



# Toepassing van evenwichtsrelaties op de Haringvlietmond

Rapport RIKZ-97.021

Auteur : A. A. Arends

Afstudeercommissie : Prof. dr. ir. M.J.F. Stive  
Drs. F.C. Groenendijk  
Drs. P. van Vessem  
Dr. ir. Z.B. Wang  
Dr. ir. J.A. Roelvink

datum : maart 1997



# Voorwoord

---

Dit rapport is geschreven in het kader van mijn afstudeeronderzoek voor de vakgroep Waterbouwkunde aan de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. Het onderzoek is uitgevoerd bij het Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ), een onderdeel van Rijkswaterstaat.

Ik wil graag Marcel Stive bedanken die mij heeft geholpen bij het vinden van een interessante afstudeeropdracht en mij heeft begeleid tot de uiteindelijke afronding van het onderzoek. Verder wil ik graag Floris Groenendijk en Pieter van Vessem, die mij bij het RIKZ wegwijs hebben gemaakt en begeleid, bedanken voor de plezierige samenwerking tijdens mijn verblijf bij het RIKZ. Verder wil ik Wang bedanken voor zijn hulp bij het toepassen van het model. Tenslotte wil ik Dano Roelvink bedanken voor het doorlezen en beoordelen van mijn rapport.

Aline Arends  
Maart 1997



# Samenvatting

---

Door de verschillende ingrepen die zijn gedaan in het mondingsgebied van het Haringvliet is sterke sedimentatie in het gebied opgetreden. In het gebied voor de Brielse Gatdam is door aanleg van de dam voor zandwinning voor de aanleg van de Maasvlakte het Brielse Gat gaan aanzanden. De getij-invloed is daardoor sterk verminderd. Met een doorsteek in de Brielse Gatdam wordt de doorstroom in het gebied vergroot waardoor het Brielse Gat een stroomvoerende geul zou kunnen worden voor het achterliggende gebied.

Terwindt heeft in 1971 een studie gedaan naar de mogelijke consequenties van het heropenen van de Brielse Gatdam. In 1995 is in opdracht van de gemeente Westvoorne door Adviesburo Hollandschap een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om de zeeïnvloed in het gebied terug te laten keren. Een van de mogelijkheden om dit te realiseren is het doorsteken van de Brielse Gatdam. In die studie worden de morfologische effecten kwalitatief beschreven. Bij een gewijzigd spui-beheer van de Haringvlietsluizen en een aanleg van Maasvlakte 2 zullen de morfologie en de stromingscondities sterk gaan wijzigen. Het is dus van belang een nieuwe studie naar deze effecten te doen bij een eventuele doorsteek van de Brielse Gatdam.

Tijdens deze studie zijn de lange termijn ontwikkelingen onderzocht die zullen plaatsvinden in de monding van het Haringvliet als gevolg van verschillende ingrepen, t.w. het doorsteken van de Brielse Gatdam, een uitbreiding van de Maasvlakte en een ander spui-beheer van de Haringvlietsluizen. Daarvoor is eerst een analyse gemaakt van de ingrepen die in het gebied gepleegd zijn en de gevolgen daarvan voor de hydraulica en de morfologie.

Als gevolg van het afsluiten van de getijgeulen, de Brielse Maas en het Haringvliet is het getijprisma voor alle geulen sterk afgenomen met als resultaat sterke sedimentatie van alle geulen.

Door de afsluiting van de Brielse Maas vormden alle kleinere platen samen de Westplaat. Hierop werd later een gedeelte van de Maasvlakte aangelegd. Als gevolg van de afsluiting van het Brielse Gat verzandde het gebied voor de dam.

De afsluiting van het Haringvliet heeft met name invloed gehad op het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. Als gevolg van de vermindering van het getijvolume is het min of meer oost-west georiënteerde vul- en ledigingssysteem meer invloed gaan ondervinden van de optredende noord-zuid georiënteerde getijstrooming. Hierdoor is de oriëntatie van de geulen veranderd. Het Rak van Scheelhoek heeft zijn stroomvoerende functie vrijwel verloren. Het meeste spuiwater wordt door het Slijkgat afgevoerd. De vooroever van de Hinderplaat erodeert als gevolg van een golfgedreven dwarstransport. De hoogte van de plaat neemt langzaam toe en de zuid-westpunt verplaatst in landwaartse richting. De Garnalenplaat groeit in zuidelijke richting ten koste van het Slijkgat.

Voor alle geulen geldt dat ze 70% of meer van hun evenwichtsvolume bereikt hebben.

Het getijprisma is een belangrijke grootte voor de omvang van geulen en platen. Veel onderzoekers hebben relaties afgeleid tussen het getijvolume en de grootte van een getijgeul. In Nederland hebben vooral Haring, van de Kreeke, Eysink, Gerritsen en de Jong onderzoek gedaan naar deze relaties. Haring heeft een relatie afgeleid voor het Haringvliet toen die geul nog niet afgesloten was. Gerritsen heeft de invloed van golven en de invloed van de hydraulische straal onderzocht. Eysink heeft een relatie afgeleid voor de

inhoud van een geul en het getijprisma. Voor de monding van het Haringvliet bleek de relatie van Haring goed te voldoen. Eysink gebruikt de relatie tussen het geulvolume en het getijprisma in plaats van de geuldoorsnede. Ook deze relatie blijkt goed te voldoen. De relatie van Gerritsen, waarin de invloed van de hydraulische straal is meegenomen, levert betere resultaten dan de relatie van Haring. Deze laatste relatie is niet geschikt om te gebruiken voor toekomstige ontwikkelingen omdat door een ingreep het getijvolume verandert waardoor de geuldoorsnede verandert en daarmee de hydraulische straal. De relatie heeft daardoor naast de doorsnede een tweede onbekende, nl. de hydraulische straal. Over de relatie tussen de doorsnede en de hydraulische straal is nog te weinig bekend zodat de vergelijking niet oplosbaar is.

Eysink heeft als enige in Nederland onderzoek gedaan naar platen. Daarbij vond hij dat de grootte van de platen vooral afhankelijk is van de grootte van het bassin en minder van de grootte van het getijprisma.

Om de geplande ingrepen te modelleren is gebruik gemaakt van het empirisch-dynamisch model ASMITA. Dit model berekent de ontwikkeling van het volume van de elementen uitgaande van empirische evenwichtsrelaties. Het Haringvliet-estuarium is voor de modellering opgedeeld in twee gebieden, een noordelijk deel bestaande uit het Brielse Gat en een zuidelijk deel bestaande uit het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. Beide gebieden zijn gemodelleerd als een systeem van geulen en platen. Na een calibratie van de verschillende modellen zijn ze gebruikt voor de toekomstige ontwikkelingen.

Bij het voortzetten van de huidige situatie zullen de geulen verder sedimenteren omdat de evenwichtssituatie nog niet bereikt is. Als gevolg van een doorsteek in de Brielse Gatdam neemt de omvang van het Brielse Gat toe. Vanwege de grote dieptes van het Oostvoornse Meer duurt het zeker honderd jaar voordat het meer geheel gevuld is met sediment.

Door de aanleg van Maasvlakte 2 wordt de bekkenvorm van het estuarium versterkt waardoor de getijslag in het gebied toeneemt. De versterkte bekkenvorm heeft meer invloed op het noordelijk dan het zuidelijk deel van het estuarium. Door de hogere getijslag is de afname van het geulvolume minder dan de afname bij voortzetting van de huidige situatie.

Een vergroting van het geulvolume treedt op bij het veranderen van het spuiregime van de Haringvlietssluisen. Dit heeft voornamelijk invloed op het zuidelijk deel en nauwelijks op het noordelijk deel van het bekken. Het spui-alternatief met een gebroken getij levert een groter evenwichtsvolume dan onder voortzetting van de huidige omstandigheden, maar dat volume is kleiner dan het huidige volume, dus de geulen zullen nog steeds aanzanden. Bij het alternatief met getemd getij en het gebruik als stormvloedkering zullen de geulen eroderen. Bij het alternatief stormvloedkering zal een situatie ontstaan die vergelijkbaar is met de situatie van voor de afsluiting. Alleen zal het Slijkgat vanwege de ligging van de sluisen in de zuidkant van de dam meer water afvoeren dan het Rak van Scheelhoek en dus relatief meer eroderen.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>13</b>
<b>2. Situatieschets</b>	<b>15</b>
2.1 Natuurwaarden	15
2.2 Recreatie	16
2.3 Kustverdediging	16
2.4 Modellen ter verbetering van het Oostvoornse Meer	17
2.4.1 Model 1 : doorbreken Brielse Gatdam en optimum natuurontwikkeling	17
2.4.2 Model 2 : doorbreken Brielse Gatdam en optimum recreatieve ontwikkelingen	17
2.4.3 Model 3 : Brielse Gatdam handhaven en optimum natuurontwikkeling	17
2.4.4 Model 4 : Brielse Gatdam handhaven en optimum recreatie	17
2.4.5 Keuze model door gemeente	17
2.5 Geplande ingrepen in het gebied	18
2.5.1 Vormgeving Maasvlakte 2	18
2.5.2 MER-studie Haringvlietsluizen	19
<b>3. Morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmond</b>	<b>25</b>
3.1 Analyse huidige situatie	25
3.1.1 Ingrepen in het gebied en de invloed op het getijprisma	25
3.1.2 Waterbeweging	27
3.1.3	30
3.1.3 Morfologie	30
3.2 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen zonder verdere ingrepen	38
3.3 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een uitbreiding van de Maasvlakte	39
3.4 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een gewijzigd spui-beheer van de Haringvlietsluizen	41
3.5 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een doorgestoken Brielse Gatdam	42
<b>4. Dataverzameling en -analyse</b>	<b>43</b>
4.1 Verzamelen van meetgegevens	43
4.2 Verwerking meetgegevens	45
4.3 Vergelijking van data uit verschillende bronnen	47
4.4 Analyse bodemdata	49
<b>5. Empirische evenwichtsrelaties voor geul en plaat</b>	<b>55</b>
5.1 Modelling van getijdebassins	55
5.2 Empirische evenwichtsrelaties in het algemeen	56
5.3 Mathematisch-fysische afleiding evenwichtsrelatie	56
5.4 Relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel	58
5.5 Relatie tussen het getijprisma en de inhoud van een getijgeul	60
5.6 Relatie tussen de stroomsnelheid en het doorstroomprofiel	60
5.7 Relatie tussen het getijdebiet en het doorstroomprofiel	61
5.8 Maatgevende schuifspanning gebruiken als stabiliteitsparameter voor	

de profieldoorsnede	61
5.8.1 Maatgevende schuifspanning zonder invloed van golven	61
5.8.2 Maatgevende schuifspanning met invloed van golven	62
5.9 Hydraulische straal gebruiken als stabiliteitsparameter voor de profieldoorsnede	63
5.10 Relatie tussen het getijvolume en de grootte van de platen	65
<b>6. Analyse van de empirische evenwichtsrelaties</b>	<b>67</b>
6.1 Relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel	67
6.2 Relatie tussen het getijprisma en de inhoud van een getijgeul	70
6.3 Relatie tussen de stroomsnelheid en het doorstroomprofiel van een getijgeul	71
6.4 Invloed van de schuifspanning op de relatie tussen het getijvolume en de geuldoorsnede	71
6.5 Hydraulische straal gebruiken als stabiliteitsparameter	71
6.6 Afsluiting Brielse Maas	73
<b>7. Opzet van het ASMITA model</b>	<b>75</b>
7.1 Algemene opzet van het ASMITA-model	75
7.2 Gebruikte empirische evenwichtsrelaties in ASMITA	77
7.3 Morfologische tijdschaal	78
7.4 Invoerparameters	79
7.5 ASMITA modellering van de Haringvlietmond	80
7.5.1 Modellering van het gebied voor de Brielse Gatdam	80
7.5.2 Modellering van het Brielse Gat met een doorgestoken Brielse Gatdam	81
7.5.3 Modellering van het Slijkgat, de Garnalenplaat en het Rak van Scheelhoek	82
<b>8. Resultaten van de ASMITA modellering</b>	<b>85</b>
8.1 Calibratie en validatie van de verschillende modellen	85
8.1.1 Calibratie van het Brielse Gat model	85
8.1.2 Validatie van het model van het Brielse Gat	86
8.1.3 Calibratie van het model van het gebied voor de sluisen	86
8.1.4 Validatie van het model van het gebied voor de Sluisen	87
8.2 Getijrandvoorwaarden	89
8.3 Resultaten van het model van het Brielse Gat	91
8.3.1 Huidige situatie	91
8.3.2 Aanleg Maasvlakte 2	91
8.3.3 Veranderd spui-beheer Haringvlietsluisen	92
8.3.4 Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief	92
8.3.5 Conclusies	92
8.4 Resultaten van het model met doorgestoken Brielse Gatdam	92
8.4.1 Huidige situatie	92
8.4.2 Aanleg Maasvlakte 2	93
8.4.3 Veranderd spui-beheer Haringvlietsluisen	93
8.4.4 Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief	94
8.4.5 Conclusies	94
8.5 Resultaten van het model voor het gebied voor de sluisen	94
8.5.1 Huidige situatie	94
8.5.2 Aanleg Maasvlakte 2	95
8.5.3 Veranderd spui-beheer Haringvlietsluisen	95
8.5.4 Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief	95
8.5.5 Conclusies	96
8.6 Nauwkeurigheid van de voorspellingen	96



<b>9. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>109</b>
9.1 Conclusies	109
9.2 Aanbevelingen	110
<b>Literatuur</b>	<b>111</b>
<b>Bijlage A : Kaarten van de Haringvlietmonding van 1850 - 1970</b>	<b>115</b>
<b>Bijlage B : Figuren uit de stroomatlas van voor en na de afsluiting van het Haringvliet</b>	<b>129</b>
<b>Bijlage C : Coördinaten van de raaien</b>	<b>139</b>
<b>Bijlage D : Resultaten van empirische relaties tussen getijprisma en geuldoorsnede</b>	<b>141</b>
<b>Bijlage E : Gebruikte randvoorwaarden voor ASMITA berekeningen</b>	<b>145</b>



**Lijst met figuren**

figuur 2.1 : Noordelijk deltagebied .....	15
figuur 2.2 : De twee in de voorstudie beschouwde uitbreidingsvarianten van de Maasvlakte ( de Looff et al., 1995).....	19
figuur 3.1 : Huidige situatie monding Haringvliet .....	26
figuur 3.2 : Ingrepen in het gebied rond de Haringvlietmond .....	27
figuur 3.3 : Gemeten gemiddelde stroomsnelheden voor en na afsluiting van het Haringvliet (Eysink, 1990a).....	29
figuur 3.4 : Stromingspatroon in de monding van het Haringvliet voor en na de afsluiting (van der Spek, 1987).....	30
figuur 3.5 : Mogelijke ontwikkelingen van afgesloten zeegaten. 1: Oorspronkelijke situatie. 2: afsluitdam ligt in de invloedssfeer van de golven. 3: afsluitdam ligt buiten bereik van de golven. 4: combinatie van 2 en 3 .....	31
figuur 3.6 : Energieclassificatie van het Deltagebied (Hayes, 1979) .....	32
figuur 3.7 : Brielse Maas in 1948, links, en 1951, rechts, (Rijkswaterstaat, 1962).....	34
figuur 3.8 : Ontwikkeling van de strandhaak (Snijders,1995) .....	36
figuur 3.9 : Ontwikkeling van de Hinderplaat en de Garnalenplaat, dieptelijns NAP -5 m (van der Spek, 1987) .....	36
figuur 3.10: Patroon van de morfologische processen en zandtransporten ..	38
figuur 4.1 : Ligging van de door haring (1967) gebruikte doorsneden.....	43
figuur 4.2 : Ligging van de door Eysink (1990a) gebruikte raaien.....	44
figuur 4.3 : Ligging van de 9 raaien waarvan met GIS de doorsnede is bepaald.....	45
figuur 4.4 : Waterstand in de mond van het Haringvliet .....	46
figuur 4.5 : Afvoer Haringvlietssluisen .....	47
figuur 4.6 : Vergelijking van de doorsneden van Eysink (1990a) met de doorsneden verkregen met GIS data .....	48
figuur 4.7: Procentuele afname t.o.v. 1970 van de doorsneden van het Brielse Gat.....	50
figuur 4.8 : Procentuele afname t.o.v. 1970 van de doorsneden in het gebied voor de sluisen .....	51
figuur 4.9 : Procentuele afname t.o.v. 1970 van de doorsneden van het Slijkgat .....	52
figuur 4.10: Procentuele afname t.o.v. 1970 van de doorsnede van het Rak van Scheelhoek .....	52
figuur 4.11: Procentuele afname t.o.v. 1970 van de doorsneden van de gehele Haringvlietmond.....	53
figuur 5.1 : Relaties tussen het getijvolume en de doorsnede .....	59
figuur 5.2 : ..... Correlatie tussen de gemiddelde snelheid en de hydraulische straal .....	64
figuur 5.3 : Relatieve plaatoppervlakten in het Wadden- en Deltagebied ..	66
figuur 6.1 : Getijvolume-doorsnede Brielse Gat .....	68
figuur 6.2 : Getijvolume-doorsnede gebied voor de sluisen.....	69
figuur 6.3 : Getijvolume-doorsnede Slijkgat en het Rak van Scheelhoek.....	69
figuur 6.4 : Getijprisma-inhoud geul.....	70
figuur 6.5 : Mathematisch-fysisch afgeleide relatie tussen het getijprisma en de doorsnede van een geul, rekening houdend met de hydraulische straal. De cijfers naast de "+" geven de breedte van de geulen weer. ....	72
figuur 6.6 : Relatie tussen het getijprisma en de geuldoorsnede op basis van empirische gegevens. De cijfers naast de "+" geven de breedte van de geulen weer. ....	72
figuur 6.7 : Gemiddelde snelheid-hydraulische straal .....	73
figuur 6.8 : Afsluiting Brielse Maas .....	74
figuur 7.1 : Schematisering van het Brielse Gat .....	81
figuur 7.2 : Schematisering van het Brielse Gat en het Oostvoornse Meer .	82
figuur 7.3 : ASMITA modellering van het Slijkgat, Garnalenplaat en het Rak van Scheelhoek .....	83
figuur 8.1 : Calibratie Brielse Gat.....	86
figuur 8.2 : Calibratie gebied voor de sluisen.....	88

figuur 8.3 : Ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat met een 50% groter plaatvolume van de Garnalenplaat .....	89
figuur 8.4 : Ontwikkeling van het Brielse Gat zonder ingrepen, volgens de gemeten getijslag (___) en volgens de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----). .....	97
figuur 8.5 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek zonder ingrepen bij de gemeten getijslag(____) en de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----). .....	97
figuur 8.6 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij noordelijke (---) en zuidelijke (___) uitbreidingsvariant van de Maasvlakte. ....	99
figuur 8.7 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij een noordelijke (---) en een zuidelijke (___) uitbreiding van de Maasvlakte in combinatie met het getemd getij alternatief. ....	99
figuur 8.8 : Ontwikkeling van het Brielse Gat en Oostvoornse Meer met doorgestoken Brielse Gatdam. ....	101
figuur 8.9 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam.....	101
figuur 8.10: Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam en een zuidelijke (___) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte. ....	103
figuur 8.11: Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam met een combinatie van een zuidelijke (___) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte en het getemd getij alternatief van de Haringvlietsluizen. ....	103
figuur 8.12: Huidige ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat (____) en de ontwikkelingen als gevolg van een zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte (----). ....	105
figuur 8.13: Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek als gevolg van de drie alternatieven : stormvloedkering (___), getemd getij (---) en gebroken getij (___). ....	105
figuur 8.14: Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek bij zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte en het alternatief getemd getij.....	107

## Lijst met symbolen

$\alpha$	= coëfficiënt met waarde 0,3 - 0,5	[-]
$\gamma$	= soortelijk gewicht van water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_s$	= soortelijk gewicht van sediment	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta$	= relatieve sedimentdichtheid	[-]
$\delta_{fc}$	= uitwisselingscoëfficiënt tussen plaat en geul	[m <sup>3</sup> /s]
$\zeta$	= factor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen	[-]
$\mu$	= ribbelcoëfficiënt	[-]
$\rho$	= dichtheid van het water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau$	= schuifspanning	[n/m <sup>2</sup> ]
$\tau_c$	= bodemschuifspanning door stroom alleen	[n/m <sup>2</sup> ]
$A$	= profieldoorsnede	[m <sup>2</sup> ]
$A_b$	= horizontaal oppervlak van het bassin op GLW	[m <sup>2</sup> ]
$A_c$	= oppervlak van de doorsnede van de geul	[m <sup>2</sup> ]
$A_e$	= evenwichts-profieldoorsnede	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hb}$	= horizontale oppervlak van het bassin op GHW	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hc}$	= horizontaal oppervlak van de geul	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hf}$	= horizontaal oppervlak van de plaat	[m <sup>2</sup> ]
$A_l$	= oppervlak van de lage plaat	[m <sup>2</sup> ]
$B$	= maximale karakteristieke breedte	[m]
$b$	= dimensieloze coëfficiënt	[-]
$C_A$	= constante afhankelijk van verband tussen A en P	[m <sup>-1</sup> ]
$c_c$	= sedimentconcentratie in de geul	[-]
$c_{ce}$	= lokale evenwichtsconcentratie van de geul	[-]
$c_e$	= lokale evenwichts-concentratie	[-]
$c_E$	= totale evenwichts-concentratie	[-]
$c_f$	= sedimentconcentratie boven de plaat	[-]
$c_{fe}$	= lokale evenwichtsconcentratie van de plaat	[-]
$c_s$	= sedimentconcentratie van de uitstroom	[-]
$D$	= gemiddelde korreldiameter	[m]
$D_c$	= transversale dispersiecoëfficiënt van de geul	[m <sup>2</sup> /s]
$D_l$	= laterale diffusiecoëfficiënt	[m <sup>2</sup> /s]
DV	= dominante volume	[m <sup>3</sup> ]
EV	= ebvolume	[m <sup>3</sup> ]
$F_{lc}$	= laterale uitwisseling tussen geul en lage plaat	[m <sup>2</sup> /s]
FV	= vloedvolume	[m <sup>3</sup> ]
$g$	= versnelling a.g.v de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]
GHW	= gemiddeld hoogwater	[m]
GLW	= gemiddeld laagwater	[m]
H	= getijslag	[m]
h	= waterdiepte	[m]
$\Delta h_l$	= waterdiepte op lage plaat	[m]
$i$	= energieverhang van de stroming	[-]
$I_c$	= inhoud van de geul beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]
$I_f$	= inhoud van de plaat boven GLW	[m <sup>3</sup> ]
$I_{NAP}$	= Inhoud getijdebekken beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]
L	= karakteristieke lengte van het bassin	[m]
L	= karakteristieke lengte van het bassin	[m]
$L_{lc}$	= afstand tussen centrum van de geul en centrum van de lage plaat	[m]
m	= coëfficiënt	[-]
n	= coëfficiënt	[-]
P	= getijprisma	[m <sup>3</sup> ]
O	= natte omtrek	[m]
Q	= debiet door getijgeul	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_r$	= maatgevende afvoer van Haringvliet gedurende een getij	[m <sup>3</sup> ]
R	= hydraulische straal	[m]
S	= sedimenttransport	[m <sup>3</sup> /s]
$S_E$	= evenwichts-sedimenttransport	[m <sup>3</sup> /s]
TV	= getijvolume	[m <sup>3</sup> ]

$u_0$	= maximale orbitaalsnelheid bij de bodem ten gevolge van de golfbeweging	[-]
$v$	= gemiddelde stroomsnelheid over dwarsprofiel	[m/s]
$V_c$	= volume van de geul beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]
$V_{ce}$	= evenwichtsvolume van de geul beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]
$v_\varepsilon$	= evenwichtsstroomsnelheid over het dwarsprofiel	[m/s]
$V_i$	= volume van de plaat boven GLW	[m <sup>3</sup> ]
$V_{ie}$	= evenwichtsvolume van de plaat boven GLW	[m <sup>3</sup> ]
$w$	= valsnelheid van sedimentkorrel	[m/s]
$W_c$	= breedte van de geul	[m]
$w_s$	= coëfficiënt met eenheid van valsnelheid	[m/s]

# 1. Inleiding

---

De buitendelta van het Haringvliet wordt tegenwoordig begrensd door de Maasvlakte in het noorden, de kust van Voorne en de Haringvlietdam met sluzen in het oosten en de kust van Goeree in het zuiden. Aan de zeezijde wordt de grens van de voormalige buitendelta bij NAP -10 m gelegd.

