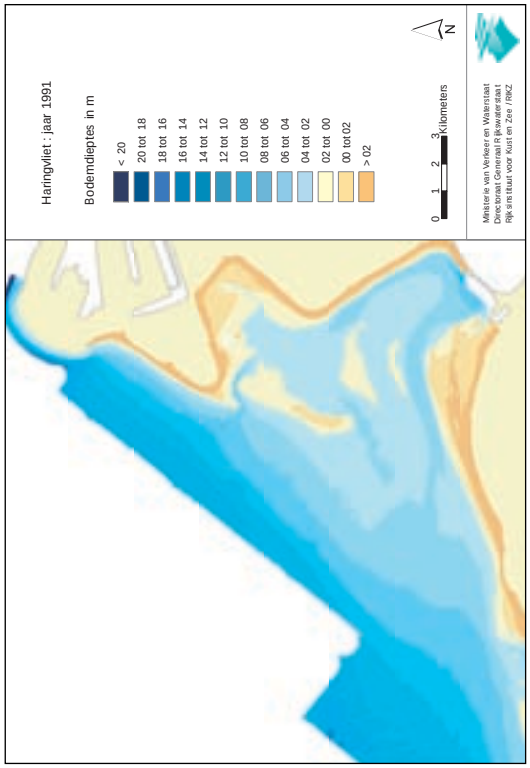


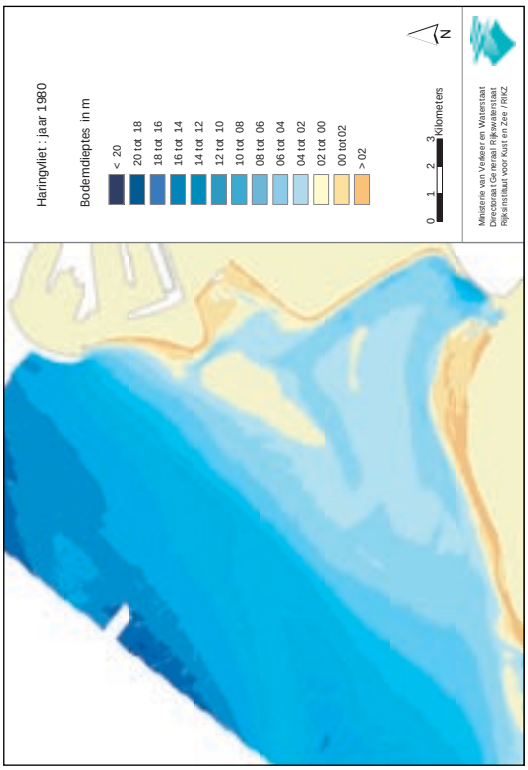


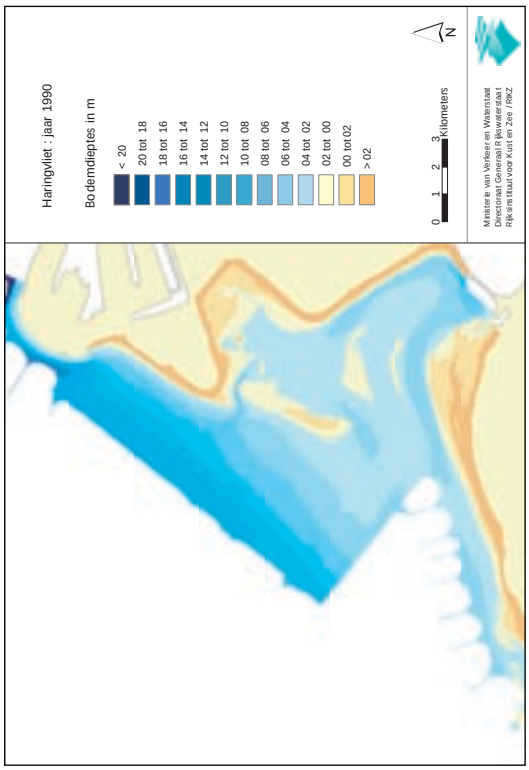


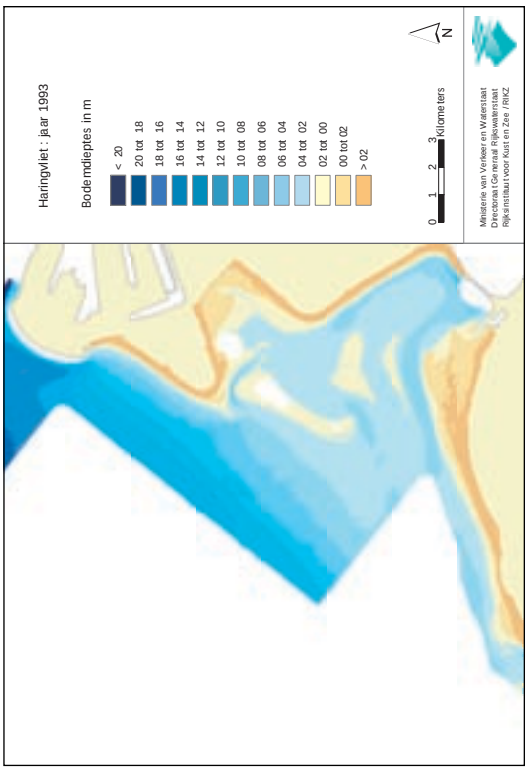


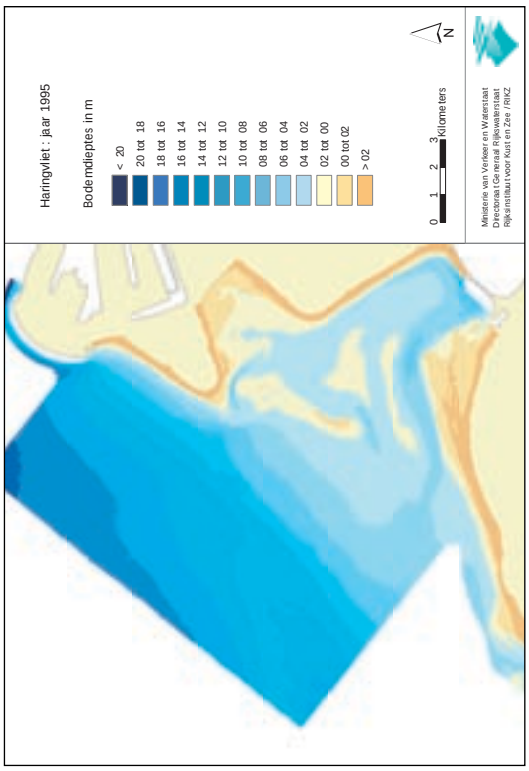

Haringvliet : jaar 1986
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

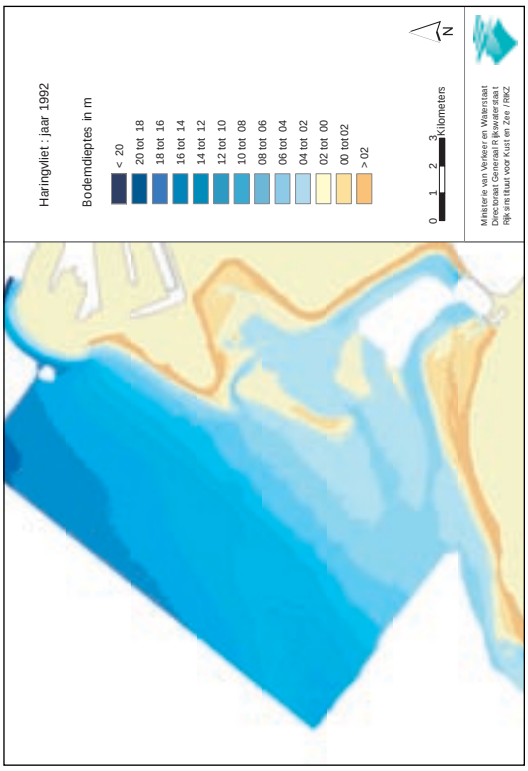

Haringvliet : jaar 1991
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