In de laatste decennia zijn verschillende ingrepen gedaan in de monding van het Haringvliet, zoals de aanleg van de Brielse Gatdam, de aanleg van de Maasvlakte en de sluffer en het sluiten van de Haringvlietssluzen. De morfologie en stromingscondities zijn daardoor in het gebied sterk gewijzigd. In de hele monding vindt aanzanding plaats. Vooral door de aanleg van de Brielse Gatdam in 1966 is het gebied voor deze dam erg ondiep geworden en is de zeeïnvloed afgenomen. Achter de dam is een diep meer ontstaan als gevolg van de zandwinning voor de aanleg van de Maasvlakte. De zeeïnvloed bij Oostvoorne is afgenomen. Met een doorbraak van de Brielse Gatdam wordt het Oostvoornse Meer bij de monding van het Haringvliet getrokken zodat het getij het Oostvoornse Meer binnen kan dringen. Het getijprisma wordt groter en het gebied voor de dam zal verdiepen.

In 1971 is door Terwindt een studie gedaan naar de mogelijke consequenties van het heropenen van de Brielse Gatdam. Zijn aanbevelingen waren een eventuele doorsteek in het midden van de dam te doen vanwege golfdoordringing en golfaanval op de kust van Voorne. Verder heeft hij de breedte van de doorsteek en de maatgevende golfhoogten bepaald. De dam is nooit doorgestoken.

In 1995 is in opdracht van de gemeente Westvoorne door Adviesburo Hollandschap een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden het imago "Oostvoorne aan zee" te behouden. Een van de mogelijkheden hieraan te voldoen is het doorsteken van de Brielse Gatdam. In die studie worden kwalitatieve inschattingen gedaan over de verwachte morfologische effecten.

Bij een gewijzigd spuibeheer van de Haringvlietssluzen en de aanleg van Maasvlakte 2 zullen de morfologie en stromingscondities sterk gaan wijzigen. Het is dus van belang een nieuwe studie naar deze effecten te doen bij de huidige plannen voor een doorsteek in de Brielse Gatdam.

In deze studie wordt gekeken naar de lange termijn ontwikkelingen, daarbij wordt gebruik gemaakt van het empirisch dynamisch model ASMITA. Om dit model goed te kunnen toepassen wordt eerst onderzocht welke empirische evenwichtsrelaties bruikbaar zijn in de monding van het Haringvliet. Daarna worden de morfologische ontwikkelingen in de buitendelta van het Haringvliet onderzocht als gevolg van een doorgestoken Brielse Gatdam in combinatie met en zonder Maasvlakte 2 en met en zonder een veranderd beheer van de Haringvlietssluzen. De belangrijkste vragen die hierbij beantwoord worden zijn :

- Welke veranderingen treden op als geen ingrepen worden gedaan.
- Hoe verandert het geulen- en platensysteem rondom de Brielse Gatdam als deze wordt doorgestoken.
- Hoe verandert het geulen- en platensysteem als de Brielse Gatdam wordt doorgestoken en Maasvlakte 2 wordt gerealiseerd.
- Hoe verandert het geulen en platen systeem als de Brielse Gatdam wordt doorgestoken en het beheer van de Haringvlietssluzen wordt gewijzigd.
- Welke veranderingen vinden plaats in het gebied voor de sluzen bij aanleg van Maasvlakte 2 en een veranderd spuibeheer.

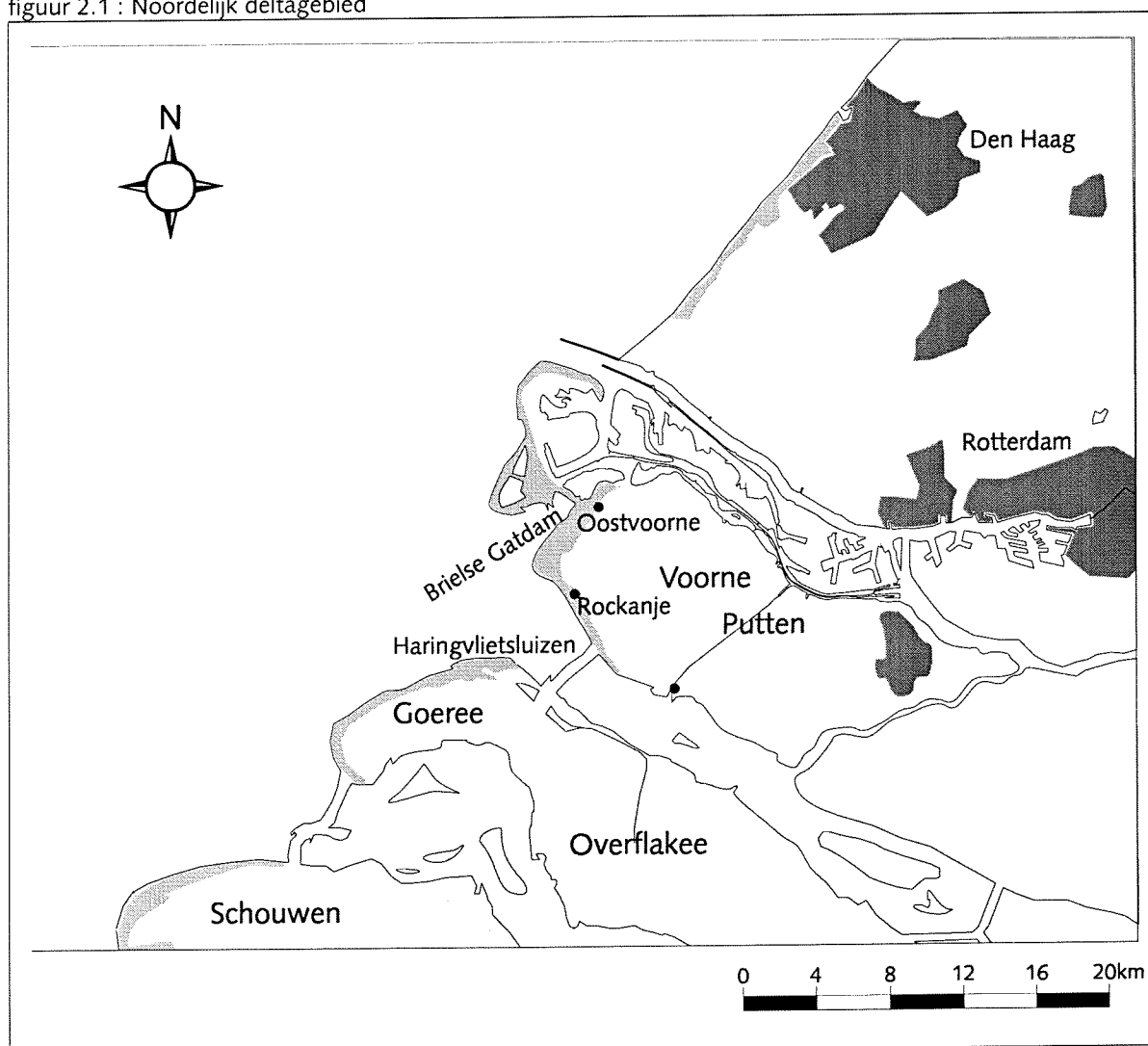
In hoofdstuk 2 volgt een beschrijving van de situatie zoals die op dit moment is rond het Oostvoornse Meer omdat dat in eerste instantie het aandachtsgebied van deze studie was. In datzelfde hoofdstuk worden de geplande ingrepen in de Haringvlietmonding beschreven. In hoofdstuk 3 zullen de morfologische ontwikkelingen beschreven worden die hebben plaats gevonden als gevolg van de vele ingrepen in het gebied. In datzelfde hoofdstuk wordt een verwachting gegeven voor de morfologische ontwikkelingen als gevolg van de geplande ingrepen. In hoofdstuk 4 wordt beschreven welke data gebruikt zijn voor het onderzoek. In de twee volgende hoofdstukken, hoofdstuk 5 en 6, worden de bestaande empirische evenwichtsrelaties tussen het getijprisma en de geulomvang beschreven en geanalyseerd op hun toepasbaarheid voor de Haringvlietmonding. Hoofdstuk 7 beschrijft de opzet van het ASMITA model en in hoofdstuk 8 staan de resultaten van de modelberekeningen. Tenslotte worden in Hoofdstuk 9 de conclusies en aanbevelingen beschreven.



## 2. Situatieschets

Oostvoorne is gesitueerd op het eiland Voorne Putten, zie figuur 2.1. Voorheen was de plaats zeer in trek als badplaats voor dagjesmensen uit Rotterdam en omgeving. Door de aanleg van de Deltawerken en de Maasvlakte is zeeïnvloed langzaam aan het verdwijnen. Toch wil Oostvoorne het imago van "Oostvoorne aan zee" behouden. Een van de mogelijkheden om dit te realiseren is de Brielse Gatdam door te graven en van het Oostvoornse Meer weer "zee" te maken.

figuur 2.1 : Noordelijk deltagebied



### 2.1 Natuurwaarden

Het gebied rond Oostvoorne maakt deel uit van een omvangrijk oppervlak beschermd natuurgebied met hoge natuurwaarden die in (inter)nationaal opzicht van groot belang zijn. Langs de kust en over de duinen van Voorne loopt een trekroute van vogels van enkele honderden meters breed. Het kalkrijke duingebied kent een vrijwel ongestoorde waterhuishouding.

Hierdoor komen voor Nederland zeldzame plantensoorten voor zoals Buntgras, Wilde Thijm, Echt Walstro, en Kruiwend Stalkruid. Vanwege de afgenomen zeeïnvloed is er een tendens tot struik- en struweelvorming.

Langs de kust van de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden is door de aanleg van de Deltawerken een Voordelta ontstaan. De Voordelta is een naam voor de buitendelta's van de voormalige zeegaten, die zich uitstrekt van de kust, inclusief bouwwerken, tot de 15m dieptelijn, tot aan de nieuwe Waterweg en tot de Belgische kust. Door afsluiting van de zeegaten worden de buitendelta's door golfwerking naar de kust bewogen. De Voordelta vormt een belangrijke voedselbron voor watervogels zoals Aalscholvers, Zaagbekken, Visdieven e.d. vanwege de grote rijkdom aan bodemdieren (schelpdieren) en vis. De mogelijkheden van het gebied zijn veel groter maar worden verstoord door de recreatie en schelpvisserij. Ook door de onvoldoende broedmogelijkheden in de directe nabijheid van de Voordelta komen verschillende soorten zoals Dwergstern en Plevieren minder voor. Deze vogels zijn aangewezen op kunstmatige plaatsen bijvoorbeeld, zanddepots en werkeilanden.

Het Brielse Gat is een relatief ondiep gebied dat beschermt ligt ten opzichte van de zee. De Stroomsnelheden en golfwerking zijn laag waardoor de bodem een hoog slibgehalte en een rijk bodemleven heeft. De ondiepte van de zee en de aangrenzende slikken vervullen voor vogels een belangrijke functie als foerageer- en doortrekgebied.

Het Oostvoornse Meer is een stagnerend brak meer, tot 35 m diep, ontstaan in 1966 door de aanleg van de Brielse Gatdam. Uit het meer werd zand gewonnen voor de aanleg van de Maasvlakte. Door het wegvallen van eb en vloed is het Groene Strand aan de zuidkant van het Oostvoornse Meer drooggefallen waardoor een uitgestrekte soortenarme ruige vegetatie (Grote Brandnetel, Harig Wilgenroosje, Duinriet en Riet) is ontstaan.

## 2.2 Recreatie

Sinds begin deze eeuw was Oostvoorne een aantrekkelijke badplaats. Door de ontwikkelingen in het gebied heeft het strandtoerisme zich verplaatst naar Rockanje. Tegenwoordig vormt Voorne een tegenhanger van de stedelijke en industriële Rijnmond. Inwoners uit de zuidwestelijke Randstad maken dagtochtjes naar het gebied of brengen er korte vakanties door. Het autostrand bij Oostvoorne is een recreatieve trekpleister. Zowel Oostvoorne als Rockanje zijn favoriete badplaatsen, maar elk heeft een duidelijk eigen karakter. In Oostvoorne ligt het accent op rust en natuurbeleving terwijl in Rockanje het accent ligt op actieve recreatievormen.

Zowel in het Brielse Meer als in het Oostvoornse Meer is de recreatie gericht op kleine en grote watersport en oeverrecreatie. Aan de noordoever wordt gesurft en in het diepe gedeelte wordt gedoken. Om de veiligheid voor recreanten te vergroten en afkalving van de oevers tegen te gaan is langs de oevers een aantal grinddammen aangelegd. De slikkige oever is niet geschikt om te zonnen. Aan de zuidzijde van het meer is de mogelijkheid om te wandelen door de natuur. Aan de noordzijde is een wal aangelegd ter visuele afscherming en ter beperking van de geluidshinder van de Maasvlakte. Deze wal heeft tevens de functie van waterkering.

## 2.3 Kustverdediging

In 1979-1980 is de Brielse Gatdam versterkt en is deze als primaire waterkering aangewezen. De zeewering van Voorne bestaat verder uit een zeewering aan de noordzijde van het Oostvoornse Meer, gereed gekomen in 1994, die tevens dienst doet als visuele afscheiding.

In de wet op de waterkeringen is vastgelegd dat het doorsteken van een primaire waterkering niet toelaatbaar is. Er zal een aanpassing van de wet noodzakelijk zijn als de Brielse Gatdam doorgestoken wordt. Voor de aanleg van de Brielse Gatdam hebben de oostzijde (dam) en de zuidzijde (boulevard en duinen) dienst gedaan als primaire waterkering. Bij een doorbraak van de Brielse Gatdam moeten deze getoetst worden aan de huidige normen.

#### **2.4 Modellen ter verbetering van het Oostvoornse Meer**

Voor Oostvoorne zijn door Adviesburo Hollandschap in 1995, 4 modellen ontwikkeld waarin wordt aangegeven hoe het Oostvoornse Meer zich zou kunnen ontwikkelen met betrekking tot natuur en recreatie (Hollandschap, 1995). In twee van deze modellen is de Brielse Gatdam doorgebroken. De basis van al deze modellen is dat het duingebied versterkt wordt, recreatie mogelijkheden uitgebreid worden en de beleving van het gebied verbeterd wordt. Hieronder worden de vier alternatieven opgesteld door Adviesburo Hollandschap beschreven. Aan het einde van dit hoofdstuk zijn de artistieke impressies van de 4 modellen toegevoegd.

##### *2.4.1 Model 1 : doorbreken Brielse Gatdam en optimum natuurontwikkeling*

Bij dit alternatief krijgt de zee weer vrij spel waardoor het Oostvoornse Meer weer zout wordt en de getijdenwerking terug komt. Verwacht wordt dat de zandbanken voor de kust zullen verschuiven naar het Oostvoornse Meer, dat daardoor ondieper zal worden. Uiteindelijk zullen zich nieuwe zandbanken vormen in het Oostvoornse Meer. Het gebied zal zich kunnen ontwikkelen tot een gebied met slikken en schorren, veel vogels, en een optimale beleving van de getijdenwerking van de zee. Een deel van de dam zal behouden worden als schiereiland voor vogels. De huidige boulevard en het duingebied zullen moeten worden verstevigd. Verder worden vormen van recreatie ontwikkeld waarbij het accent ligt op de natuur.

##### *2.4.2 Model 2 : doorbreken Brielse Gatdam en optimum recreatieve ontwikkelingen*

Ook bij dit alternatief krijgt de zee weer vrij spel. Door het verschuiven van de zandbanken zal het Oostvoornse Meer dichtslibben. Om het Oostvoornse Meer toch voor een deel als meer te houden zal naar een technische oplossing moeten worden gezocht. Het accent ligt in dit model op het uitbreiden van de recreatie. Dit wordt gerealiseerd door bijvoorbeeld het maken van aanlegplaatsen voor boten, het bouwen van een conferentieoord, het aanleggen van een camping, etc. De huidige boulevard zal moeten worden verhoogd.

##### *2.4.3 Model 3 : Brielse Gatdam handhaven en optimum natuurontwikkeling*

De Voordelta kan zich verder ontwikkelen zodat voor de kust een wad-achtig gebied ontstaat. De zee-invloed is alleen merkbaar in het gebied voor de Brielse Gatdam. Het Oostvoornse Meer wordt ontwikkeld tot een gebied waar veel natuuractiviteiten kunnen plaatsvinden.

##### *2.4.4 Model 4 : Brielse Gatdam handhaven en optimum recreatie*

Het accent ligt nu niet op de beleving van het getijdengebied in het Oostvoornse Meer maar erbuiten. De natuurrecreatie in het meer wordt sterk ontwikkeld. Oostvoorne krijgt een eigen gezicht : het ligt nabij zee.

##### *2.4.5 Keuze model door gemeente*

Na overleg heeft de gemeente Westvoorne gekozen voor het voor alsnog niet doorsteken van de Brielse Gatdam. De belangrijkste redenen hiervoor zijn de hoge kosten van een nieuwe zeekering, onzekerheid met betrekking

tot het gedrag van de zandbanken ook in relatie tot het nieuwe spuidebiet van de Haringvlietsluizen en de aanleg van Maasvlakte 2. Maar als uit nader onderzoek blijkt dat geen dichtslibbing zal optreden en het acceptabel is een nieuwe zeewering te realiseren, dan wordt het doorsteken een mogelijk reëel alternatief.

## 2.5 Geplande ingrepen in het gebied

De vele menselijk ingrepen die de laatste decennia in het gebied hebben plaats gevonden, zie paragraaf 3.1.1, zijn nog niet ten einde. Naast de ideeën gelanceerd door het adviesburo Hollandschap over het doorsteken van de Brielse Gatdam, zijn er vergaande studies bezig naar de aanleg van een tweede Maasvlakte en naar een nieuw spuibeheer van de Haringvlietsluizen. Deze ingrepen worden hieronder beschreven.

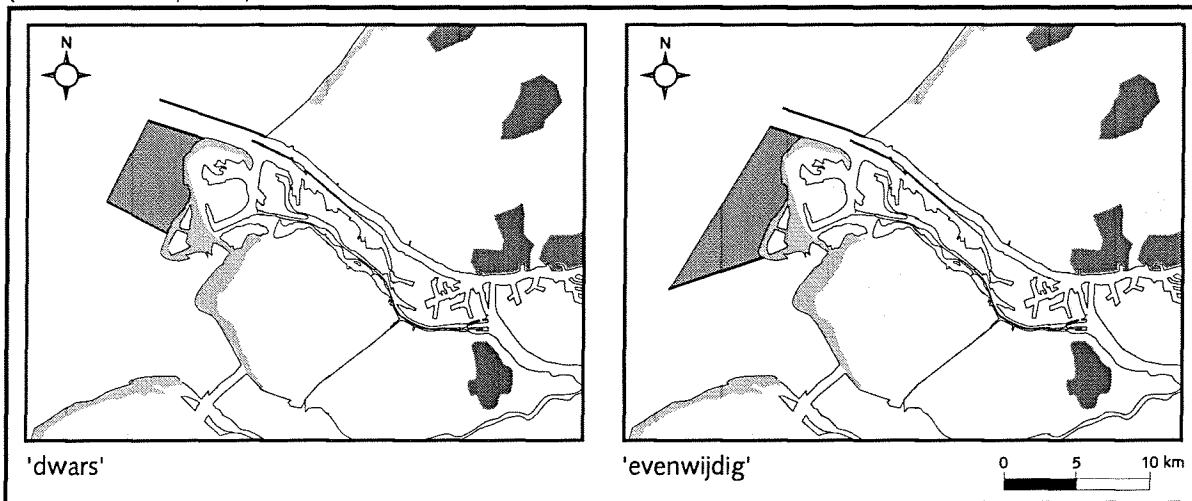
### 2.5.1 Vormgeving Maasvlakte 2

Vanwege het verwachte ruimtetekort in de haven van Rotterdam is in 1994 het project Maasvlakte 2 (MV2) gestart in het kader van het Plan van Aanpak van het ROM-project Rijnmond. De gemeente Rotterdam en het ministerie van Verkeer en Waterstaat zijn gezamenlijk initiatiefnemers van dit project. Het project MV2 richt zich zowel op het uitbreiden van haven- en industriegebied als op het uitbreiden van natuur- en recreatiegebied.

Bij de ontwikkeling van verschillende varianten van Maasvlakte 2 is onder andere uitgegaan van een streven naar 750 ha extra natuur- en recreatiegebied. Dit gebied zal zich in eerste instantie niet bevinden ten zuiden van de in 1984 gemarkeerde demarcatielijn. Wel kan natuurontwikkeling plaatsvinden aan de zuidrand van de Maasvlakte 2, ook al ligt dit gebied ten zuiden van de demarcatielijn. De grootte van Maasvlakte 2 is maximaal 3600 ha en moet goed toegankelijk zijn voor grote zeeschepen. Dit heeft in de voorstudie geleid tot 4 alternatieven, te weten een uitbreiding van de Maasvlakte met een evenwijdige kustlijn, een noordelijke ontwikkeling, een zuidelijke ontwikkeling en een eiland. De eiland variant brengt hoge kosten voor de infrastructuur met zich mee vanwege de bouw van tunnels, bruggen en pijpleidingen. Dit alternatief is daarom in de voorstudie niet nader onderzocht. In de voorstudie is gekozen voor twee extreme varianten : een vorm die ver in zee steekt (dwarse variant) en een vorm die zich zo dicht mogelijk in de bestaande kustlijn voegt (evenwijdige variant) (de Looff et al, 1995). In figuur 2.2 zijn de twee vormen weergegeven. De dwarse variant laat de monding van het Haringvliet zoveel mogelijk open terwijl de evenwijdige variant het mondingsgebied maximaal afschermt.

Door Frederic Harris (1995) is een morfologische studie uitgevoerd naar de effecten van de dwarse en evenwijdige variant van een tweede Maasvlakte. Later is door het Waterloopkundig Laboratorium een morfodynamische studie verricht naar de invloed van verschillende Maasvlakte 2 varianten met en zonder een ander spuibeheer voor de Haringvlietsluizen. In deze studie is een noordelijke (vergelijkbaar met de dwarse variant) een evenwijdige (vergelijkbaar met de evenwijdige variant) en een zuidelijke variant en een eiland onderzocht. De zuidelijke variant steekt verder zuidelijk de zee in dan de evenwijdige variant.

figuur 2.2 : De twee in de voorstudie beschouwde uitbreidingsvarianten van de Maasvlakte (de Looff et al., 1995)



Voor de aanleg van de Maasvlakte 2 is ca. 800 miljoen m<sup>3</sup> zand nodig. Dit zand kan gewonnen worden door een overdimensionering van de Euro-Maasgeul en een verdieping van het gebied direct ten noordwesten hiervan. Deze verdieping heeft een verwaarloosbaar effect op het gebied ten zuiden van de Maasvlakte, de Haringvlietmond.

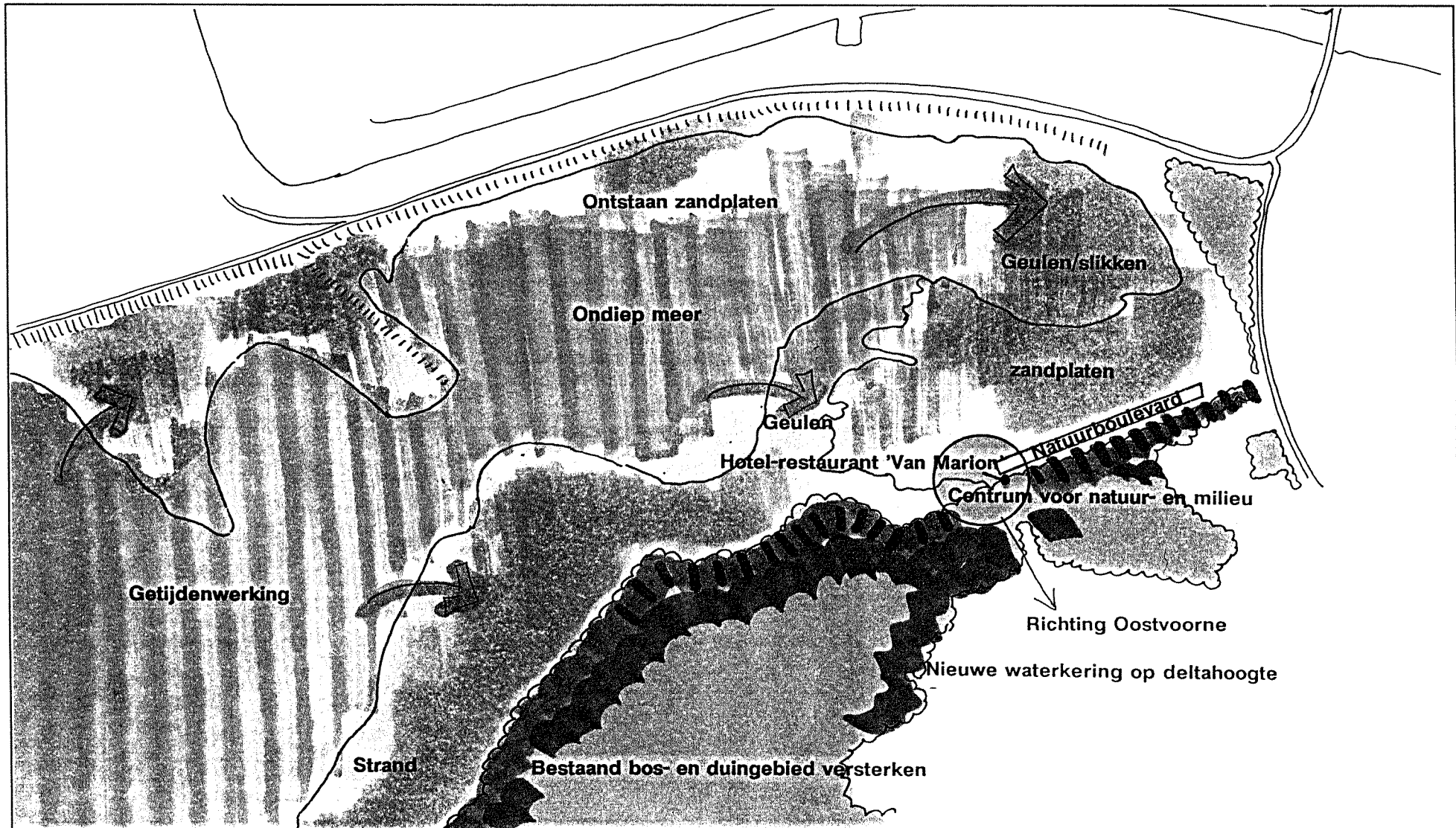
### 2.5.2 MER-studie Haringvlietsluizen

In 1970 zijn de Haringvlietsluizen in gebruik genomen als onderdeel van het Deltaplan. Het beheer is gericht geweest op het zo zoet mogelijk maken van het Haringvliet en zoutindringing via de Nieuwe Waterweg tegen te gaan. Het Haringvliet is een zoetwaterbekken geworden. In de loop der jaren is gebleken dat een aantal effecten optreedt die destijds van minder belang werden geacht en in sommige gevallen groter blijken te zijn dan destijds werd verwacht. Door de afsluiting is het watersysteem gewijzigd van een estuarium in een zoetwaterbekken met een beperkt getij. De negatieve effecten zijn vooral merkbaar aan het milieu. Door het wegvallen van de getijslag is een geconcentreerde golfaanval op de oevers van het Haringvliet ontstaan waardoor de stabiele oevers met flauwe hellingen zijn veranderd in onstabiele oevers met steilranden (startnotitie, 1994). Aan de zeezijde is een grote onregelmatigheid in de fluctuaties van het zoutgehalte hetgeen negatief is voor het ecosysteem. Het slib in het Haringvliet is erg vervuild, een voordeel is dat het geconcentreerd is in het Haringvliet en goed weggehaald kan worden. Als het slib is weggehaald zou in de toekomst een ander beheer van de sluisen gevoerd kunnen worden om op die manier de negatieve effecten voor de natuur te reduceren.

Om de effecten van een nieuw spuibeheer te onderzoeken is een MER-studie (Milieu Effect Rapportage) opgestart. Daarin worden de volgende aspecten bekeken : ecologie en landschap, morfologie en kwaliteit, water en zoutbeweging, visserij, drinkwater, landbouwwater en economische effecten. De verschillende alternatieven die getoetst worden zijn :

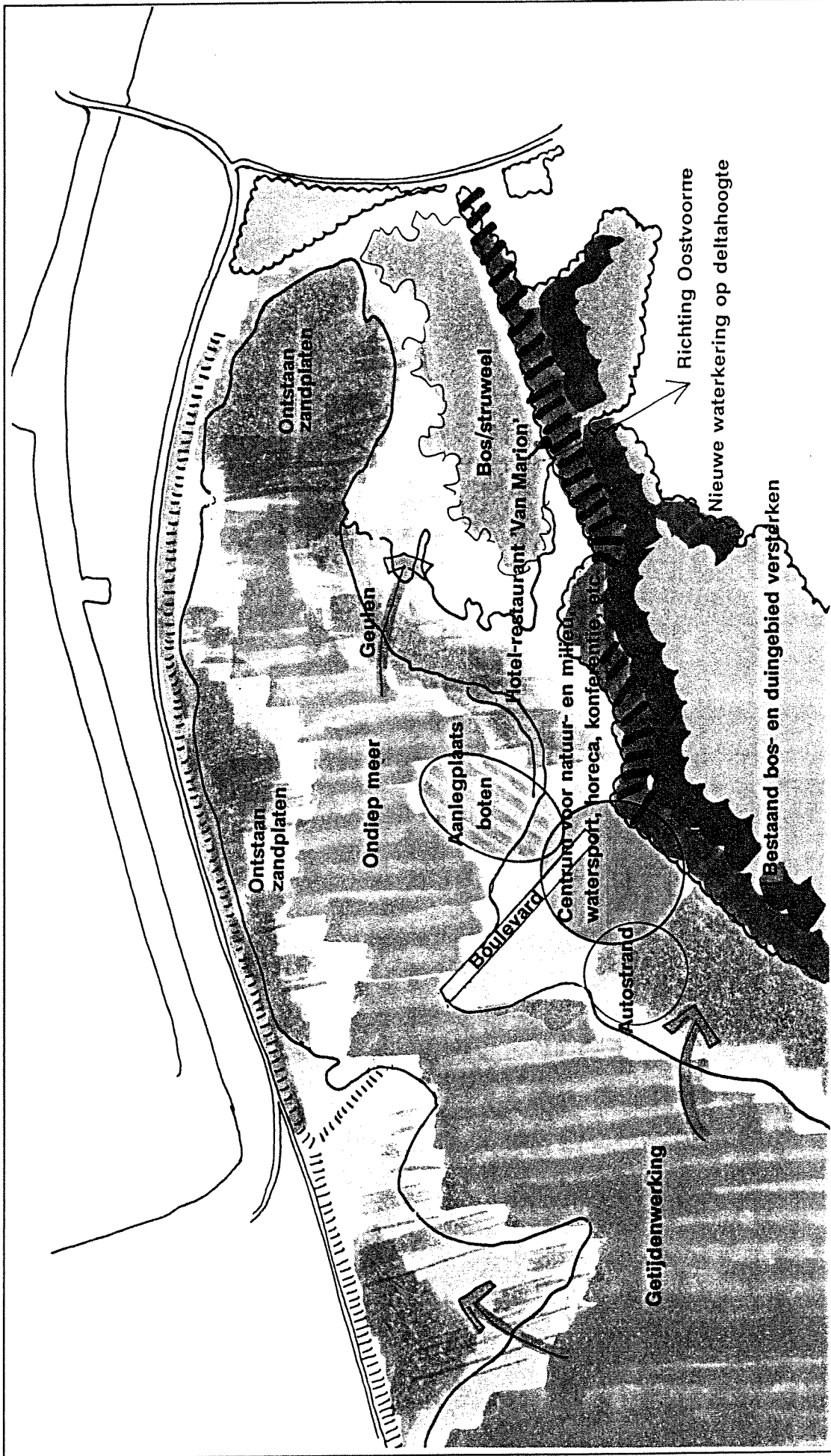
- Huidig beheer (LPH 84).  
Voortzetten van het huidige spuibeheer.
- Gebroken getij.
  - geen extra erosie naar de Noordzee.
  - geen significante verhoging van de zoutconcentratie bij de monding van het Spui.
  - geen significante verslechtering van de verziltingssituatie bij de mond van de Hollandse IJssel.
- Getemd getij  
Opening van 2000 m<sup>2</sup> gedurende 95% van de tijd (afvoer Lobith  $\geq$  1000 m<sup>3</sup>/s).

- Beheer als stormvloedkering.  
Sluizen alleen sluiten in geval van stormvloeden. De opening is dan 6000 m<sup>2</sup>.



Model 1

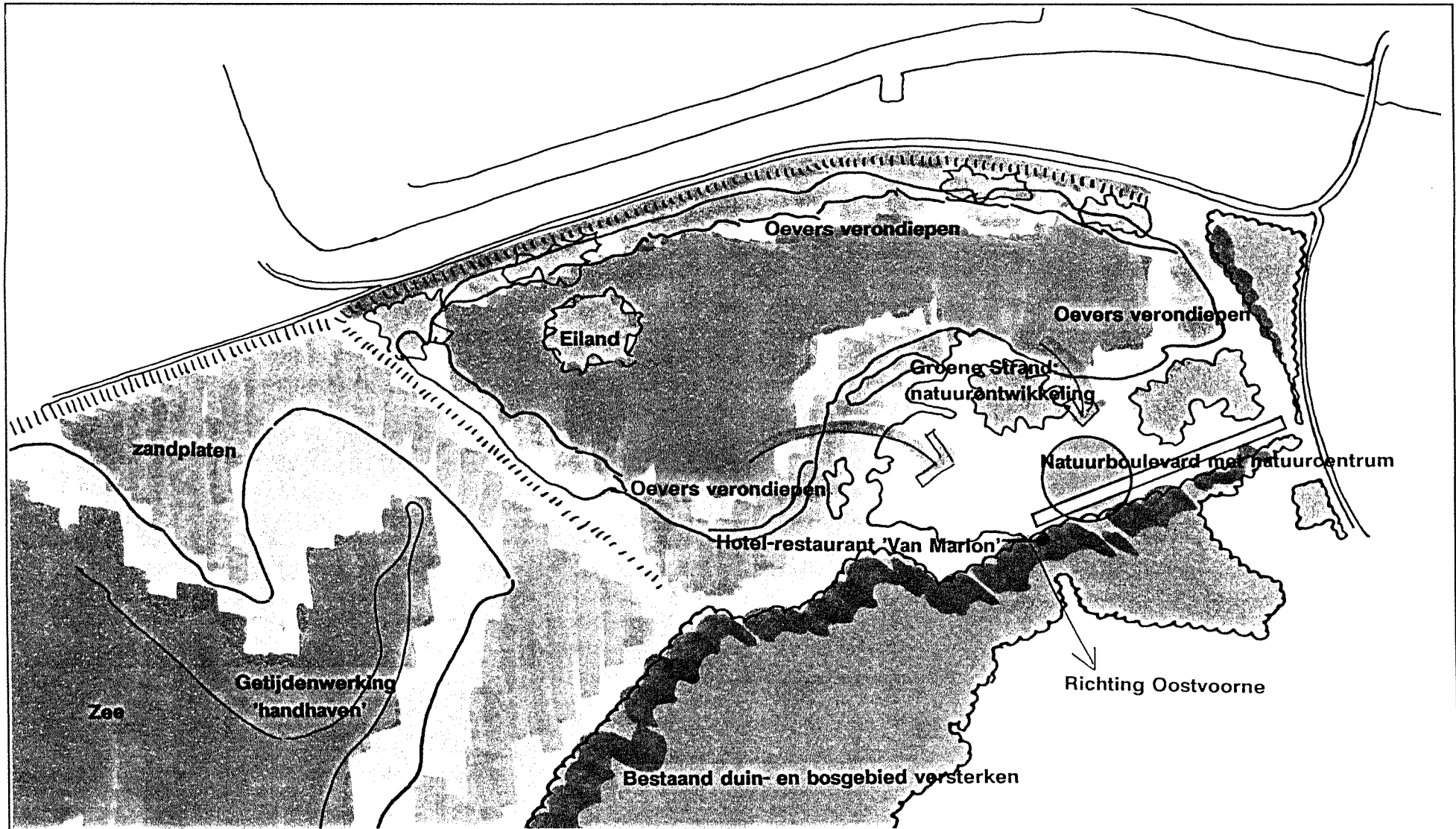
Brielse Gatdam doorbreken ≈ natuur



Model 2

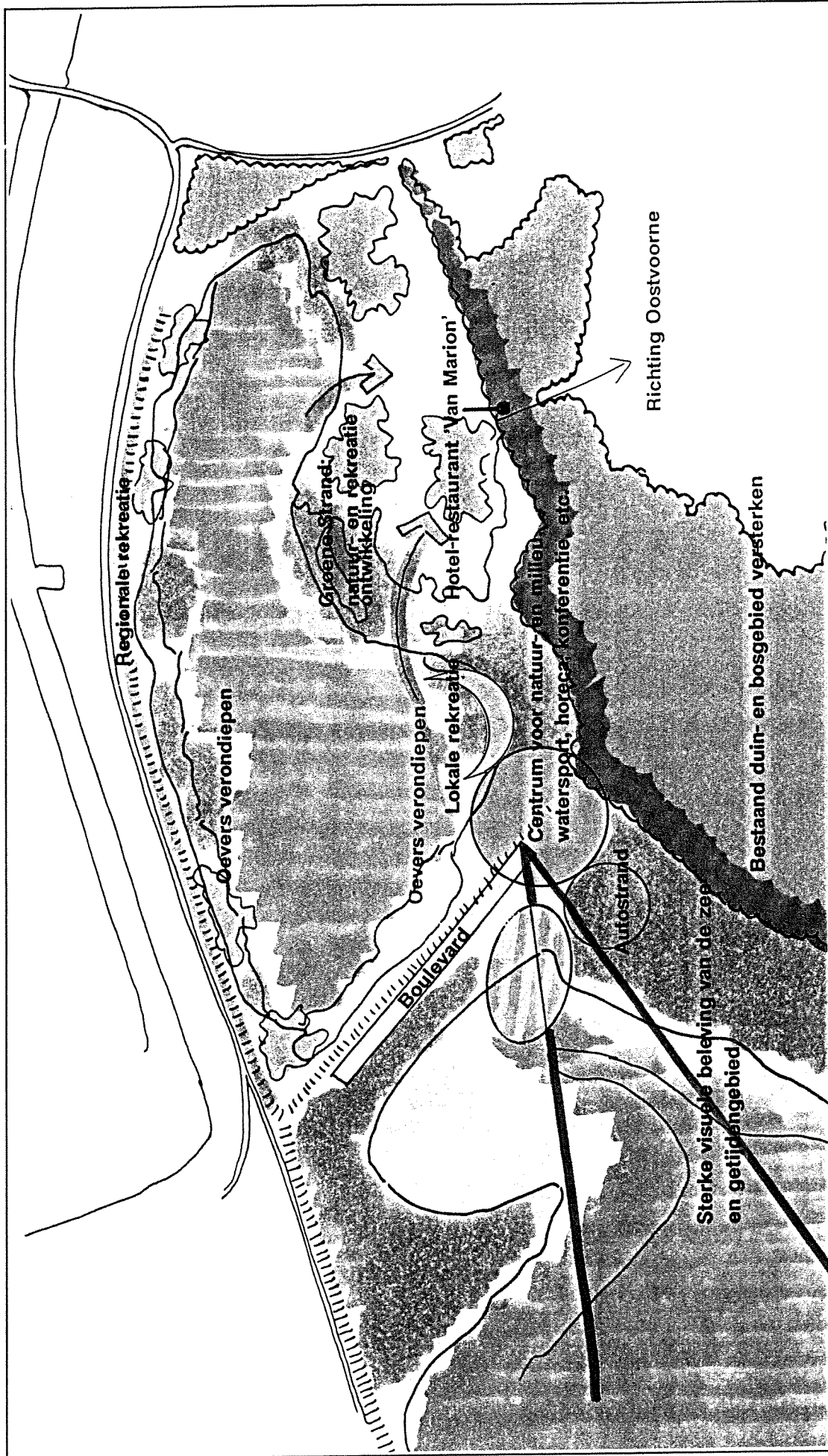
Brielse Gatdam doorbreken ≈ recreatie





Model 3

Brielse Gatdam behouden ≈ natuur



Model 4

Brielse Gatdam behouden ≈ recreatie

### 3. Morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmond

Het ondiepe zeegebied, de buitendelta, of ebdelta, van het Haringvliet is ontstaan door sedimentverplaatsingen. Doordat de met sediment beladen ebstroom uit de zeearmen zijn snelheid verliest wanneer deze in een breder stroomgebied komt, verliest deze zijn transporterend vermogen en ontstaat de ebdelta. De vorm en grootte van de delta zijn afhankelijk van de in- en uitgaande stroming, de golfwerking en het getijvolume van het Haringvliet-estuarium en de getijstroming op de Noordzee. Als de waterbeweging verandert zal de morfologie zich hieraan aanpassen. De hiervoor benodigde tijd is afhankelijk van de mate waarin het dynamisch evenwicht wordt verstoord en de hoeveelheid sediment die de natuur per jaar kan vervoeren om de nieuwe evenwichtssituatie tot stand te brengen. Bij de uitbreiding van de Rotterdamse haven en de aanleg van de Deltawerken sinds 1950 is de monding van het Haringvliet ingrijpend gewijzigd. De waterbeweging in het Haringvliet is hierdoor beïnvloed en de morfologie van de bodem is gewijzigd. In bijlage A zijn 6 kaarten afgebeeld van de Haringvlietmonding van 1850 tot nu. De eventuele ingrepen zullen de waterbeweging en morfologie weer beïnvloeden. In dit hoofdstuk zal eerst de huidige situatie geanalyseerd worden en vervolgens wordt een verwachting voor de toekomstige situatie beschreven.