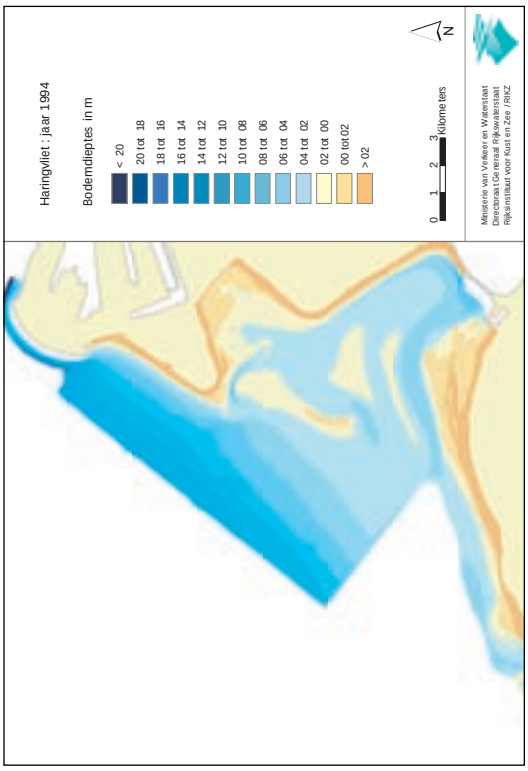

Haringvliet : jaar 1980
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

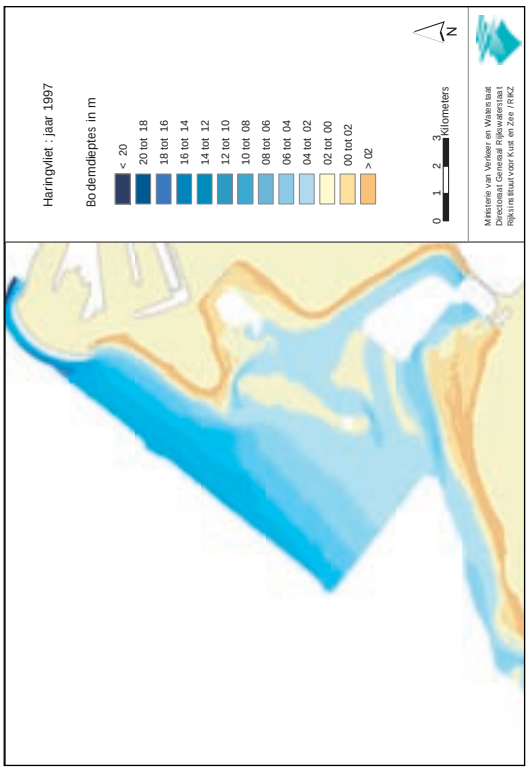

Haringvliet : jaar 1990
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

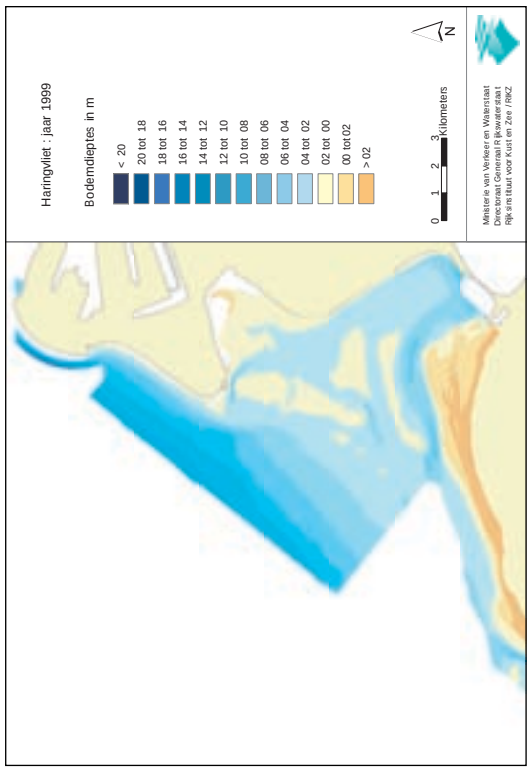

Haringvliet : jaar 1993
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

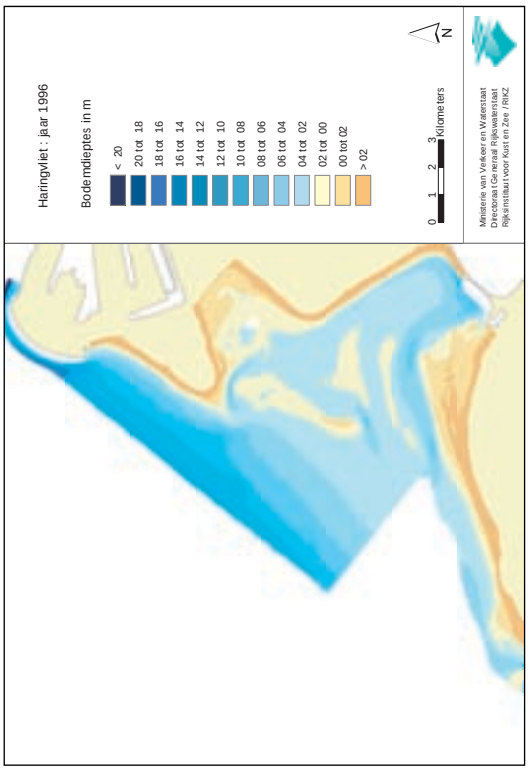

Haringvliet : jaar 1995
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

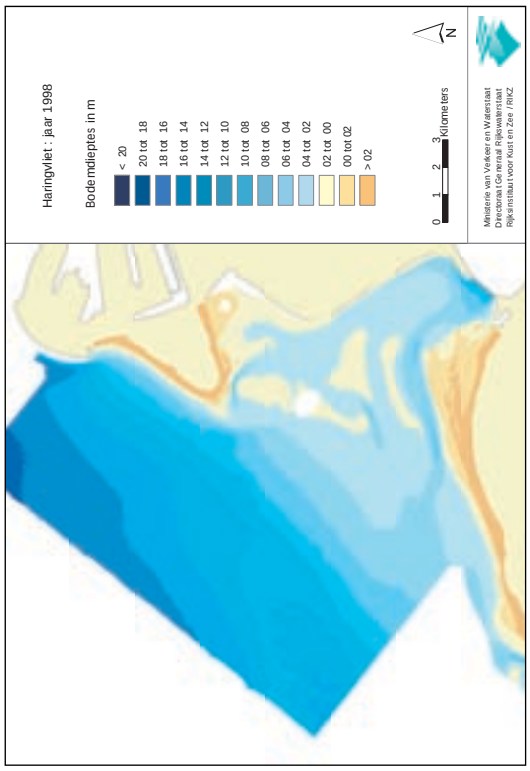

Haringvliet : jaar 1992
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

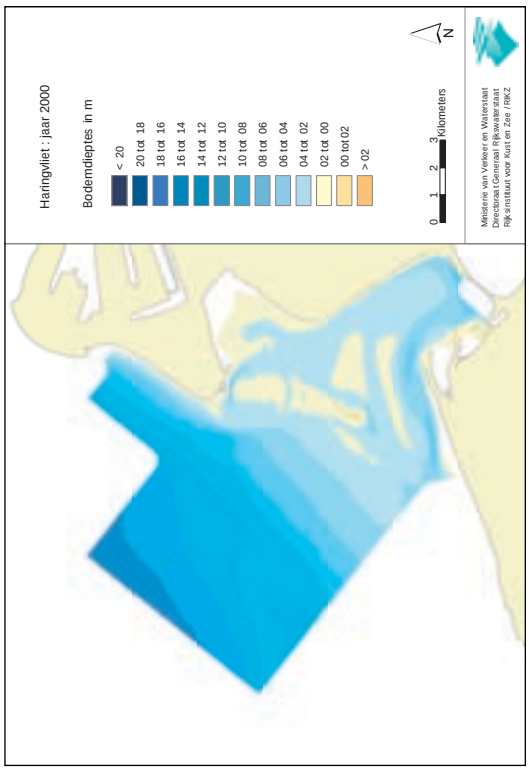

Haringvliet : jaar 1994
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 1997
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