#### 3.1 Analyse huidige situatie

De huidige morfologie in het mondingsgebied wordt in grote mate bepaald door de ingrepen die in het verleden hebben plaats gevonden. De morfologie is nog steeds bezig om zich aan de nieuwe situatie aan te passen. In figuur 3.1 is de huidige situatie van de monding van het Haringvliet weergegeven.

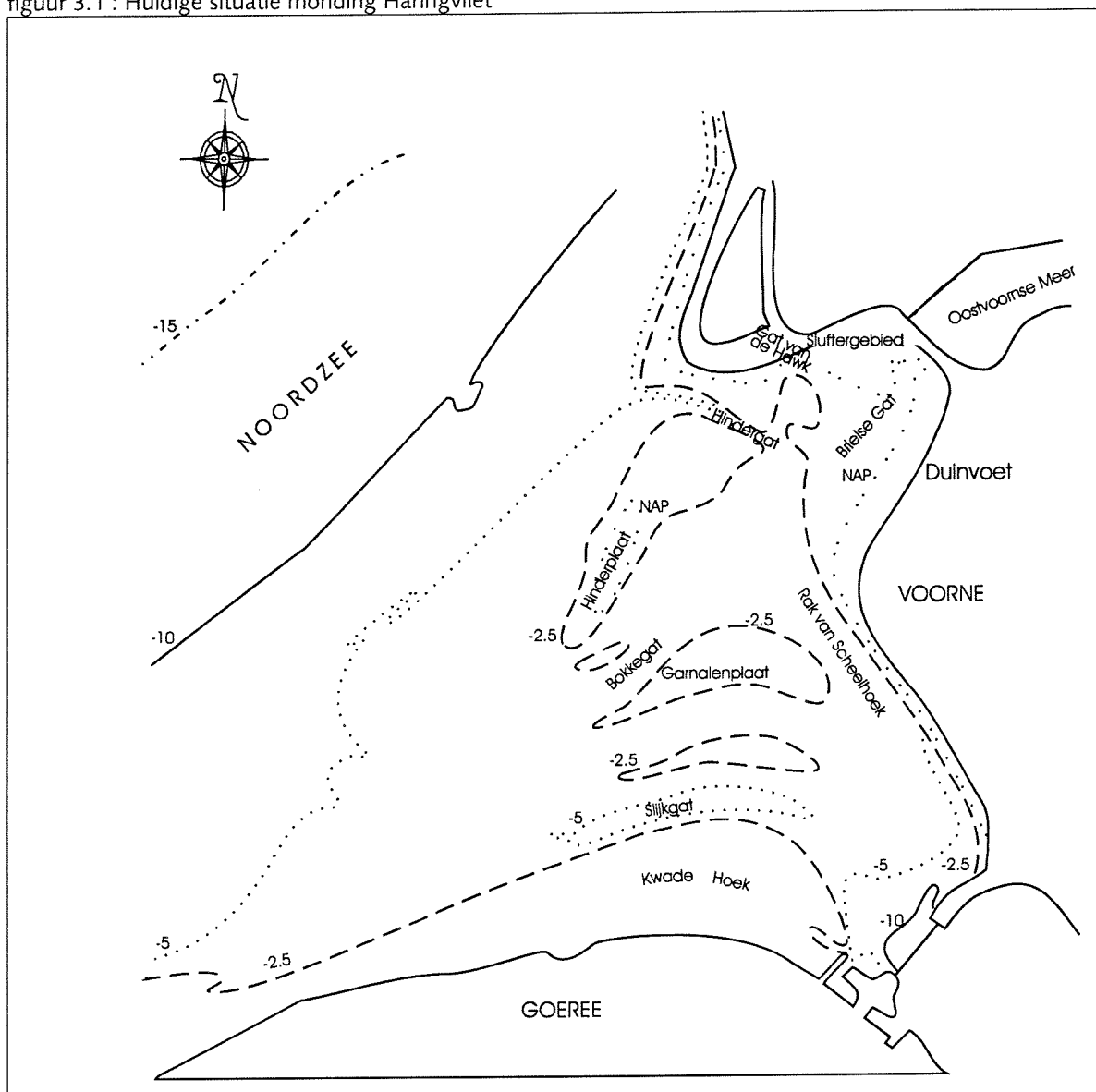
##### 3.1.1 Ingrepen in het gebied en de invloed op het getijprisma

Hieronder volgt een opsomming van de werken die sinds 1950 in het mondingsgebied van de Brielse Maas en het Haringvliet zijn uitgevoerd, zie figuur 3.2.

##### Afsluitwerken

1950	Afdamming Brielse Maas, waardoor het Brielse Meer is ontstaan.
1957	Bouw ringdijk bouwput spuisluisen Haringvliet.
1959	Bouw ringdijk bouwput schutsluis Haringvliet.
1966	Afdamming Brielse Gat, waardoor het Oostvoornse Meer is ontstaan.
1967 - 1968	Opruimen ringdijk rond spuisluisen, die vervolgens op 30 september 1968 werden opengezet. Daarna werd het sluitgat Noord Pampus afgesloten.
1968 - 1969	Aanbrengen bodembescherming in sluitgat Rak van Scheelhoek.
1969	Afsluiting Volkerak.
1970	Sluiten van de sluisen in het Haringvliet waardoor het Rak van Scheelhoek werd gesloten.
1971	Afsluiting Brouwersdam

figuur 3.1 : Huidige situatie monding Haringvliet



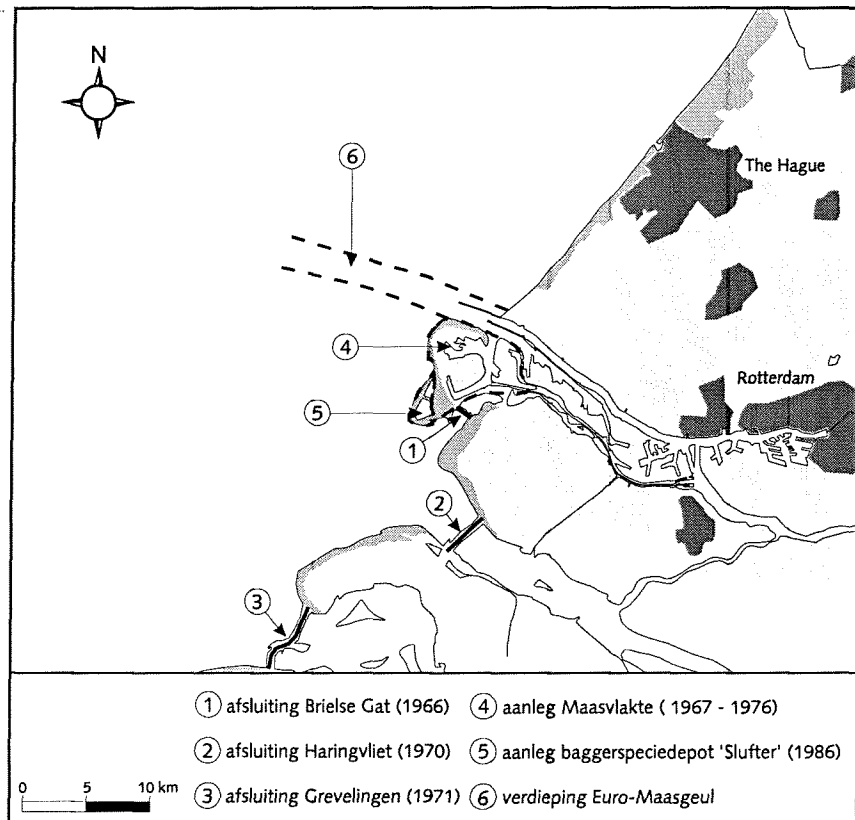
**Uitbreiding haven Rotterdam**

- 1964 - 1976 Aanleg van de Maasvlakte.
- 1964 Afsluiting resterende deel van het Sluissse Gat.
- 1986 Baggeren van het Hindergat en bouw van de Slufterdam waardoor het Gat van de Hawk werd afgesloten.

**Zandsuppleties**

- 1969 - 1985 Diverse suppleties op de kop van Goeree, in totaal 6,78 mln m<sup>3</sup> zand.
- 1974 - 1987 Diverse suppleties op de Voornse kust, in totaal 9,15 mln m<sup>3</sup> zand.
- 1992 Suppletie bij Slufterdam, in totaal 1,1 mln m<sup>3</sup>.
- 1994 Suppletie bij Goeree-Noord, in totaal 0,5 mln m<sup>3</sup>.

figuur 3.2  
Ingrepen in het gebied rond  
de Haringvlietmond



Door het afsluiten van de zeearmen is het getijvolume (= ebvolume + vloedvolume) in het gebied afgenomen. De afsluiting van de Brielse Maas had tot resultaat dat het getijvolume door raai c-c' , zie figuur 3.7, is afgenomen van 52 mln m<sup>3</sup> tot 18 mln m<sup>3</sup> (Terwindt, 1964).

Door de aanleg van de Brielse Gatdam is het Oostvoornse Meer ontstaan. Het getijvolume door het Brielse Gat nam hierdoor af met nog eens 9 mln m<sup>3</sup> ( Eysink, 1990a). In 1970 gingen de sluisen van het Haringvliet dicht en werd begonnen met het spuiprogramma van de sluisen. Het eb- en vloedvolume voor de aanleg van de Haringvlietdamsluisen was respectievelijk 270 mln m<sup>3</sup> en 210 mln m<sup>3</sup> ter plaatse van de dam (Haring, 1976). Tegenwoordig wordt alleen bij eb water uit het Haringvliet geloosd. Gemiddeld is dit 30 à 40 mln m<sup>3</sup> per getij.

Van 1967 tot 1969 werd de westelijke dam van de Maasvlakte in zee opgespoten, gevolgd door de bouw van de Zuiderdam in de periode 1970 - 1971, waarmee de kustlijn van de Maasvlakte werd vastgelegd. In 1986 is het Gat van de Hawk afgesloten door de bouw van de Slufterdam en is het Hindergat gebaggerd.

In de periode 1969 - 1985 is 6,78 mln m<sup>3</sup> zand op de kop van Goeree gesuppleerd waarvan in 1985 0,53 mln m<sup>3</sup> is gewonnen uit het Slijkgat. In de periode 1974 - 1986 is 6,35 mln m<sup>3</sup> zand op de kust van Voorne gesuppleerd (van de Haringvlietdam tot en met de Groene Punt). In 1986 en 1987 werd nog eens 2,8 mln m<sup>3</sup> gesuppleerd. Dit zand kwam niet uit het actieve gedeelte van de buitendelta, maar uit de havens van Rotterdam en uit het slufferdepot (Eysink, 1990a).

### 3.1.2 Waterbeweging

De waterbeweging in de buitendelta wordt hoofdzakelijk bepaald door :

- getijstroming
- golfgedrevenstroming
- komvulling en -lediging

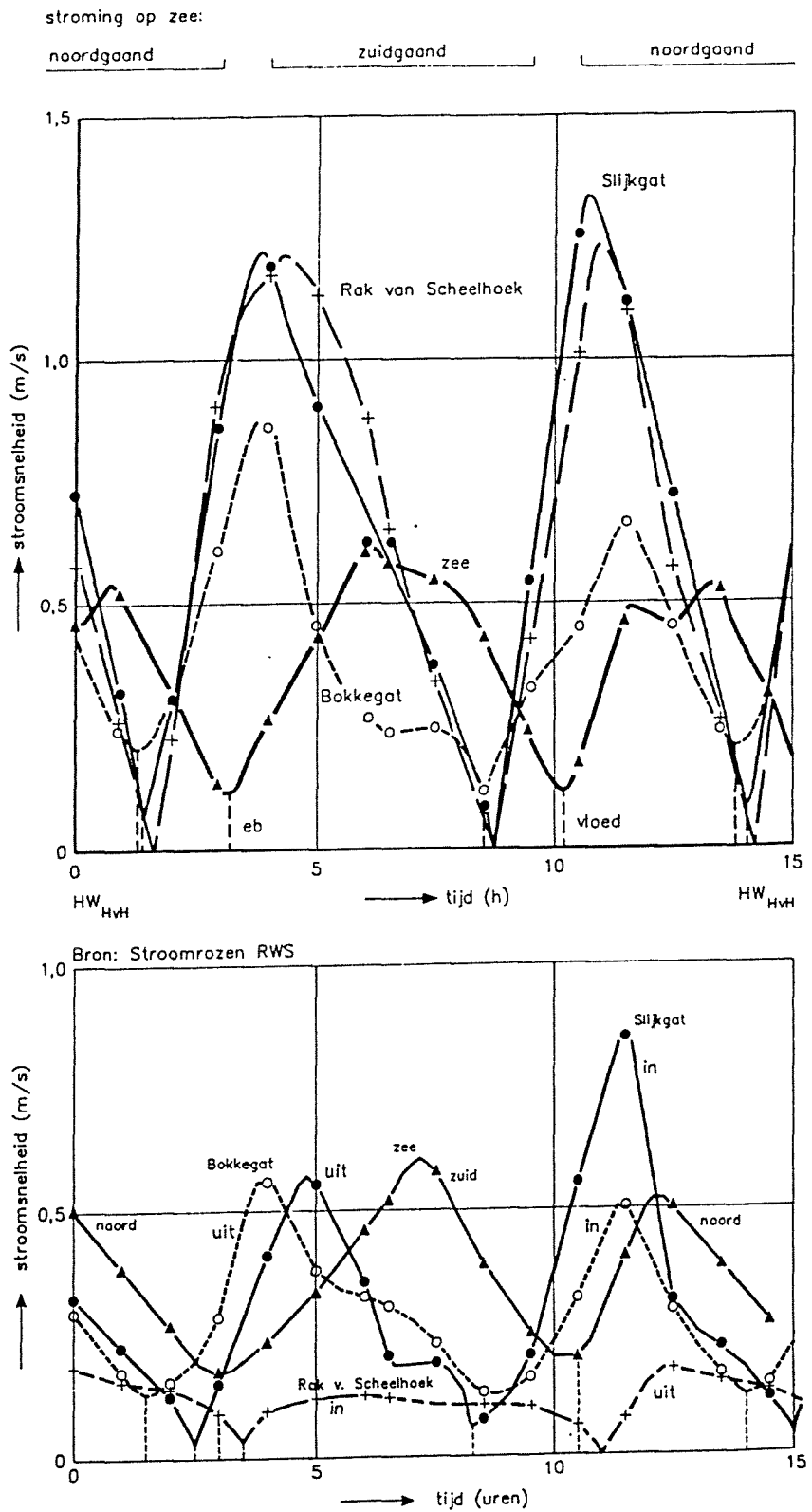
Het stromingspatroon in de Haringvlietmonding is complex, de kentering op zee vindt op een ander tijdstip plaats dan de kentering meer stroomopwaarts in de Haringvlietmonding waar de kentering wordt bepaald door het komvullingsproces.

Voor de afsluiting van het Haringvliet werd het stroombeeld in de geulen op de buitendelta gedomineerd door het vullen en ledigen van het Haringvliet - Hollands Diep-bekken waarbij het water tijdens vloed door het Slijkgat en het Gat van de Hawk stroomde. Bij eb stroomde het water weer door deze geulen terug, zie figuur 3.4.

Na afsluiting van het Haringvliet vervielen de sterke vul- en ledigingsstromen van dit estuarium en ging de stroming op zee een belangrijke rol spelen. De maximale stroomsnelheid voor de sluizen is met 80% afgenomen van 1,5 m/s tot 0,3 m/s (Louters et al, 1991). In figuur 3.3 zijn voor een aantal geulen de gemiddelde stroomsnelheden uitgezet zoals die waren voor de afsluiting en zoals ze nu zijn. De stromingssituatie is sterk gewijzigd na het sluiten van de Haringvlietsluizen. Met vloed stroomt het water via het Slijkgat en het Bokkegat de Haringvlietmonding in en tegelijkertijd stroomt water door het Gat van de Hawk, in 1986 vervangen door het Hindergat, naar de Noordzee. Met eb stroomt het water via het Slijkgat en het Bokkegat weer naar zee terwijl tegelijkertijd water via het Gat van de Hawk de Haringvlietmonding in stroomt, zie figuur 3.4. Het Rak van Scheelhoek voert nauwelijks nog stroom. In bijlage B zijn figuren uit de stroomatlas van voor (1960 -1966) en na (1970 - 1981) de afsluiting van het Haringvliet opgenomen waarin meer informatie over de stroming staat.

Tijdens de aanleg van de Slufterdam in 1986 - 1987 is het Gat van de Hawk vervangen door het nieuw gegraven Hindergat dat tegenwoordig een duidelijke functie heeft bij het vullen en ledigen van de buitendelta van het Haringvliet. Netto stroomt het water gedurende een getijcyclus rond de Hinderplaat in een richting die tegengesteld is aan de richting van de wijzers van de klok.

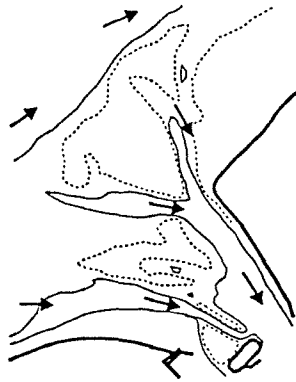
figuur 3.3  
 Gemeten gemiddelde  
 stroomsnelheden voor (boven)  
 en na (onder) afsluiting van het  
 Haringvliet ( Eysink, 1990a).



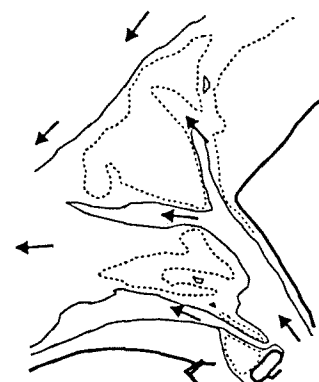
figuur 3.4

Stromingspatroon in de monding van het Haringvliet voor en na de afsluiting (van der Spek, 1987)

Stromingspatroon VOOR de afsluiting van het Haringvliet



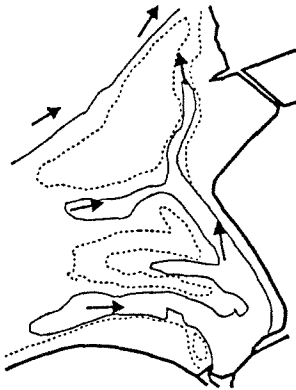
H.W.  
te Hoek van Holland



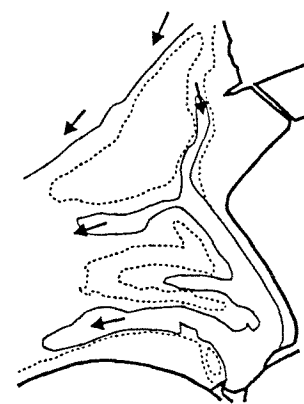
6 uur voor H.W.  
te Hoek van Holland

morfologie 1965  
stromingsituatie uit Rijkswaterstaat, 1970

Stromingspatroon NA de afsluiting van het Haringvliet



H.W.  
te Hoek van Holland



6 uur voor H.W.  
te Hoek van Holland

morfologie 1971  
stromingsituatie uit MER  
Projectnota Slufterdam, 1984

3.1.3 Morfologie

**Afsluiting van getijgeulen**

Bij de afsluiting van een getijgeul worden de getijstromen beperkt tot de komberging zeewaarts van de afsluitdam. De stroomsnelheden nemen in eerste instantie af tot een fractie van de oorspronkelijke waarde. Bij vloed wordt sediment vanaf de onderzeedelta aangevoerd dat bezinkt en niet meer in beweging komt totdat de kenmerkende snelheden de orde van grootte van de oude snelheden weer benaderen. De sedimentatie begint in de gebieden waar voldoende sediment in suspensie beschikbaar is, dus in de invloedssfeer van de golven. Door de golven worden op de onderzeedelta platen opgebouwd. Afhankelijk van de plaats van de afsluitdam kunnen drie verschillende evenwichtssituaties ontstaan.

\*De afsluitdam ligt binnen het bereik van de golven, situatie 2 in figuur 3.5.  
Er blijft nauwelijks enige komberging over zodat de golven het zand sneller



figuur 3.5

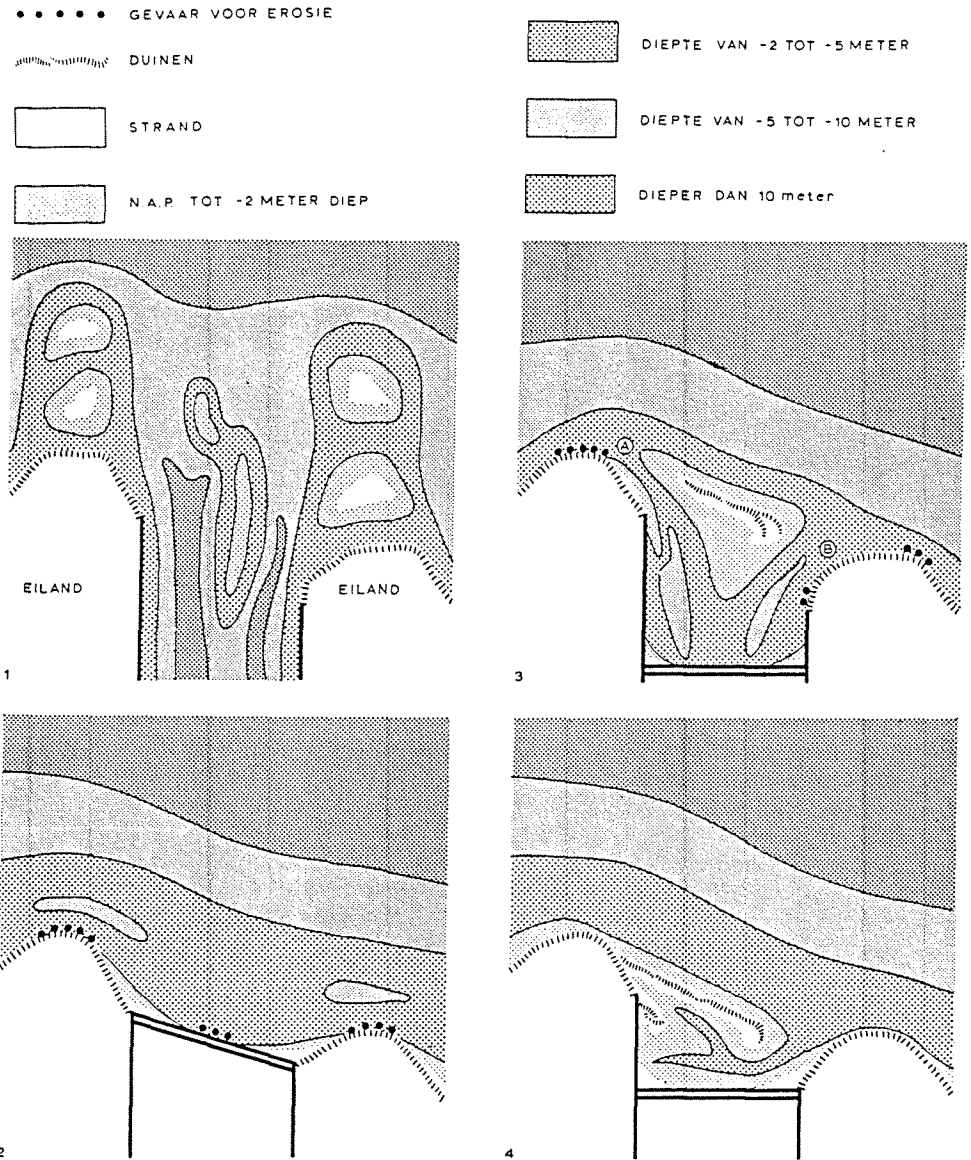
Mogelijke ontwikkelingen van afgesloten zeegaten.

1 : oorspronkelijke situatie

2 : afsluitdam ligt in de invloedssfeer van de golven

3 : afsluitdam ligt buiten bereik van de golven

4 : combinatie van 2 en 3



naar de dam toe verplaatsen dan de kombergingsstroom in staat is om het zeewaarts terug te brengen. Tegen de dam ontstaat een strand en kunnen duinen worden opgebouwd. Het bodemmateriaal wordt door de golven langs de strandkust verplaatst, totdat zich een dynamisch evenwicht tussen de aan- en afvoer van zand instelt. Het gebied zeewaarts van de dam zal zich volledig aan de noordoost-zuidwest gerichte getijstroom aanpassen met als gevolg een versterkte erosie van de koppen van de eilanden.

\*Een andere situatie zal ontstaan als de afsluiting buiten de invloedsszone van de branding is, zie situatie 3 in figuur 3.5. Het zeegat zal vernauwd worden door de aangroei van een bank of plaat totdat in de overgebleven geulen (A en B) de oude stroomsnelheden weer worden bereikt. De geulen kunnen in deze situatie groter worden dan alleen op grond van de overgebleven komberging mogelijk is. Als gevolg van faseverschillen in getij tussen de monden van de geulen kan behalve de vulling en lediging van de kom een niet te verwaarlozen doorstroming achter de plaat optreden. De plaat wordt hoofdzakelijk gevormd door zand dat afkomstig is uit de brandingszone. Door de verminderde afvoer door het zeegat zal de invloed van de getijstroom op de onderzeedelta verminderen. De delta zal overgaan tot het normale regime van de Noordzee waardoor er grotere diepten dichter

bij de koppen van de eilanden komen. Alleen in de invloedssfeer van de nieuwe geulen zal een veel kleinere onderzeedelta blijven bestaan. De koppen van de eilanden gaan eroderen omdat de stromen evenwijdig aan de kust en de golfaanval versterkt worden. In het zeegat zal sedimentatie optreden.

\* Een tussenvorm tussen beide beschreven situaties zal ontstaan als zowel de branding als het getij van invloed is in het gebied voor de dam, zie situatie 4 in figuur 3.5. Als een geul wordt opgevuld door het sedimenttransport, de branding langs het strand en het zand van de buitenbanken dan kan zich een strandhaak ontwikkelen en daarachter een haf die op den duur als "slufter" zal verlanden.

Na de afsluiting van de Brielse Maas heeft het gebied voor de dam zich ontwikkeld zoals situatie 3. In de monding is de Westplaat tot ontwikkeling gekomen, zie figuur 3.7. Ook de afsluiting van het Haringvliet heeft geresulteerd in een soortgelijke situatie, waarbij in de monding de Hinderplaat is ontstaan. Bij de afsluiting van het Brielse Gat is een andere situatie ontstaan, namelijk situatie 4. Voor de dam ontwikkelt zich een sluffer. In het vervolg van dit hoofdstuk zullen de opgetreden veranderingen in de Haringvlietmonding worden beschreven.

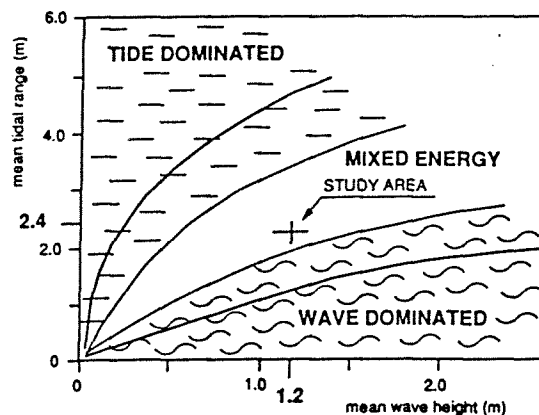
#### Algemene morfologische processen in de Haringvlietmonding

De morfologie in het Deltagebied wordt bepaald door de getijstromen in de zeegaten en de windgolven. Door het fase- en amplitudeverschil van de getijstromen tussen de eilanden ontstaan dwarsgeulen. Deze geulen zijn weinig stabiel, behalve degene voor de eilandkoppen. Het dwarstransport en de golven zijn in het gebied rond de eilandkoppen erg van belang. Boven het nivo van NAP -8 m versterken ze het sedimenttransport door getijstroming en beïnvloeden ze de richting van dit transport. Naarmate de gebieden ondieper zijn, wordt in de branding meer sediment kustwaarts verplaatst.

Vlak voor de koppen van de eilanden, op de ondiepe gronden, waar geringe stroomsnelheden voorkomen, hebben golven een belangrijke invloed op de zandbeweging. De golven worden op de eilandkoppen geconcentreerd zodat in de branding zand langs beide zijden van de eilanden naar de zeegaten wordt gevoerd.

Volgens de classificatie van Hayes (1979) kan de kust in het Deltagebied geclassificeerd worden als een gemengde-energie-kustlijn, zie figuur 3.6.

figuur 3.6  
Energieclassificatie van het  
Deltagebied (Hayes, 1979)



Dit houdt in dat zowel het getij als de golven van invloed zijn op de morfologie van de kust.

Na de afsluiting van het Haringvliet is het getijvolume (= ebvolume + vloedvolume) abrupt verminderd, het doorstroomprofiel van de geulen is daardoor te groot. De stroomsnelheid in de geulen neemt af waardoor de transportcapaciteit afneemt en sedimentatie optreedt. De getijgeulen gaan als

zandvang fungeren en worden opgevuld met zand en slib en het oppervlak van de platen neemt toe. Het zand voor de sedimentatie van de geulen komt vrij door erosie van de buitenrand van de Voordelta. Deze erodeert als gevolg van de weggevallen uitbouwende kracht van de vroegere ebstroom terwijl de kustwaarts opstuwende kracht van de golven en getijstromingen op zee zijn gebleven. Het transport van de geul naar de zandplaat is nihil. Op plaatsen waar de getijinvloed zwak is kan de invloed van de golven op het bodemprofiel gaan overheersen en worden platen gevormd.

Door afname van oost-west gerichte getijstrooming als gevolg van de afsluiting van het Haringvliet, vermindert het verhang in de richting van het zeegat en gaat het verhang evenwijdig aan de kust overheersen waardoor de geulen van richting veranderen.

De netto sedimentatie in de Haringvlietdelta in de periode 1970-1987 is 59 mln m<sup>3</sup> (=3,5 mln m<sup>3</sup> per jaar). Hiervan is 10% tot 30% marien slib, de rest is zand (Louters et al, 1991). Het merendeel van het slib wordt in de getijgeulen afgezet. In de periode 1990 - 1993 sedimenteert jaarlijks 1,5 mln m<sup>3</sup> in de monding van het Haringvliet. De totale import uit de Noordzee neemt af van 2,5 mln m<sup>3</sup> (1990 - 1991) tot 0,7 mln m<sup>3</sup> (1992 - 1993) (Biegel, 1995). Opgemerkt moet worden dat deze gegevens gebaseerd zijn op lodingen en dat er als gevolg van jaarlijkse variaties van de afvoer van het Haringvliet, jaarlijks grote verschillen kunnen optreden. Volgens Allersma en Ribberink (1992) komt 40% van het zand van de vooroever en 60% van de kop van Goeree (Bollen van Ooster). Dit komt goed overeen met de meting geanalyseerd door Biegel (1995). In het getijsysteem vindt een herverdeling van het sediment plaats hetgeen resulteert in een sedimenttransport in de monding van het Haringvliet van circa 9 mln m<sup>3</sup> per jaar (Postma, 1990). De delta fungeert als een zandvang waardoor het noordwaartse transport vanuit de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden richting de gesloten kust van Noord- en Zuid-Holland voor een groot gedeelte afgevangen wordt.

#### **Morfologische veranderingen in de periode 1950 - 1965**

In de periode 1950 - 1965 vindt, als gevolg van de vele ingrepen in het gebied, ongeveer een verdubbeling plaats van de oppervlakte van het intergetijde-gebied in de monding van de Brielse Maas (van der Spek, 1987). Na de afsluiting van de Brielse Maas vindt een snelle verzanding plaats waardoor alle kleinere platen, in één jaar tijd, samen de Westplaat vormen. De plaat draait evenwijdig aan de kustlijn. De westelijke oever vertoont kenmerken van een kustprofiel. De Westplaat groeit richting de kop van het eiland Rozenburg en breidt zich zuidwaarts uit terwijl een strandhaak ontstaat.

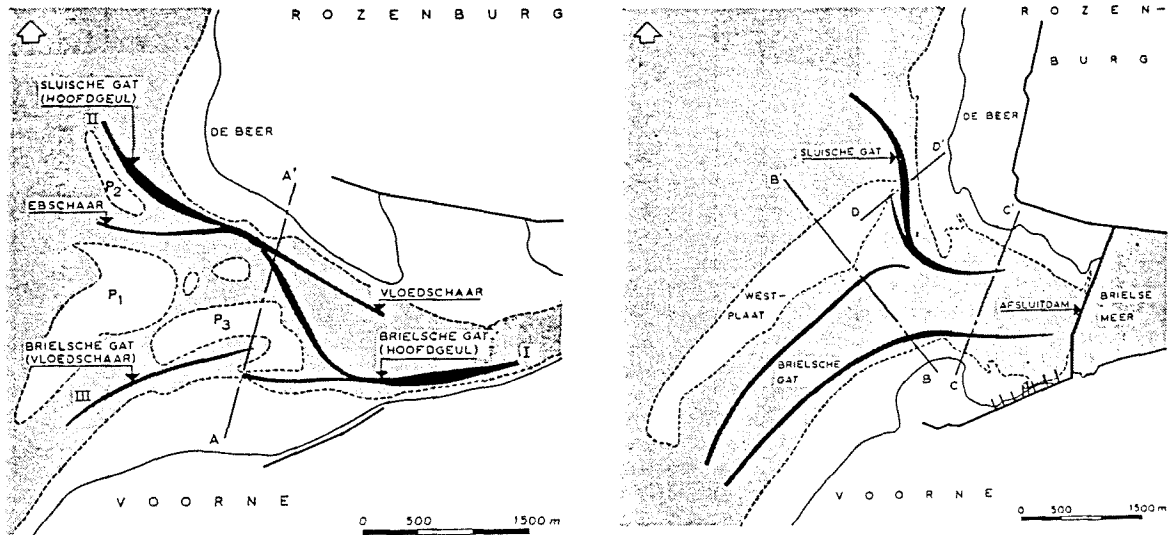
Het Sluise Gat verliest de vul- en ledigingsfunctie door de afsluiting van de Brielse Maas en verzandt, terwijl de geul onder invloed van de veranderde getijverhagen naar westelijke naar noordelijke richting draait. Gedurende de eerste fase, van 1950 - 1953, is het doorstroomprofiel tot 65% van het oorspronkelijke profieloppervlak afgenomen. Door erosie aan de ene oever en sedimentatie aan de andere oever is de geul van richting en positie veranderd. De geul verplaatst in de richting van het eiland Rozenburg. Na een periode van ongeveer 10 jaar is de profieldoorsnede vrij constant waaruit kan worden opgemerkt dat evenwicht is ontstaan tussen de getijafvoer en de profieldoorsnede. In figuur 3.7 is de situatie van de Brielse Maas mond in 1948 en in 1951 te zien. De evenwichtssituatie die zich heeft ontwikkeld in het gebied voor de afsluitdam is te vergelijken met situatie 3 in figuur 3.5.

In de periode september 1951 tot mei 1952 sedimenteert 300.000 m<sup>3</sup> per maand (=3,6 mln m<sup>3</sup> per jaar) (Rijkswaterstaat, 1962). Na die tijd wordt per jaar gemiddeld 1 mln m<sup>3</sup> zand afgezet (Rijkswaterstaat, 1968).

Het strand van Voorne en de Groene Punt groeien verder uit door een golfgedreven transport.

Het Gat van de Hawk is in deze periode vrij stabiel en fungeert als eb- en vloedgeul van het Haringvlietbekken.

figuur 3.7 : Brielse Maas in 1948, links, en 1951, rechts, (Rijkswaterstaat, 1962).



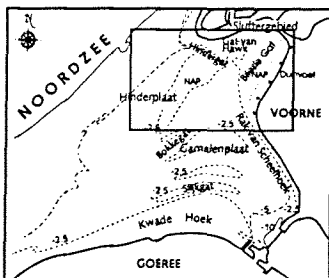
De ligging van het Bokkegat en het Gat van de Hawk wordt langzaam meer evenwijdig aan de vooroever.

De landzijde van de Zeehondenplaat, erodeert 100 m per jaar. De Zeehondenplaat is de plaat tussen het Rak van Scheelhoek en de geul Noord Pampus, zie kaart uit 1946 in Bijlage A. De plaat schuift in deze periode 1,5 km naar het noordwesten en wordt smaller. Door zowel de zuidelijke als noordelijke uitbreiding neemt het oppervlak van de plaat toe (Rijkswaterstaat, 1971).

In 1957 wordt begonnen met de bouw van de Haringvlietsluizen. De bouwput wordt aangelegd op de kop van de Plaat van Scheelhoek waardoor al het water uit het Haringvliet wordt afgevoerd door het Gat van de Hawk en de geul Noord-Pampus. Het punt waar het Rak van Scheelhoek zich splitst in het Gat van de Hawk en het Bokkegat verplaatst zich in zeewaartse richting.

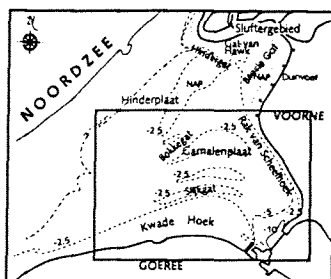
**Morfologische veranderingen in de periode 1965 - 1970**

In de periode 1965 - 1970 wordt de Maasvlakte aangelegd en het Brielse Gat en het Haringvliet afgesloten. Het getijvolume neemt fors af, hetgeen tot een grote afname van de geulprofielen leidt.



De Maasvlakte wordt gedeeltelijk op de Westplaat aangelegd. Het resterende deel van de plaat groeit zuidwaarts en gaat één geheel vormen met de kust van Voorne. Het Brielse Gat verondiept sterk als gevolg van de afsluiting van het Brielse Gat. De punt van het eiland Voorne wordt oostwaarts teruggedrongen.

Doordat het splitsingspunt van het Rak van Scheelhoek in het Gat van de Hawk en het Bokkegat tot 1969 in zeewaartse richting verplaatst wordt de zuidoostelijke punt van de Hinderplaat weggeërodeerd. Het splitsingspunt is ten opzichte van 1957 2 tot 3 km verplaatst (Rijkswaterstaat, 1970). De hoek tussen het Bokkegat en het Gat van de Hawk neemt toe tot ongeveer 75°.



De Hinderplaat komt onder invloed van de noord-zuid gerichte getijstrooming evenwijdig aan de vooroever te liggen en wordt minder driehoekig en meer langgerekt van vorm. Noordelijk en westelijk groeit de plaat constant aan. Onder invloed van de aangroei van de Hinderplaat naar het noorden, verplaatst het Gat van de Hawk in noordelijke richting. Tussen begin 1964 en medio 1968 is in het gebied van de Hinderplaat 6 mln m<sup>3</sup> zand en slib afgezet.

Het Slijkgat blijft grotendeels onveranderd. Met het Bokkegat verplaatst een ondiepte, de Garnalenplaat, naar buiten. Deze neemt door uitbreiding in

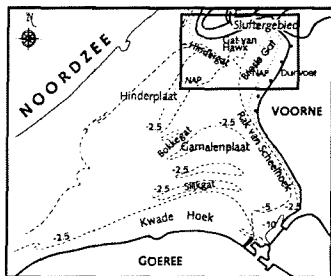
noordelijke richting in oppervlak toe. Een klein deel valt droog bij laag water. De middengeul verliest zijn betekenis (van der Spek, 1987). Aan de zuidkant van de Garnalenplaat ontwikkelt zich een nieuwe geul (Rijkswaterstaat, 1970).

Het water van het Haringvliet wordt afgevoerd door het Rak van Scheelhoek. Voor de bouwput ontstaat een ontgrondingskuil, Noord Pampus.

In het hele mondingsgebied landwaarts van de dieptelijn NAP -10m heeft een geleidelijke sedimentatie plaatsgevonden. De gemiddelde diepte neemt tussen 1956 en 1969 af met een halve meter. Dit komt overeen met een totale sedimentatie van ongeveer 80 mln m<sup>3</sup>.

**Morfologische veranderingen in de periode na 1970**

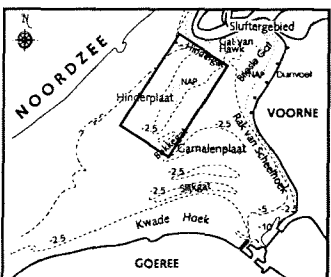
Na 1970 zijn, afgezien van de Slufter, de grote ingrepen voltooid en is de morfologie zich gaan aanpassen aan de nieuwe hydraulische situatie. Als gevolg van de vermindering van het getijvolume is het min of meer oost-west georiënteerde vul- en ledigingsysteem meer invloed gaan ondervinden van de optredende noord-zuid georiënteerde getijstroming. De invloed van golfgedreven transport is relatief meer van belang geworden. Deze verandering heeft grote gevolgen gehad voor zowel de omvang als de oriëntatie van de geulen. De dominante transportrichting van sediment is landwaarts. De vooroever erodeert terwijl in het mondingsgebied sedimentatie optreedt.



In het gebied voor de Brielse Gatdam is een wadachtig gebied, een gebied met platen en geulen, ontstaan. Het voormalige Brielse Gat is bijna volledig met sediment opgevuld. De ontstane situatie is te vergelijken met situatie 4 van figuur 3.5. Voor de dam is een "slufter" ontstaan met een geul, het Brielse Gat.

Het diepste gedeelte van het Gat van de Hawk verschuift in noordwestelijke richting. Landwaarts van de Hinderplaat wordt de geul aanzienlijk minder diep onder invloed van de aanzanding van het zuidelijke deel van de Maasvlakte. In 1986 is de Slufterdam aangelegd en daarmee het Gat van de Hawk afgesloten. Door het noordelijk deel van de Hinderplaat is een nieuwe geul gegraven, het Hindergat.