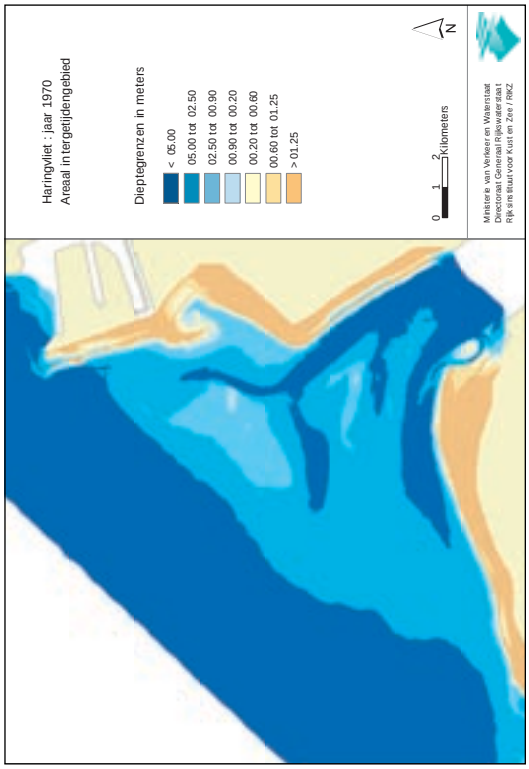

Haringvliet : jaar 1999
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

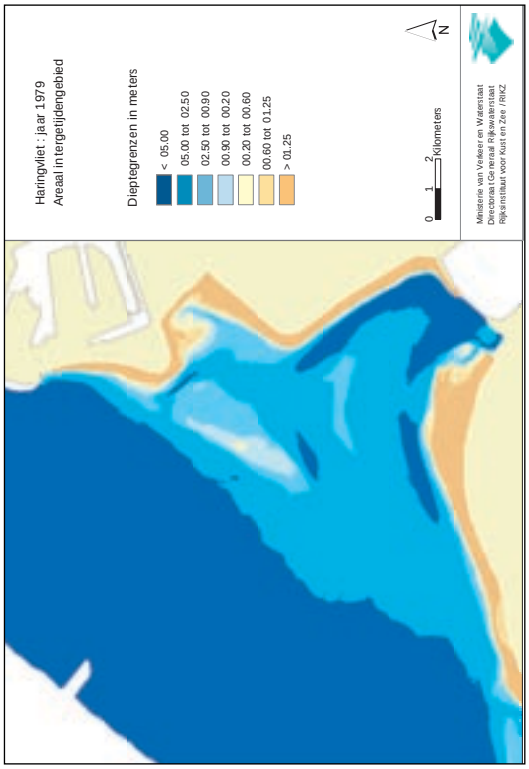

Haringvliet : jaar 1996
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

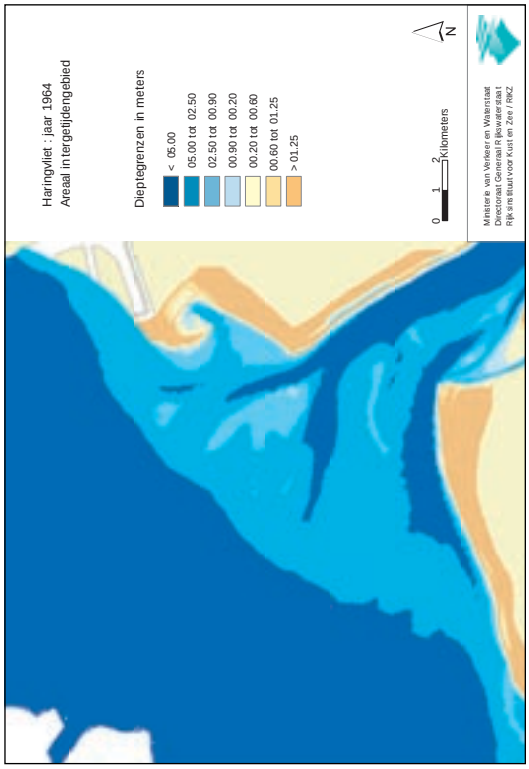

Haringvliet : jaar 1998
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