Rond de zuid-westpunt van de Slufterdam treedt erosie op van 185.000 m<sup>3</sup> per jaar. Bij de aansluiting van de dam met de Maasvlakte treedt sedimentatie op van 180.000 m<sup>3</sup> per jaar (Boer, 1992). Als geheel lijkt het op een plaatselijke herverdeling van het zand.

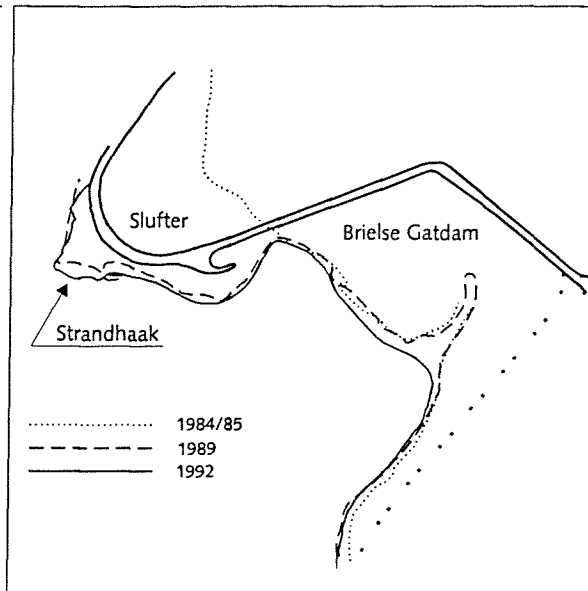


Rondom de Hinderplaat is een netto stroming aanwezig tegen de wijzers van de klok in door het Bokkegat en het Gat van de Hawk, later vervangen door het Hindergat. De rondstroming ontstaat door het faseverschil van het getij in de twee geulen. Door deze rondstroming treedt een netto zeewaarts gericht zandtransport op. Waarschijnlijk is net als voorheen bij het Gat van de Hawk dit stromingspatroon asymmetrisch met een zeewaarts gerichte component die 20% - 25% groter is dan die in de andere richting. Dit zeewaarts gerichte zandtransport heeft een uitbouwende werking en wordt tegengewerkt door de eroderende werking van het kustwaarts gerichte dwarstransport van golven.

Vorbij de zuid-westpunt van de Slufterdam vindt een aanzanding plaats van 225.000 m<sup>3</sup> per jaar. Sinds de aanleg van de slufterdam is sprake geweest van de vorming van een strandhaak, zie figuur 3.8 die de uitstroom van het Hindergat zuidwaarts doet opschuiven. Verder langs de zuidrand van de Slufter hebben zich nog enkele strandhaken ontwikkeld. Hieruit valt af te leiden dat er rondom de zuidpunt van de Slufterdam een brandingstransport is.

De zeevaartse monding van het Hindergat verplaatst in zuid-westelijke richting als gevolg van de naar het zuiden uitbreidende strandhaak. Het sedimenttransport rond de Hinderplaat is complex vanwege het eerder genoemde transportpatroon rond de Hinderplaat. Tijdens vloed wordt zand

figuur 3.8  
Ontwikkeling van de  
strandhaak (Snijders, 1995)

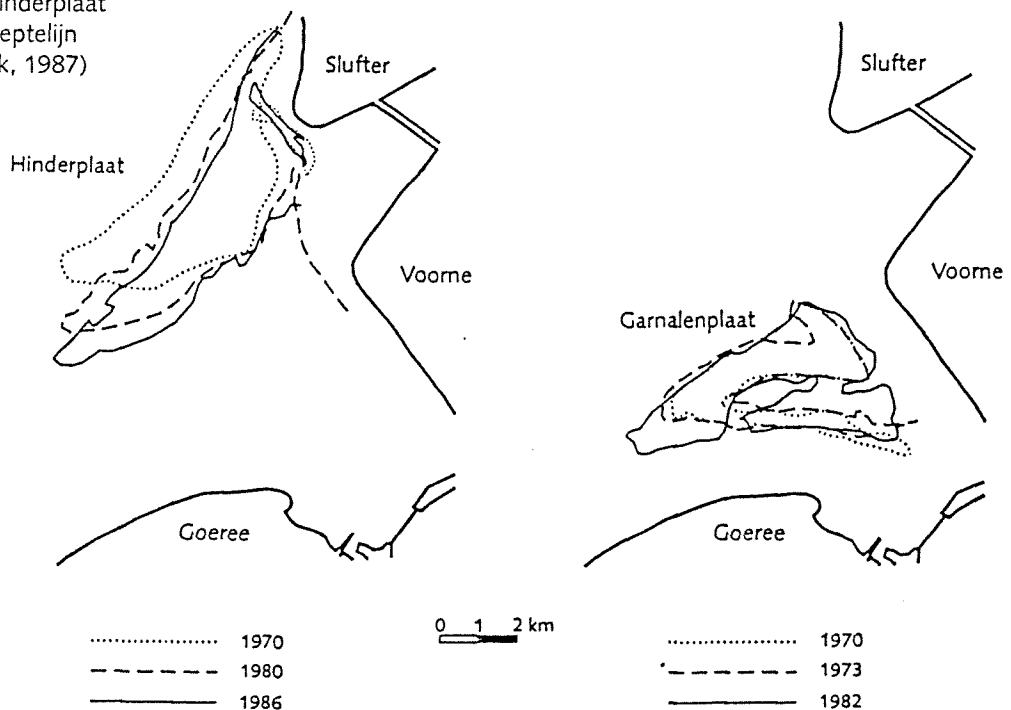


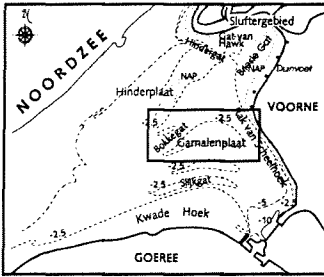
dat is afgezet ter plaatse van het zuid-westelijke uiteinde van de Hinderplaat getransporteerd door het Bokkegat. Dit zand wordt via de zeewaarts gerichte getijstrooming door het Hindergat opnieuw op de vooroever afgezet. Bij de landwaartse uitstroom van het Hindergat vindt erosie plaats. De zee- en landwaartse zijde van het Hindergat verplaatsen in zuidwaartse richting ten koste van de Hinderplaat.

De vooroever van de Hinderplaat erodeert als gevolg van een golfgedreven dwarstransport. Daarnaast vindt langs de Hinderplaat een langstransport plaats dat veroorzaakt wordt door de getijstrooming in combinatie met de golven. Door deze transportprocessen neemt de hoogte van de plaat langzaam toe en is hij sinds 1970 naar het zuidoosten uitgebreid en langer en smaller geworden, zie figuur 3.9. Het netto transport over de Hinderplaat is in zuidoostelijke richting. Sinds 1980 beweegt de zuid-westpunt zich, 70 m

per jaar, in landwaartse richting (van der Spek, 1987). Tussen 1990 en 1993 is de punt 500 m verplaatst in zuidoostelijke richting (Biegel, 1995).

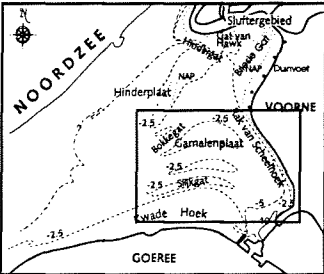
figuur 3.9  
Ontwikkeling van de Hinderplaat  
en de Garnalenplaat, dieptelijn  
NAP -5 m (van der Spek, 1987)





Het Bokkegat verondiept en verschuift door de zuidoost gerichte verplaatsing van de Hinderplaat, zie figuur 3.9. In 1988 is een nieuwe vloedgeul vanaf het Bokkegat over de Garnalenplaat naar het Rak van Scheelhoek doorgebroken (Postma, 1990).

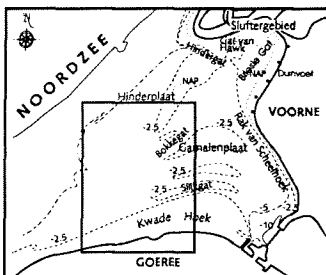
De omvang van de Garnalenplaat is toegenomen. Deze plaat is vooral in het zuidwesten aangegroeid, zie figuur 3.9. De plaat valt niet meer droog tijdens laag water. Door de zuidelijke uitbreiding van de Garnalenplaat sedimenteert de noordzijde van het Slijkgat.



Door het wegvallen van de sterke eb- en vloedstromen als gevolg van het sluiten van de Haringvlietsluizen gaat het Rak van Scheelhoek zich in de richting van het Gat van de Hawk uitstrekken en wordt smaller en ondieper. Het meeste spuiwater wordt via het Slijkgat afgevoerd. De voormalige getijgeul van het Slijkgat fungeert als zandvang. Na de afsluiting is de erosieve werking van de golven relatief toegenomen.

Door de lage stroomsnelheden in het Slijkgat sedimenteert het aangevoerde zand en slib. In de periode 1970 - 1981 is het meest landwaartse gedeelte van de geul 1,4 m verondiept (= 0,13 m/jaar) (Visser, 1984). Dit gedeelte is nooit gebaggerd omdat de geul daar voldoende diep is. De drempel aan de zeewaartse kant van het Slijkgat is 800 m in zeewaartse richting verplaatst terwijl de hoogte van de drempel (circa NAP -4 m) gelijk is gebleven. Deze drempel wordt gevormd op de overgang van golfgedomineerd transport (ten westen) naar stromingsgedomineerd transport (ten oosten van de drempel). Een verondieping van de drempel treedt op bij extreem hoge spuidebieten omdat het stromingsgedomineerd transport dan overheerst. Het transport van de geul naar de Kwade Hoek en de Garnalenplaat is nihil. De positie van de vaargeul varieert binnen een marge van 100 meter. Om de geul op een vaardiepte van 4,5 m te houden wordt regelmatig gebaggerd in het meer zeewaarts gelegen deel van de geul. In de periode 1983 - 1994 is 290.000 m<sup>3</sup> per jaar gebaggerd waarvan 50% commerciële zandwinning is (van Vesse, 1995).

Het Rak van Scheelhoek is voor de kust van Voorne met 4 - 6 m verondiept in de periode 1965 - 1990 (van Vesse, 1995). Een deel van deze verondieping komt doordat bij de afbraak van de ringdijk om de spuisluisen in het Haringvliet, in de periode 1967-1968, het zand in het Rak van Scheelhoek is gestort. Er sedimenteert veel slib sinds de stroomverlamming in 1970.

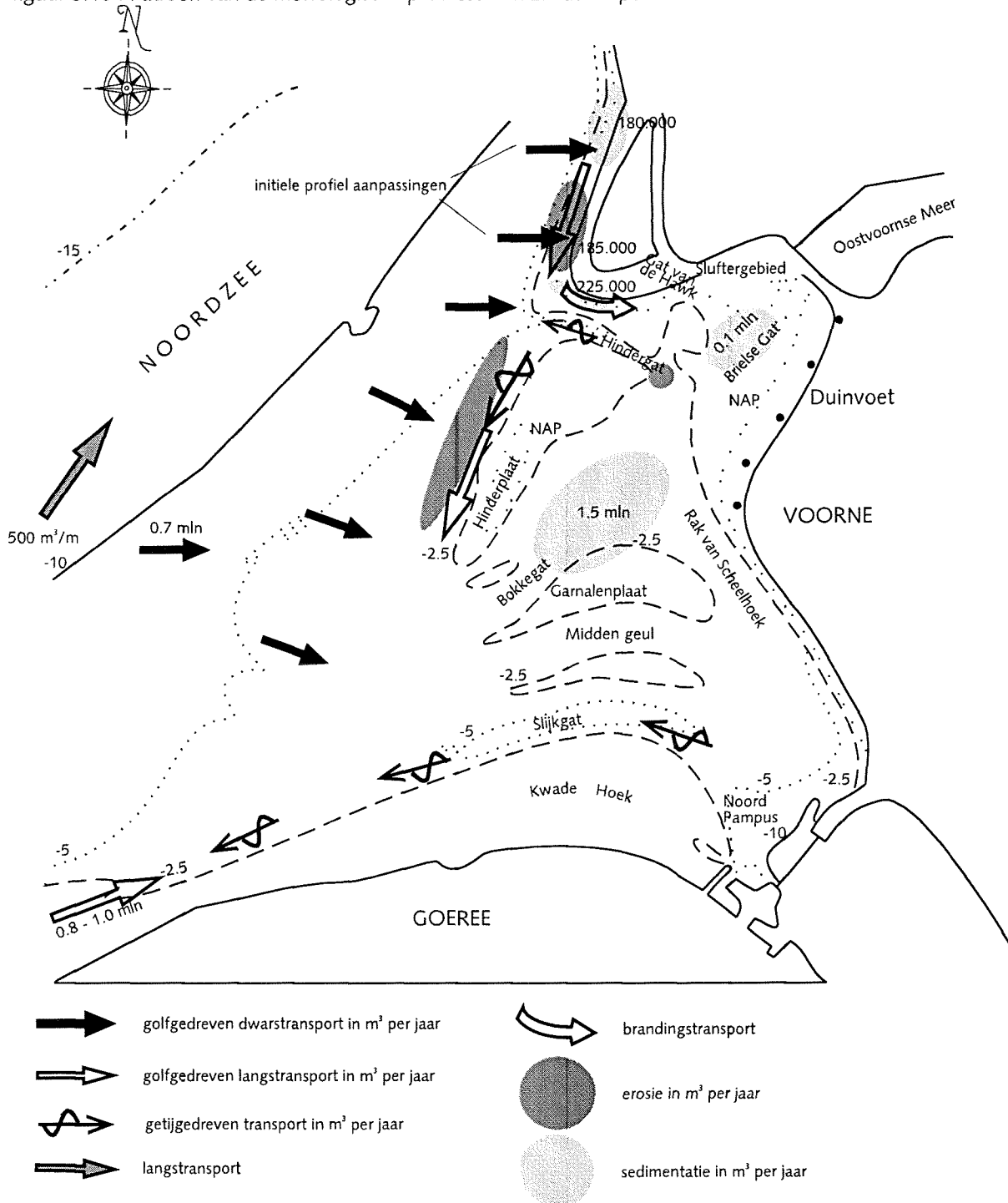


Langs de kust van Goeree is een golfgedreven stroming die sediment transporteert in noordoostelijke richting. Het materiaaltransport vindt plaats in een strook evenwijdig aan de kust. Dit transport bedraagt volgens berekeningen van Smit (1995) circa 1 mln m<sup>3</sup> per jaar. Uit berekeningen van het Waterloopkundig Laboratorium (Steijn, 1996) volgt een transport van 100.000 m<sup>3</sup> per jaar. Als ervan wordt uitgegaan dat de uitbreiding van de Kwade Hoek van 90.000 m<sup>3</sup> per jaar is ontstaan door langstransport langs Goeree, dan moet dit transport bij een hoogte van de Kwade Hoek van 5 à 6 m ongeveer 500.000 m<sup>3</sup> per jaar zijn. Deze waarde ligt tussen beide berekende waarden in. Door de afsluiting van het Haringvliet wordt de getij invloed minder, waardoor de Kwade Hoek uitbreidt. Het strandoppervlak is tussen 1974 en 1994 per jaar gemiddeld met 90.000 m<sup>2</sup> toegenomen (van Vesse, 1995). De uitbouw van de Kwade Hoek in noordoostelijke richting kan een bedreiging vormen voor het Slijkgat.

Een golfgedreven langstransport treedt op langs de zeewaartse oevers van de Hinderplaat, de Garnalenplaat en de kust van Goeree. Tussen de Hinderplaat en de kust van Goeree is de golfwerking dominant. Dat blijkt uit de uitbreiding van de Hinderplaat door dwarstransport dat op de vooroever plaatsvindt, gecombineerd met netto langstransport in zuidelijke richting. Tussen de Hinderplaat en de kust van Goeree vindt vanwege de geringe diepte (NAP -4 m) ook zandtransport plaats. Door de golfwerking op de platen sedimenteert het gebied ten oosten van de Hinderplaat.

In figuur 3.10 zijn de hierboven beschreven morfologische processen zoals die momenteel in de monding van het Haringvliet plaats vinden aangegeven. Schattingen van de netto zandtransporten worden ook in deze figuur gegeven. De waarden die hiervoor in de literatuur gegeven worden lopen nogal uiteen.

figuur 3.10 : Patroon van de morfologische processen en zandtransporten



### 3.2 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen zonder verdere ingrepen

De morfologische ontwikkelingen zoals ze nu gaande zijn zullen zich waarschijnlijk voortzetten als er geen verdere ingrepen worden gedaan in de Haringvlietmonding. De verkleining van de geulen zal doorgaan totdat



evenwicht is bereikt tussen het getijvolume en de profieldoorsnede van de geulen. Het golfgedreven zandtransport is door de afsluiting belangrijker geworden waardoor de landwaartse migratie van de zandplaten zich voort zal zetten en het zandtransport langs de kust zal toenemen. De dwarsdoorsneden van de geulen zullen nog meer afnemen tot de Haringvlietmonding in evenwicht is. Het zal nog enkele decennia duren voordat een evenwichtssituatie bereikt is.

Door de zandtoevoer via het zuidwaarts gerichte brandingstransport langs de zuidrand van de Slufter zal het gebied voor de Brielse Gatdam verder sedimenteren. De ontwikkelingen gaan de laatste jaren erg langzaam dus het lijkt erop dat dit gebied zijn asymptotische evenwichtswaarde nadert. Het dijkprofiel van de Slufterdam is in evenwicht en zal door het dwarstransport van golven niet meer aangetast worden. De optredende erosie en sedimentatie zal aanhouden waardoor de Slufterdam, zonder suppleties, zal draaien in een richting die meer correspondeert met de richting van de invallende golven. Er zullen suppleties nodig blijven om de functie van de dam te waarborgen.

De strandhaak zal zich verder uitbreiden in zuidwaartse richting, zodat de monding van het Hindergat ook in die richting zal verplaatsen. De optredende gradiënt als gevolg van het verhang zal groter worden tot deze zo groot is dat een doorbraak in noordelijke richting door de strandhaak ontstaat. De oude uitstroomopening zal verzanden en een mini-delta zal ontstaan voor de uitstroomopening van het Hindergat.

De Hinderplaat zal verder in zuidoostelijke richting draaien en naar het zuiden uitgroeien en smaller worden. De verdraaiing leidt op den duur tot een vergroeiing van de Hinderplaat met de Garnalenplaat. De Garnalenplaat groeit verder in noordelijke richting. Het Bokkegat verondiept en wordt smaller vanwege de uitbreidingen van de Hinderplaat en de Garnalenplaat.

Het Rak van Scheelhoek zal volledig verzanden.

Het Slijkgat en de geul Noord Pampus zullen net als in de huidige situatie aan sedimentatie onderhevig blijven. Het spuidebiet is niet groot genoeg om het Slijkgat op voldoende diepte voor de scheepvaart te houden. Daarom zullen jaarlijks grote hoeveelheden sediment uit het Slijkgat gebaggerd moeten worden. De geul Noord Pampus zal kleiner worden en zich terugtrekken richting de sluisen.

De zandimport vanaf de Bollen van Ooster (deze liggen ten zuidwesten van het eiland Goeree) langs de kust van Goeree zal blijven bestaan zodat de Kwade Hoek verder kan uitbreiden.

Op zeer lange termijn (orde van eeuwen) zal de invloed van het getij zo gering zijn dat alleen het Slijkgat rest dat het spuidebiet afvoert. De dimensie van de geul zal in evenwicht zijn met het getijvolume. De rest van de monding zal verzanden. Het gebied zal het karakter krijgen van een gesloten kust waardoor de zandhonger afneemt en de netto doorgaande zandbeweging langs de kust zal toenemen.

### **3.3 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een uitbreiding van de Maasvlakte**

De uitbreiding van de Maasvlakte heeft grote invloed op de waterbeweging, waterstanden en golven waardoor de morfologie zich anders zal ontwikkelen. De huidige bekkenvorm van het Haringvliet wordt door de aanleg van een tweede Maasvlakte versterkt. Dit leidt tot een opslingering van de getijgolf. De opslingering is bij de evenwijdige variant het grootst, 35 cm, bij de dwarse variant kan deze oplopen tot 20 cm (de Looft et al., 1995). Het getijprisma wordt hierdoor groter. Vanwege de relatie tussen getijprisma en

doorstroomprofiel zullen de doorstroomprofielen ook groter worden dan bij voortzetting van de huidige situatie.

Door de evenwijdige en zuidelijke uitbreidingsvorm wordt het Hindergat grotendeels afgesloten. Mede door de aanwezigheid van de Garnalenplaat verandert de mond van het Haringvliet in een bassin, waarbij de stromingen worden bepaald door de vul- en ledigingskarakteristieken door het Slijkgat. De absolute waarden van de eb- en vloednelheden veranderen niet, maar wel de richting van de stromingen. In de huidige situatie treedt een rondstroming op. Bij de evenwijdige uitbreiding is de stroomrichting bij het vullen bijna tegengesteld aan die bij het ledigen van het bekken. Bij de dwarse uitbreiding verandert niet zo veel. Het gebied waarover de rondstroming optreedt wordt groter.

De uitbreiding van de Maasvlakte heeft tot gevolg dat de golfaanval in de Haringvlietmonding wordt gereduceerd. Door de afname van golfenergie neemt de transportcapaciteit af. De mate van sedimentatie hangt af van de sedimentimport.

Door de aanleg van de Maasvlakte verdwijnt het golfgedreven transport langs de punt van de Slufterdam waardoor de zandtoevoer naar de kleinere strandhaken ten oosten van de grote Strandhaak en het Brielse Gat afneemt. De sedimentatie in het gebied zal langzamer verlopen.