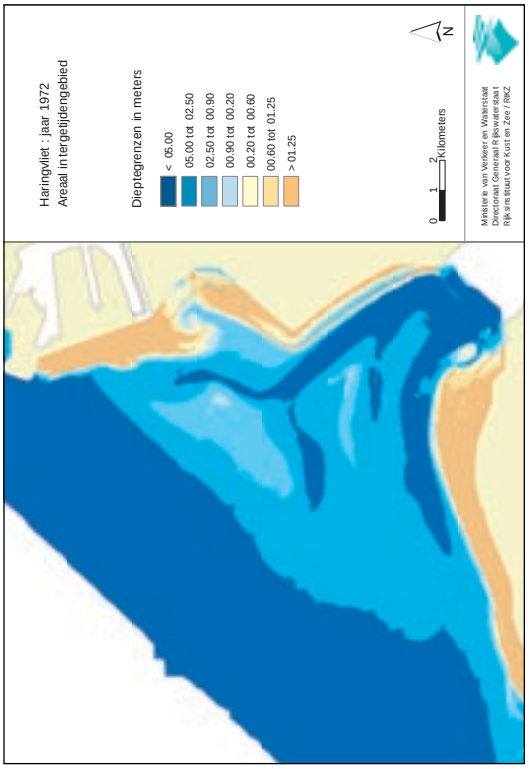

Haringvliet : jaar 2000
Bodemdieptes in m
< 20
20 tot 18
18 tot 16
16 tot 14
14 tot 12
12 tot 10
10 tot 08
08 tot 06
06 tot 04
04 tot 02
02 tot 00
00 tot 02
> 02
0 1 2 3 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

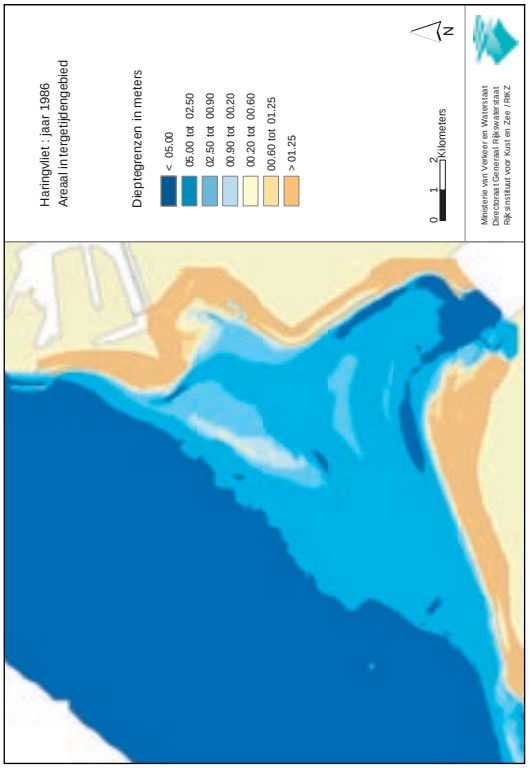
Bijlage 4
Areaal intergetijdengebied Haringvlietmonding 1964-2000

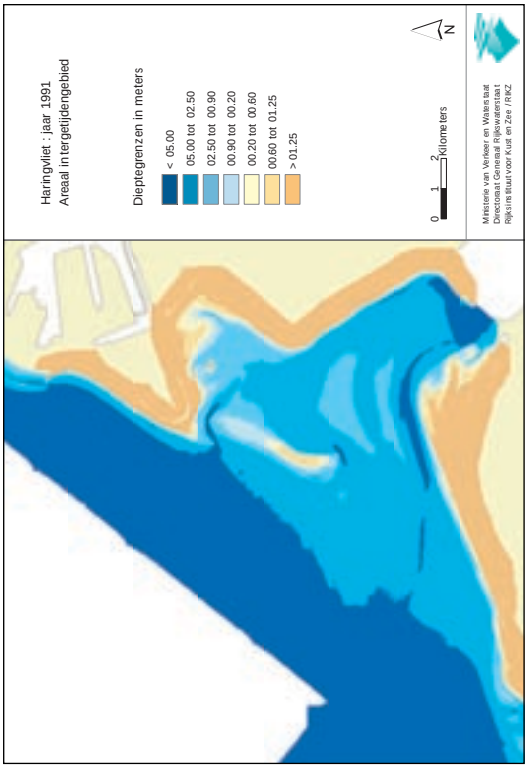


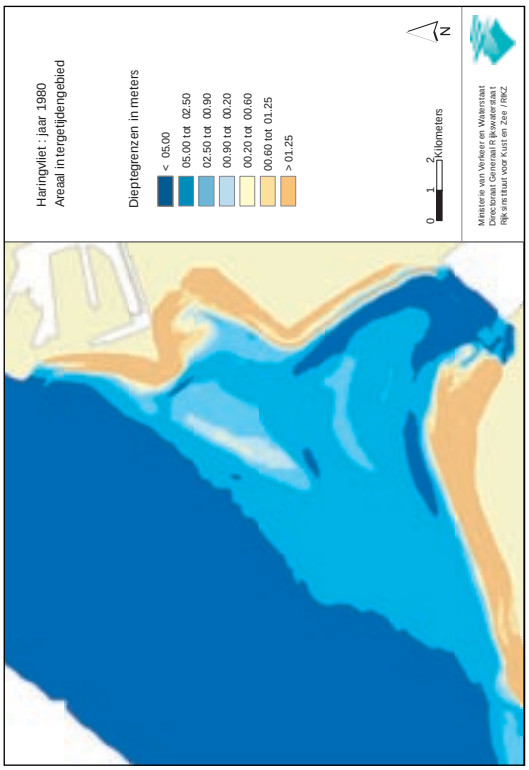


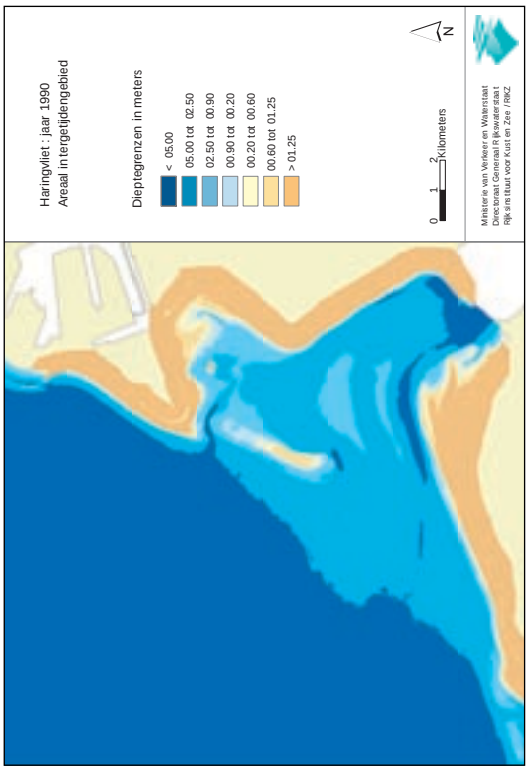


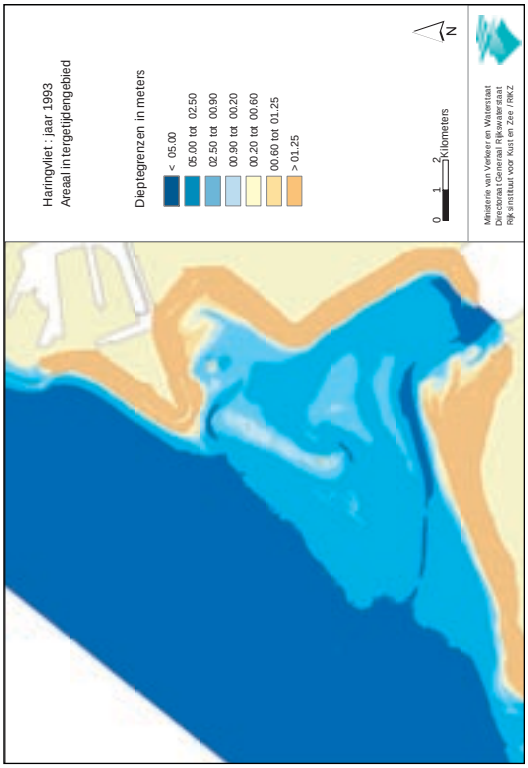


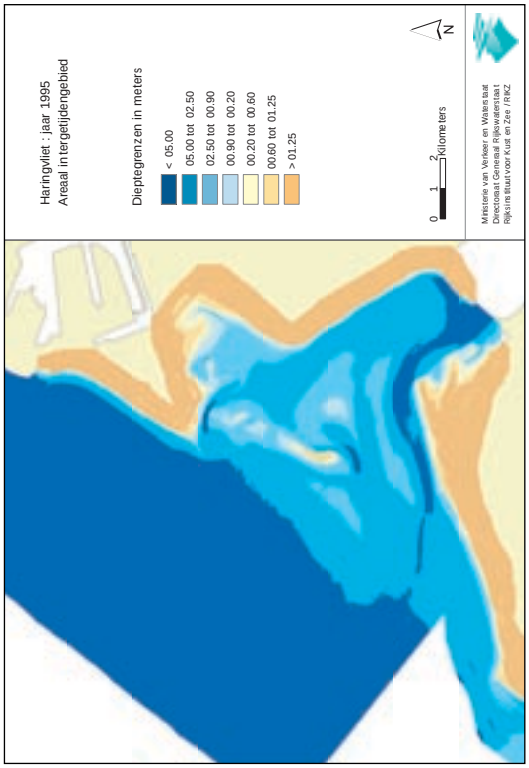

Haringvliet : jaar 1986
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0 1 2 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