De Maasvlakte zal het Hindergat afschermen waardoor de geul zijn stroomvoerende functie zal verliezen en zal aanzanden. Hierdoor en door het ontstaan van een kombergingsgebied zal de rondstroming rond de Hinderplaat afnemen. De sedimentatie in het gebied landwaarts van de Hinderplaat zal toenemen. Het gebied ten zuiden van de Slufterdam zal verzanden, maar in een langzaam tempo vanwege de afname van het zandtransport langs de Slufterdam.

Door de afname van de rondstroming rond de Hinderplaat zal door de oostwaartse golfgedreven zanddruk de Hinderplaat naar het oosten verschuiven en uiteindelijk vastgroeien aan de Garnalenplaat.

De vulling en lediging gaat via het Slijkgat waardoor de waterafvoer door die geul groter wordt, zeker in combinatie met het gewijzigde spuibeheer van de Haringvlietssluisen, en de geul zal verdiepen. De baggerwerkzaamheden in de geul kunnen beperkt worden. De uitbreiding van de Maasvlakte blokkeert de uitstroom door het Hindergat waardoor er geen water meer via het Rak van Scheelhoek naar het Hindergat zal stromen. De afvoer door het Rak van Scheelhoek blijft klein zodat de geul verder zal verzanden.

De golfaanval uit noordelijke richting (dwarse variant) en uit de richting noord tot west (evenwijdige variant) wordt gereduceerd en daarmee de golfenergie zodat het zand dat vanaf de Bollen van Ooster langs de kust van Goeree naar de Kwade Hoek wordt getransporteerd, niet meer de Kwade Hoek zal bereiken. Het zand wordt eerder afgezet waardoor meer zeewaarts sedimentatie optreedt en de Kwade Hoek zal verschuiven in zeewaarts richting. Het openen van de Haringvlietssluisen heeft hier een versterkende invloed op.

Uit de model berekeningen van Frederic Harris volgt dat bij de zuidelijke uitbreidingsvariant de sedimentatie van zand ongeveer 20% op jaarbasis zal afnemen. Deze afname wordt veroorzaakt door het veranderde golf en stroomklimaat als gevolg van de uitbreiding van de Maasvlakte. Als gevolg van de noordelijke uitbreidingsvariant neemt de sedimentatie met 15 % toe.

De morfodynamische model studie naar de aanleg van de zuidelijke variant van de Maasvlakte 2 (Steijn, 1996) levert de volgende resultaten :

- \* Er vindt aanzanding plaats in de hele Haringvliet monding. De waarden van de aanzanding variëren tussen de 0,05 m en 2,5 m per 5 jaar.

- \* De Hinderplaat verplaatst over de volle lengte in oostwaartse richting. Langs de zuidrand van de zuidwaartse uitbreiding treedt een grootschalige lichte aanzanding op.
- \* De uitstroom van het Hindergat wordt minder zuidwaarts gedrukt door de afname van de zuidwaarts gerichte zandtransporten langs de Slufterkust.

De evenwijdige uitbreidingsvariant geeft ongeveer hetzelfde beeld als de zuidelijke uitbreiding. De noordelijke uitbreidingsvariant zorgt voor een mindere afname van de zuidwaarts gericht transportstroom langs de Slufterkust. De zuidwaartse verplaatsing van de uitstroom van het Hindergat gaat bij deze uitbreidingsvariant door, alleen iets minder hard.

### 3.4 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een gewijzigd spui-beheer van de Haringvlietsluizen

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven is, zullen in deze studie het beheer als stormvloedkering, met een opening van de sluisen van 6000 m<sup>2</sup>, het getemd getij alternatief en het gebroken getij alternatief onderzocht worden. De veranderingen bij het beheer als stormvloedkering zullen het grootst zijn. In alle gevallen zal het getijvolume van de geulen groter worden waardoor de bijbehorende evenwichtsdoorstroomprofielen groter zullen worden en de geulen zullen gaan eroderen.

Bij het beheer als stormvloedkering zal een situatie ontstaan die enige gelijkenis vertoont met de situatie zoals die was voor 1970. Het getij wordt niet meer door de sluisen tegengehouden waardoor de golfgedreven transporten minder belangrijk worden en de getijinvloed terugkeert. De situatie waarbij het water uit het Haringvliet wordt afgevoerd door het Rak van Scheelhoek, Bokkegat en Hindergat zal niet meer zo terug komen zoals in 1970 het geval was. De opening van de sluisen ligt aan de landwaartse kant van de geul Noord Pampus dus zal het water vooral via deze geul en het Slijkgat worden afgevoerd. Het debiet dat door het Slijkgat gaat stromen is waarschijnlijk groot genoeg om de geul op voldoende diepte te houden. Het overtollige water zal via het Rak van Scheelhoek worden afgevoerd zodat deze geul nog een klein debiet moet afvoeren. De kust van Goeree zal eroderen door het eroderende Slijkgat.

Door de toegenomen getijinvloed zal de Voordelta niet meer eroderen maar gaan uitbreiden. De verdraaiing van de Hinderplaat wordt hierdoor gestopt en deze zal zijn langgerekte vorm verliezen en lager worden. De golfgedreven transporten langs de kust van Goeree zullen door het grotere debiet door de Haringvlietsluizen afnemen waardoor de aanzanding van de Kwade Hoek minder zal worden.

De ontwikkelingen in het gebied voor de Brielse Gatdam zullen niet veel invloed ondervinden van het nieuwe spui-beheer, wel zal de sedimentatie sneller gaan vanwege de toegenomen sedimenttransporten.

Uit de morfodynamische studie van het Waterloopkundig Laboratorium (Steijn, 1996) volgt dat de buitendelta van het Haringvliet zich duidelijk in zeewaartse richting uitbouwt. Het zand landwaarts van de NAP -5 m dieptelijn wordt geërodeerd en direct ten westen afgezet.

De veranderingen die optreden als gevolg van de andere alternatieven zullen ook richting de situatie van voor 1970 gaan, maar zullen minder groot zijn. Ook bij deze alternatieven zullen de geulen eroderen omdat de getijinvloed groter wordt. Het spuidebiet van de Haringvlietsluizen zal door het Slijkgat worden afgevoerd. Het spuidebiet is waarschijnlijk voldoende om de geul op voldoende vaardiepte te houden voor de scheepvaart. De uitbreiding van de Voordelta zal langzamer plaats vinden dan bij het vorige alternatief, net zoals de ontwikkeling van de Hinderplaat.

### 3.5 Hypothesen ten aanzien van toekomstige morfologische ontwikkelingen bij een doorgestoken Brielse Gatdam

Door het doorbreken van de Brielse Gatdam wordt de komberging vergroot. De invloed zal vooral merkbaar zijn in het noordelijke gedeelte van de Haringvlietmonding omdat het Brielse Gat in het noorden van het bekken ligt.

Het Oostvoornse Meer is erg diep vanwege de zandwinning die gepleegd is voor het aanleggen van de Maasvlakte. Als de Brielse Gatdam doorgestoken wordt, fungeert het Oostvoornse Meer in eerste instantie als een enorme zandvang. Al het zand en slib dat met de vloedstroom wordt mee gevoerd zal bezinken. Het slib dat zich nu voor de Brielse Gatdam heeft afgezet zal in suspensie raken en meegevoerd worden naar het Oostvoornse Meer waar het zal bezinken. Totdat de bodem van het Oostvoornse meer een diepte heeft bereikt van ongeveer NAP -2 m (dit was de diepte van het Brielse Gat voor afsluiting. Terwindt, 1964) zal er veel zand uit de Haringvlietmonding worden getrokken waardoor de huidige sedimentatie zal verminderen.

Als het Oostvoornse Meer met zand en slib is opgevuld, hetgeen ruim 100 jaar zal duren, zal zich een geulen- en platengebied vormen in het voormalig Oostvoornse Meer. De geulen zullen een diepte van ongeveer NAP -2 m krijgen zoals na de afsluiting van de Brielse Maas.

Het getijprisma in het gebied zal toenemen waardoor het Brielse Gat zal eroderen en een geul zal vormen naar het geulen- en platengebied dat zich (na eeuwen) zal vormen in het voormalige Oostvoornse Meer. De stroming door het Hindergat zal toenemen zodat deze geul zal uitdiepen. Het Hindergat en het Brielse Gat zijn de toevoergeulen voor het kleine kombergingsgebied dat zal ontstaan. De zuidwaartse uitbreiding van de Strandhaak zal worden tegengegaan door de sterke stroming door het Hindergat.

Door de aanleg van Maasvlakte 2 zal het noordelijk gebied van de Haringvlietmonding worden afgeschermd en ontstaat een kombergingsgebied. De getijslag vergroot waardoor het getijvolume groter wordt en de geulomvang toe neemt. Het doorsteken van de Brielse Gatdam versterkt dit effect.

## 4. Dataverzameling en -analyse

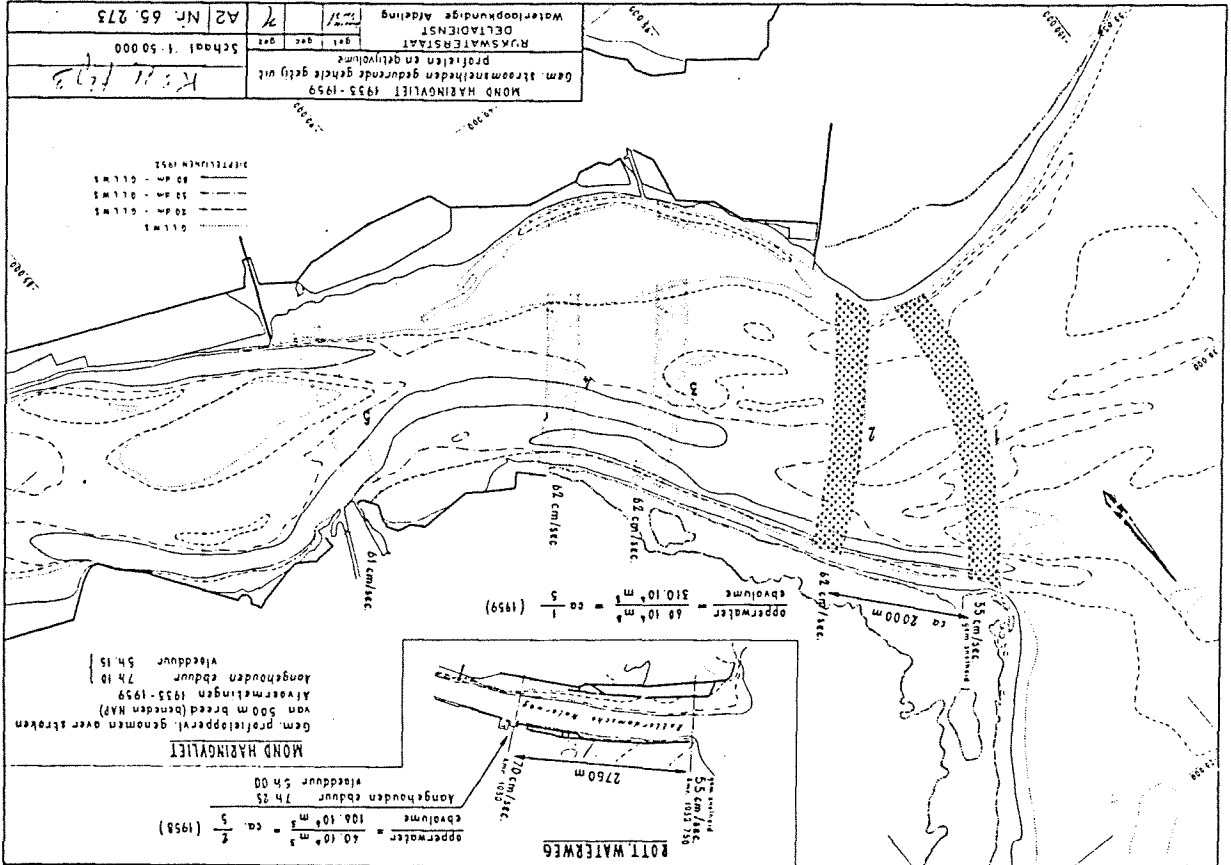
### 4.1 Verzamelen van meetgegevens

Voor het onderzoek naar de empirische relaties zijn meetgegevens nodig. In het mondinggebied van het Haringvliet zijn voor, tijdens en na de afsluiting veel metingen verricht. In de jaren rond de afsluiting zijn in de buurt van het Slijkgat veel snelheids- en debietmetingen gedaan. Verder wordt jaarlijks het bodemprofiel gemeten en worden continu gegevens over de waterstanden en de afvoer van de sluzen geregistreerd. Hieronder volgt een overzicht van de gebruikte meetgegevens.

#### Bodemprofiel

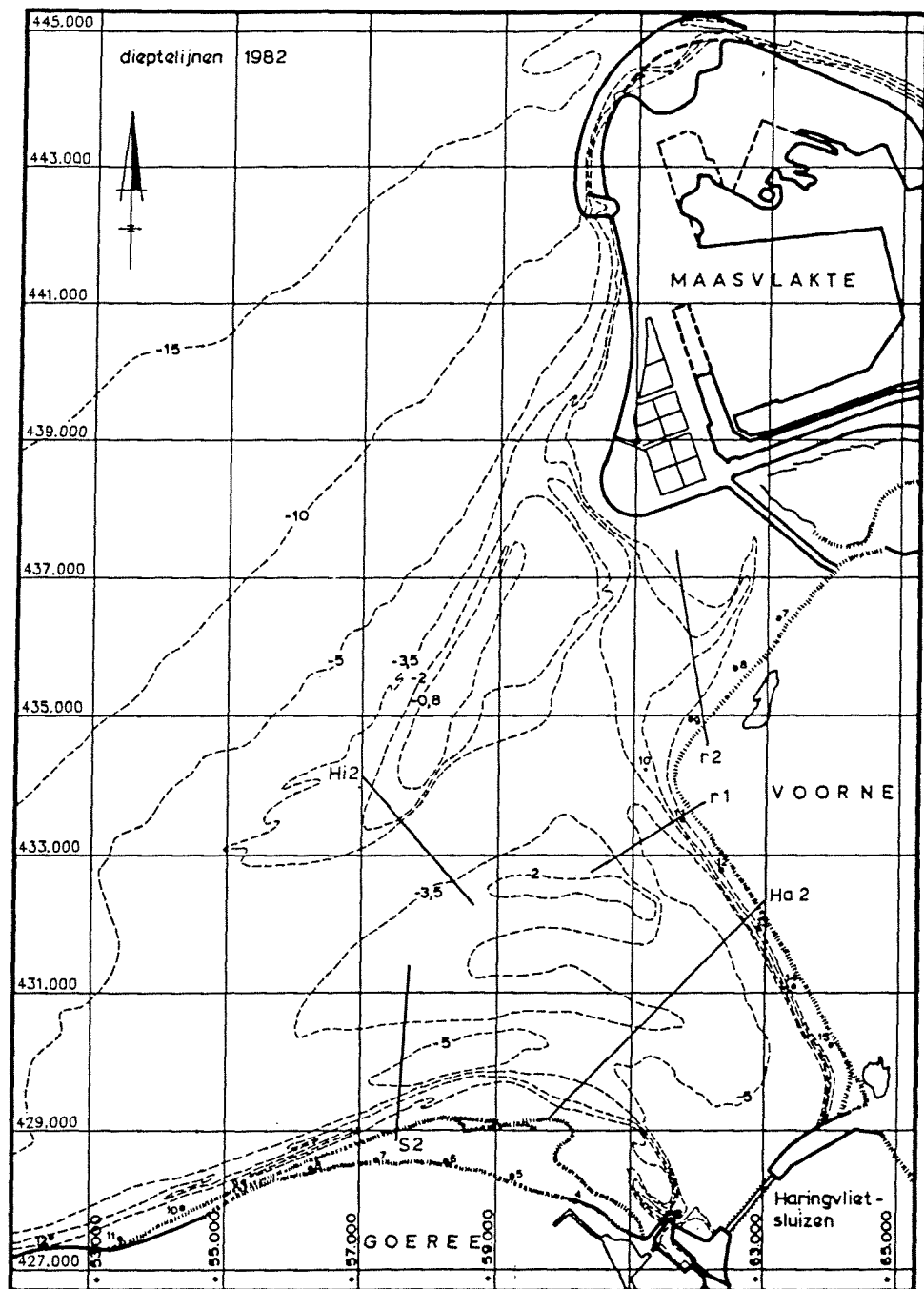
De gegevens met betrekking tot het bodemprofiel komen uit drie bronnen. \* Haring (1967) heeft onderzoek gedaan naar de relatie tussen het getijprisma en het profieloppervlak. Van een aantal doorsneden, in het Haringvliet, zijn de doorsnede en het getijprisma in de jaren 1933 en 1959 gegeven, zie figuur 4.1 voor de ligging van de raaien.

figuur 4.1 : Ligging van de door haring (1967) gebruikte doorsneden



Bodemprofielen werden voor 1951 opgemeten met een loodlijn, daarna werd een echolood gebruikt. De debietmetingen zijn tot halverwege de jaren 30 uitgevoerd met drijvers, later werden stroommeters gebruikt. \* Eysink (1990a) heeft voor zijn morfologische studie naar de buitendelta van het Haringvliet 5 raaien gedefinieerd, zie figuur 4.2 waarvan raai Ha2

figuur 4.2 : Ligging van de door Eysink (1990a) gebruikte raaien



overeenkomt met raai 2 van Haring. Van deze raaien zijn in 1969, 1972, 1978, 1982, 1984 en in 1989 de oppervlaktes van de doorstroomprofielen gegeven. Met behulp van stroomrozen en met gemiddelden van gemeten stroomsnelheden over de periode 1970-1981 heeft hij het getijvolme bepaald en daarmee het evenwichtsprofiel berekend.

\* Van de jaren 1957, 1970, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 en 1995 zijn digitale kaarten van de monding van het Haringvliet beschikbaar. Met behulp van GIS applicaties (Geografische Informatie Systemen) kunnen allerlei bodemgegevens, zoals oppervlakte, inhoud, natte omtrek, gemiddelde en maximum diepte en breedte, bepaald worden.

### Waterstanden

Rijkswaterstaat meet op een meetpost in de Haringvlietmonding continu de waterstand. Deze waterstandgegevens worden verzameld en in jaarboeken uitgegeven. Van 1973-1987 zijn de waterstanden gemeten op meetpost Haringvlietsluizen buiten. Daarna is tot 1992 de waterstand gemeten op meetpost Stellendam buiten. Vanaf 1993 worden de waterstanden nog verder zeewaarts gemeten op meetpost Haringvliet 10.

### Afvoer

De afvoer van de Haringvlietsluizen wordt ook continu gemeten door Rijkswaterstaat. Deze afvoergegevens worden ook in jaarboeken uitgegeven.

### Stroomsnelheden

Voor de jaren 1970-1981 is een stroomatlas gemaakt met daarin kaarten van de mond van het Haringvliet waarin, over de bovengenoemde periode gemiddeld, voor elk uur de stroomsnelheid aan de bodem en aan het oppervlak wordt weergegeven. De gegeven snelheden zijn over een uur gemiddeld.

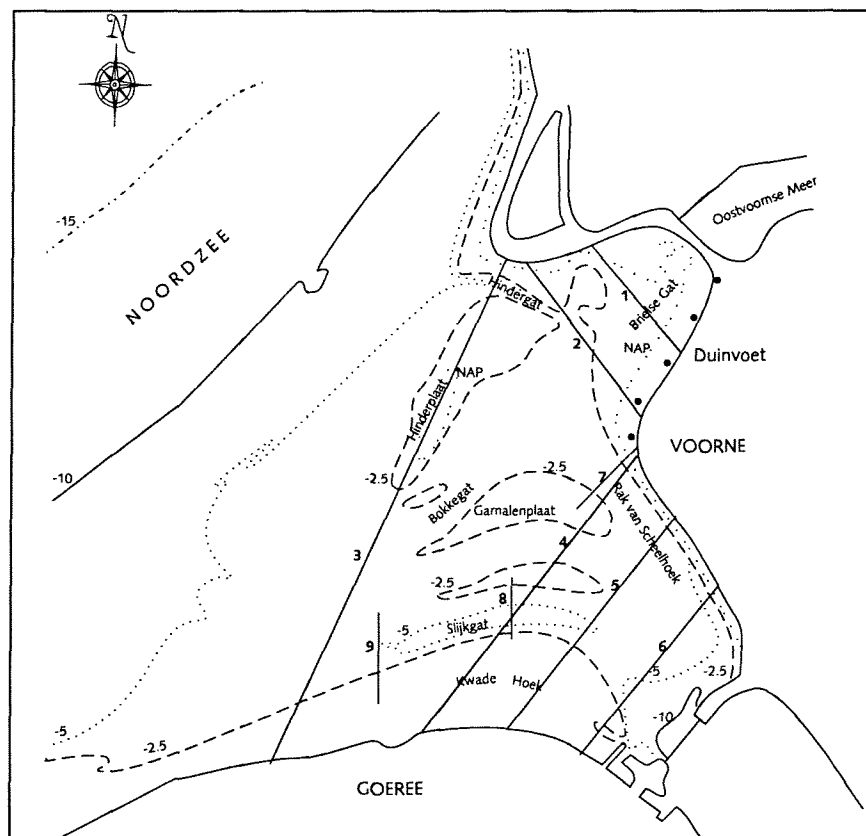
## 4.2 Verwerking meetgegevens

### Bodemprofiel

In de monding van het Haringvliet zijn 9 raaien gedefinieerd die gebruikt zijn bij het onderzoek naar de empirische evenwichtsrelaties, zie figuur 4.3 voor de ligging van de raaien. Daarnaast zijn 4 van de 5 raaien die door Eysink (1990a) gedefinieerd zijn, gebruikt. In bijlage C staan de coördinaten van de raaien vermeld. De omvang van het Hindergat en het Bokkegat worden mede bepaald door de rondstroming rond de Hinderplaat. Deze geulen zijn hier derhalve niet meegenomen.