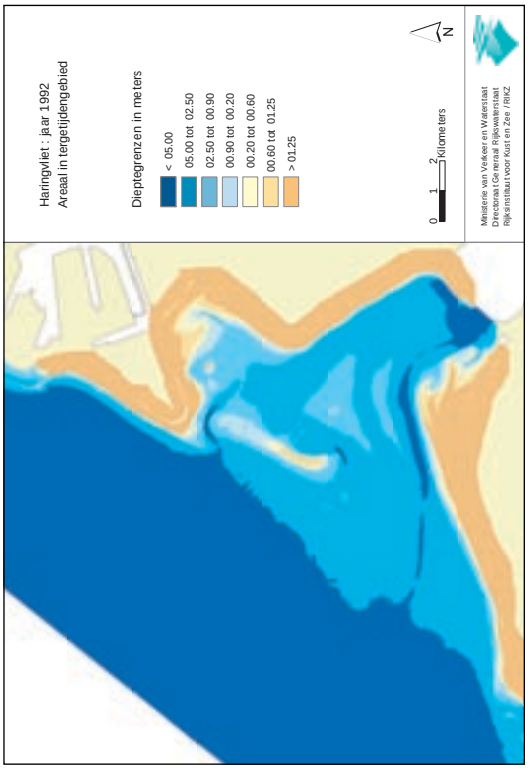

Haringvliet : jaar 1991
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0 1 2 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

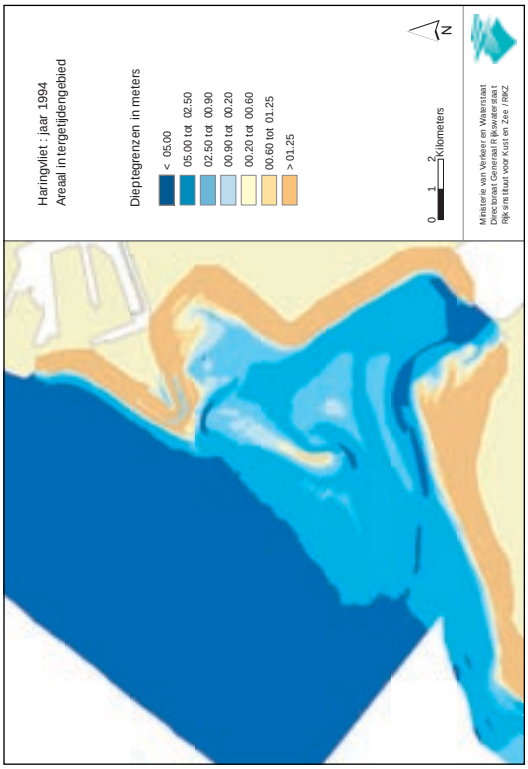

Haringvliet : jaar 1980
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0 1 2 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

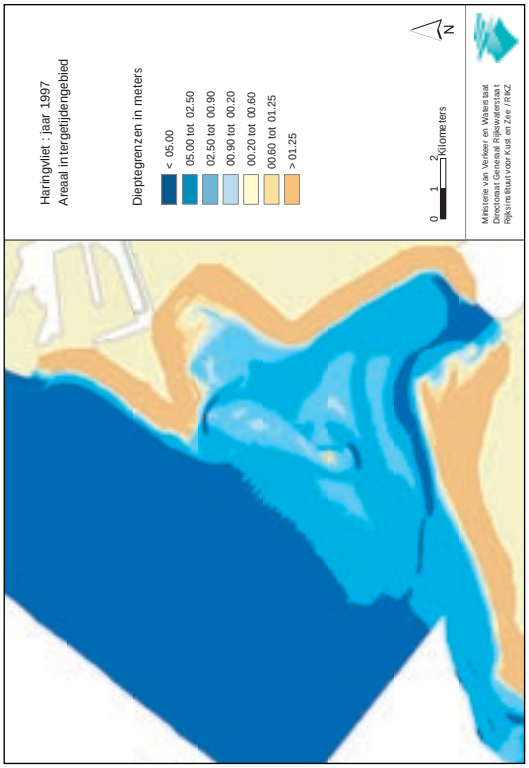

Haringvliet : jaar 1990
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0 1 2 Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

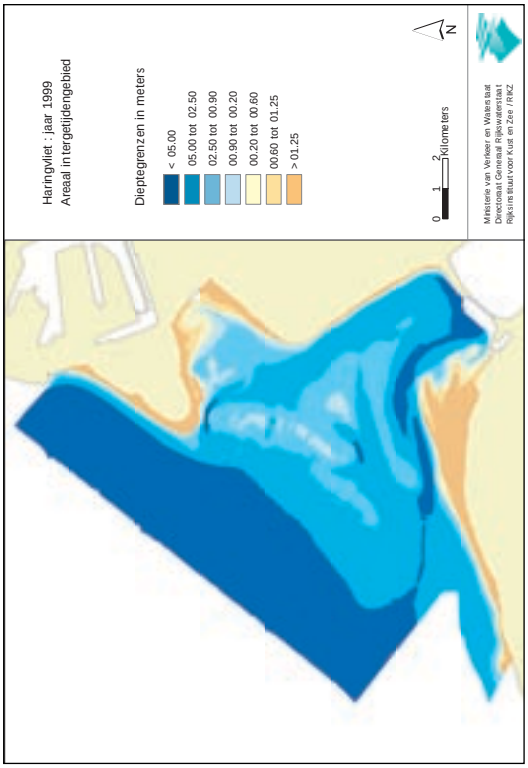

Haringvliet : jaar 1993
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
N
0
1
2
Kilometers
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

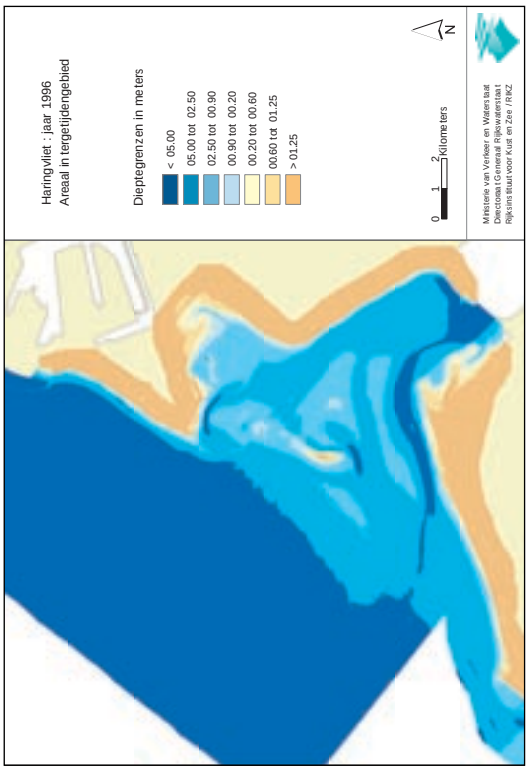

Haringvliet : jaar 1995
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
N
0
1
2
Kilometers
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

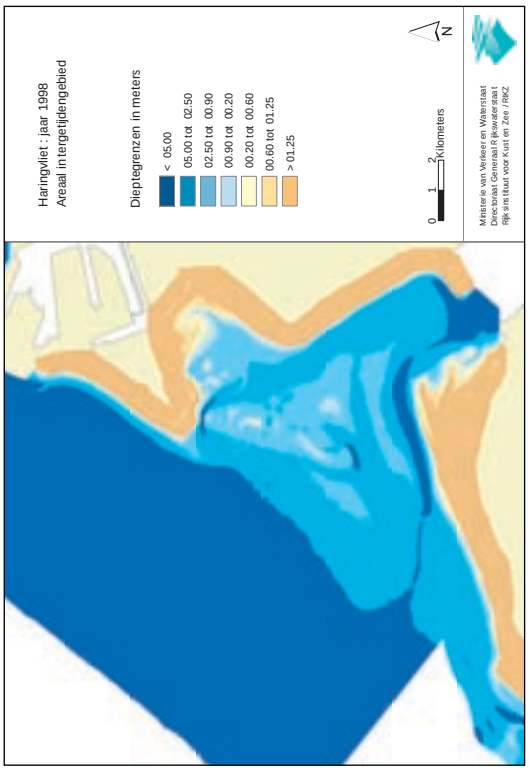

Haringvliet : jaar 1992
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
N
0
1
2
Kilometers
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

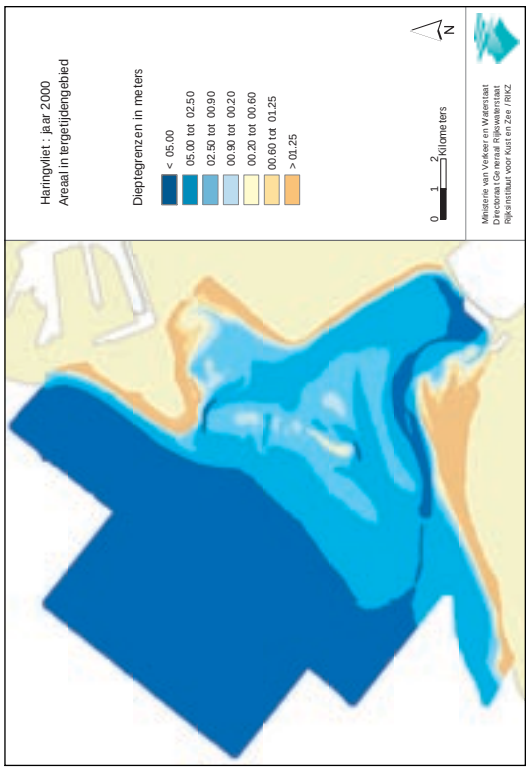

Haringvliet : jaar 1994
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
N
0
1
2
Kilometers
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 1997
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0
1
2
Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 1999
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0
1
2
Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 1996
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0
1
2
Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 1998
Areaal intergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
0
1
2
Kilometers
N
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ


Haringvliet : jaar 2000
Areaal in tergetijdengebied
Dieptegrenzen in meters
< 05.00
05.00 tot 02.50
02.50 tot 00.90
00.90 tot 00.20
00.20 tot 00.60
00.60 tot 01.25
> 01.25
N
0
1
2
Kilometers
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