Met de GIS-applicatie Geoprof zijn van de 13 raaien in de Haringvlietmonding voor de jaren 1970 en 1990-1995 het oppervlak van het doorstroomprofiel en de hydraulische straal (=Oppervlak van het doorstroomprofiel / Natte omtrek) bepaald. In het gebied voor de sluisen zijn dezelfde parameters in 1957 bepaald. Met een andere GIS-applicatie,

figuur 4.3  
Ligging van de 9 raaien  
waarvan met GIS de doorsnede  
is bepaald

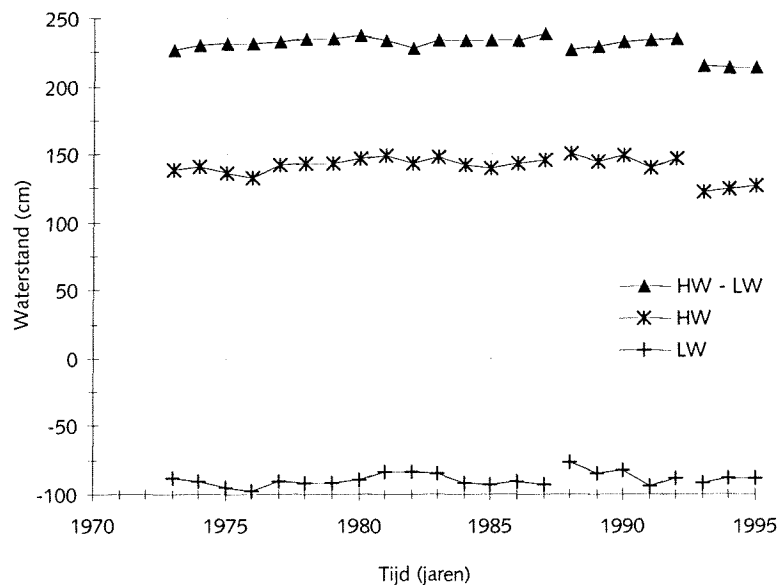


Vakgis, is voor dezelfde jaren de inhoud beneden NAP van het achterliggende gebied bepaald. Van de raaien 4, 5, 6 en Ha2 zijn naast de totale doorsnede en inhoud ook de doorsnede en inhoud van de afzonderlijke geulen bepaald.

### Waterstanden

De waterstanden voor het jaarlijks gemiddeld hoog- en laagwater worden gegeven in figuur 4.4. De gemeten gemiddelde hoogwater stand neemt in 1993 af met ongeveer 20 cm ten opzichte van de voorafgaande jaren. Deze afname wordt veroorzaakt door de veranderde meetpositie; meetpost Stellendam buiten ligt vlakbij de sluizen terwijl meetpost Haringvliet 10 verder zeewaarts ligt. In het bekken treedt een opslingering op van het getij, waterstanden verder zeewaarts gemeten zijn dus lager dan de waarden gemeten in de buurt van de sluizen. Het verschil tussen de meetposten Haringvlietsluizen buiten en Stellendam buiten is vanwege het geringe locatie verschil vrij klein. De opstuwing in het bekken kan bepaald worden aan de hand van het verschil tussen de over een aantal jaren gemiddelde waterstand in Haringvliet 10 en Stellendam buiten. Met behulp van de opstuwing kan voor elk punt de waterstand worden berekend.

figuur 4.4  
Waterstand in de mond van het haringvliet

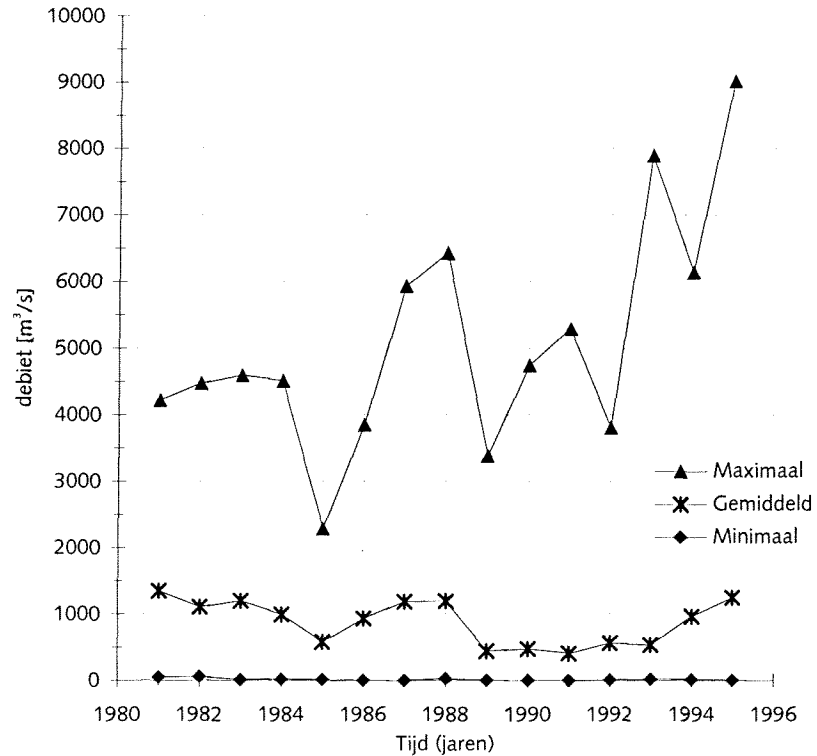


### Afvoer

De gemiddelde en maximale afvoer van het Haringvliet vertoont grote schommelingen zoals uit figuur 4.5 kan worden afgelezen. De gemiddelde afvoer van de sluizen, berekend vanaf 1981, is  $878 \text{ m}^3/\text{s}$ . Per getij is dit een extra volume van  $39 \text{ mln m}^3$ . Per jaar zijn er grote verschillen in de extra afvoer, in 1991 was dit volume  $18 \text{ mln m}^3$  terwijl in 1981 de extra afvoer  $60 \text{ mln m}^3$  was. De maximale afvoer vertoont nog grotere verschillen. In deze studie worden lange termijn ontwikkelingen onderzocht, variaties van korte duur zijn dan minder van belang. Op korte termijn heeft een extreem hoge afvoer veel invloed op de geul ontwikkeling, maar dit effect is op lange termijn niet zo belangrijk. Daarom is voor de afvoer van de Haringvlietsluizen de gemiddelde afvoer genomen van  $878 \text{ m}^3/\text{s}$ .



figuur 4.5  
Afvoer Haringvlietsluizen



### Getijvolume

Langs de Nederlandse zuidwest kust treedt de grootste snelheid van de langsgericte eb- of vloedstroom op bij een maximale of minimale waterstand. De maximale waarde van de dwarsgerichte eb- of vloedstroom in de bekkens treedt op halverwege hoog- en laagwater (Sha, 1993).

Door de geringe afmetingen van het Haringvlietbekken is het faseverschil tussen het getij aan de zeewaartse kant en aan de landwaartse kant vrij klein, dan geldt:

$$FV = (GHW - GLW) \cdot A_{hb}$$

$$EV = (GHW - GLW) \cdot A_{hb} + Q_r$$

$$TV = FV + EV$$

waarin :

FV = vloedvolume [m<sup>3</sup>]

EV = ebvolume [m<sup>3</sup>]

TV = getijvolume [m<sup>3</sup>]

GHW = gemiddeld hoogwater [m]

GLW = gemiddeld laagwater [m]

A<sub>hb</sub> = horizontaal oppervlak van het bassin [m<sup>2</sup>]

Q<sub>r</sub> = rivierafvoer per getij [m<sup>3</sup>]

Het getijprisma is in de literatuur niet eenduidig gedefinieerd, in deze studie is het getijprisma gedefinieerd als de helft van het getijvolume.

### 4.3 Vergelijking van data uit verschillende bronnen

#### Bodem

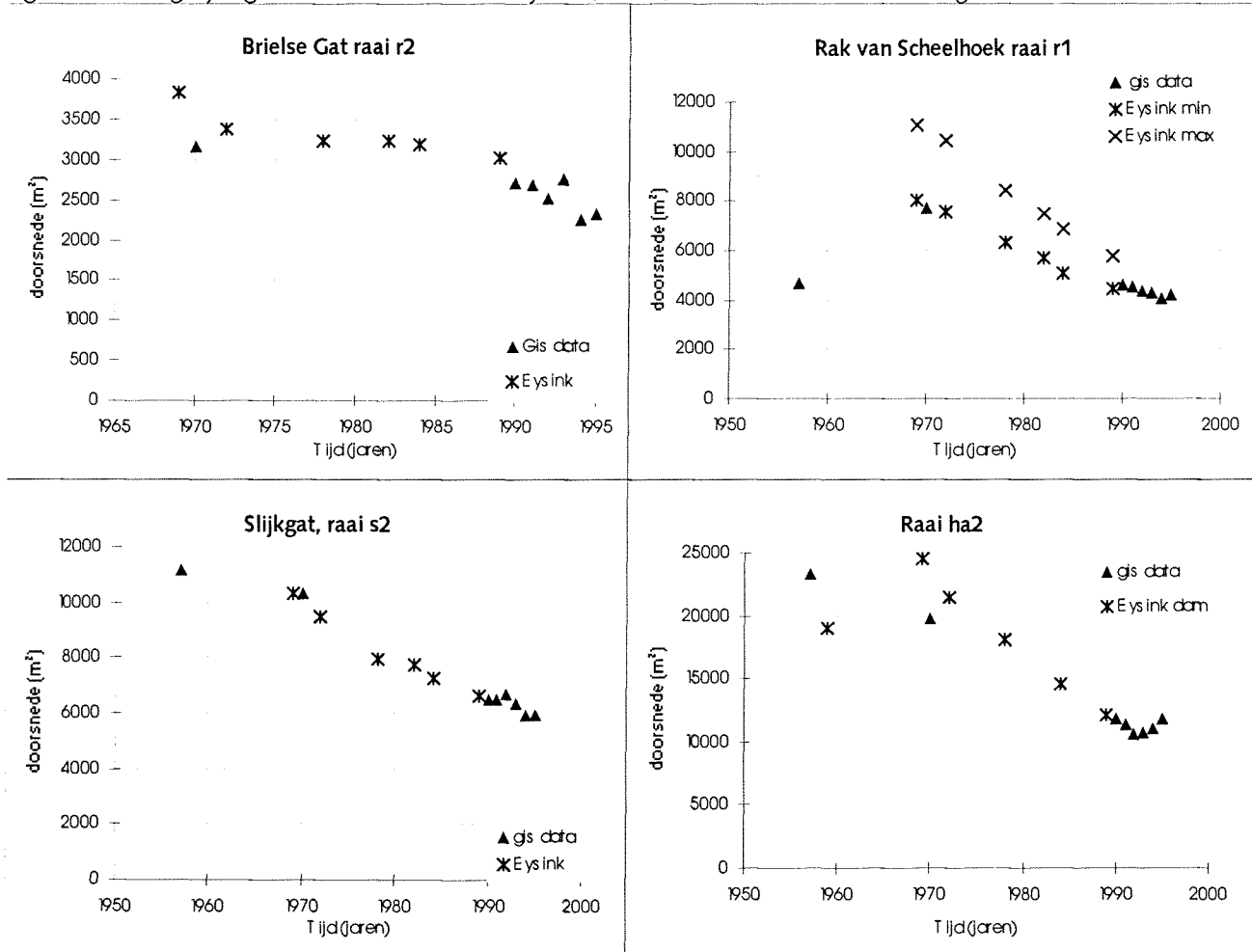
Met de GIS-applicatie zijn van de raaien die door Eysink gebruikt zijn in zijn studie naar de ontwikkelingen in de Haringvlietmonding de oppervlakten van de doorstroomprofielen bepaald. In figuur 4.6 zijn deze waarden met de waarden van de andere raaien in een figuur uitgezet.

De datapunten liggen voor de meeste raaien vrij goed op een lijn. Een lijn door de GIS data, voor het Brielse Gat (raai r2) ligt onder de waarden van Eysink. De totale raai voor de Haringvlietsluizen (raai Ha2) wijkt in de jaren rond de sluiting vrij sterk af, later komen de waarden beter overeen. Voor het Slijkgat (raai s2) gaat de trendlijn door de Gis data ook door de warden van Eysink. Hetzelfde geldt voor de minimale waarden die Eysink geeft voor het Rak van Scheelhoek (raai r1).

De afwijking tussen de twee datasets wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de exacte positionering van de raaien van Eysink niet bekend is, waardoor de doorsnede bepaald met GIS op een enigszins afwijkende positie ligt. Een andere oorzaak is dat de doorsneden op een andere manier bepaald zijn.

Opvallend is de sterke toename van de geuldoorsnede van het Rak van Scheelhoek van 1957 tot 1970. Deze geulvergroting is veroorzaakt door de bouw van de Haringvlietsluizen, waarvoor een gedeelte van het zuidelijke deel van de getijgeul van het Haringvliet is afgesloten. De afvoer ging vooral via het Rak van Scheelhoek, wat heeft geleid tot een grote toename van de geuldoorsnede en een daling van de geuldoorsnede van het Slijkgat.

figuur 4.6 : Vergelijking van de doorsneden van Eysink (1990a) met de doorsneden verkregen met GIS data



De 3 raaien die Haring heeft gebruikt in zijn studie komen ongeveer overeen met de raaien 4, 5 en 6. De met GIS berekende doorsnede voor het jaar 1957 is in alle gevallen groter. Door de bouw van de Haringvlietsluizen, waar in 1957 mee begonnen is, is de doorstroomopening gereduceerd, waardoor het getijprisma kleiner is geworden en de geulen zijn gaan aanzanden. Het lokale effect van de geulvergroting van het Rak van Scheelhoek is in de totale doorsnede niet terug te vinden.

Voor de analyse van de evenwichtsrelaties worden in deze studie alleen de GIS data gebruikt omdat die data op eenduidige wijze berekend zijn. De

waarden van Eysink worden ter controle gebruikt bij de afregeling van het model ASMITA (zie hoofdstuk 8).

### Getijvolume

Zowel Haring als Eysink geven in hun studies waarden van het getijvolume. Het getijvolume is door het sluiten van de Haringvliet sluizen met 420 mln m<sup>3</sup> afgenomen (Eysink, 1990a). In tabel 4.1 staan voor raai 4, 5 en 6 het getijvolume bij open sluizen, het getijvolume berekend met de afname van de rivierafvoer met 420 mln m<sup>3</sup> en het getijvolume berekend met GIS. Het getal tussen haakjes, in de eerste kolom, is het nummer van de raai gebruikt door Haring.

tabel 4.1  
Getijvolume van drie raaien  
voor de sluizen

Raai	Open HV [m <sup>3</sup> ]	Open HV - 420 mln [m <sup>3</sup> ]	GIS
4 (1)	560 mln	140 mln	118 mln
5 (2)	530 mln	110 mln	88 mln
6 (3)	480 mln	60 mln	62 mln

Het getijvolume berekend met GIS, voor de raaien 4 en 5, is ongeveer 20 mln m<sup>3</sup> lager dan de waarde berekend met de gegevens van Haring. De waarde van raai 6 komt goed overeen, maar deze raai ligt vlak voor de sluizen en heeft vanwege de diepe ontgrondingskuilen die voor de sluizen zijn ontstaan niet zoveel waarde voor het onderzoek naar getijgeulen. Het is niet bekend met welke metingen Haring het getijvolume heeft bepaald zodat niets over de nauwkeurigheid van zijn waarden gezegd kan worden. Het verschil tussen de berekende waarden en de waarden van Haring is vrij klein zodat in deze studie de waarden berekend met GIS worden gebruikt.

Eysink heeft in zijn studie het getijvolume berekend aan de hand van stroomrozen en gemiddelde snelheden. De op die manier berekende getijvolumina zijn ongeveer 25% te hoog (Eysink, 1990a). Vermenigvuldigd met een factor 0,75 komen deze waarden goed overeen met de GIS waarden.

#### 4.4 Analyse bodemdata

In 1970 zijn de sluizen definitief dicht gegaan, het getijvolume is hierdoor in het gebied voor de sluizen met ruim 80% afgenomen. De afname van de geulomvang op dit moment is 40-50%. Aan de hand van deze gegevens mag worden verwacht dat de afname van de geuldoorsneden nog niet voltooid is. Om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de geulen zijn de doorsneden ten opzichte van 1970 uitgezet in een aantal grafieken. De resultaten per geul worden hieronder besproken. Bij alle geulen is een duidelijke afname van het doorstroomoppervlak te zien.

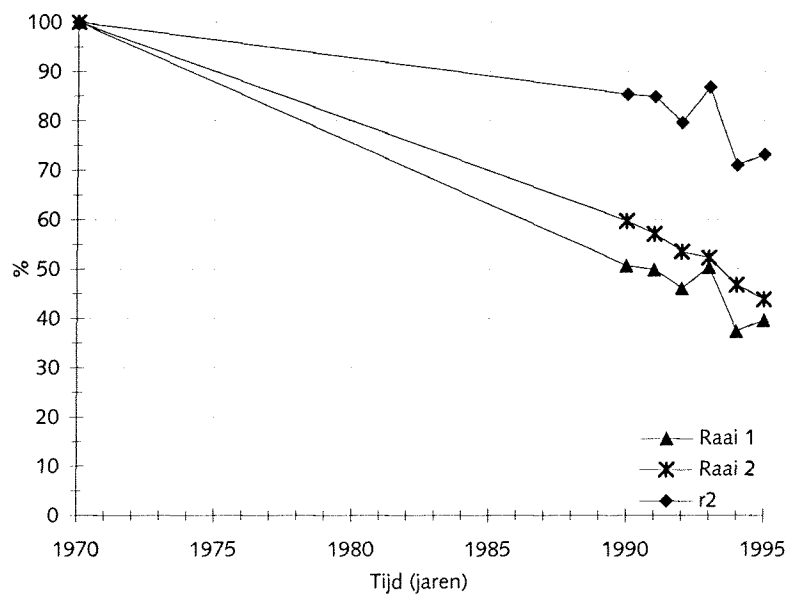
##### Brielse Gat

Raai 1 en 2 laten een duidelijk dalende trend zien, die nog steeds aan de gang is, zie figuur 4.7. Raai r2 daalt ook, maar relatief minder dan raai 1 en 2 omdat bij de die twee raaien ook het plaatgedeelte bij de Slufterdam is meegenomen. De sedimentatie van de platen zorgt voor een extra afname van de totale doorsnede. In 1993 is een duidelijke stijging van de doorsneden van raai 1 en r2 te zien, bij raai 2 is deze stijging vrijwel niet waar te nemen. In het gebied voor de Brielse Gatdam is in 1993 erosie van de geulen opgetreden die in het volgende jaar weer teniet is gedaan. Raai 2 ligt verder zeewaarts, buiten de erosiezone. In 1995 is weer een lichte toename van de geuldoorsnede te zien, maar verwacht mag worden dat ook dit tijdelijk is en dat de geul verder zal sedimenteren.

**Gebied voor de sluisen**

De doorsneden van de raaien voor de sluisen vertonen een sterke daling tot 1993, daarna treedt een stijging op, zie figuur 4.8, die te verklaren is door de extreem hoge afvoer in de winter van 1993-1994 en van 1994-1995. Deze

figuur 4.7  
Procentuele afname t.o.v. 1970  
van de doorsneden van het  
Brielse Gat



raaien geven een totaal beeld van het gebied voor de sluisen, verderop staan de afzonderlijke geulen, het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek.

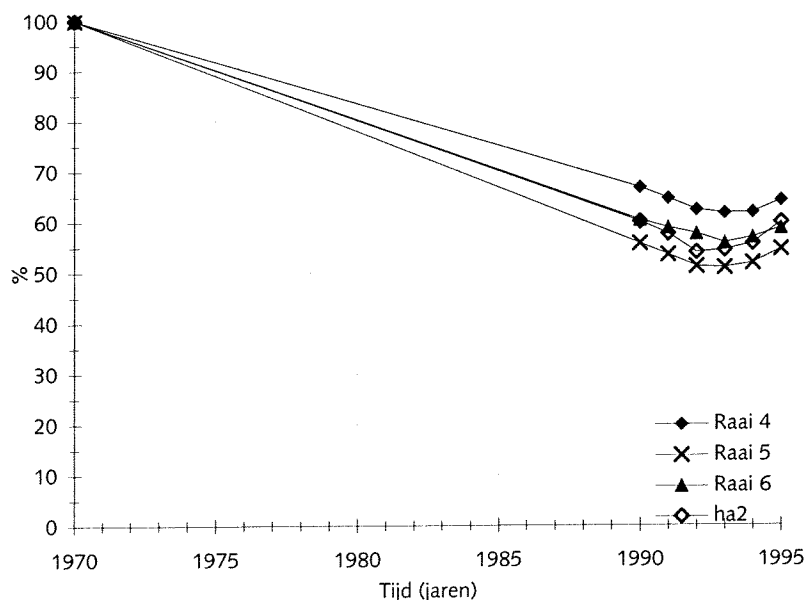
In de wintermaanden is de afvoer altijd veel hoger dan in de zomermaanden zodat per seizoen een ander sedimentatie- en erosiepatroon optreedt. Dit verschil is voor een jaarlijks gemiddelde doorsnede niet van belang. Een extreem hoge winterafvoer heeft daarentegen wel invloed op de geuldoorsnede als die zijn evenwicht nadert.

De hoge gemiddelde afvoer in 1987 en 1988 had geen invloed op de geuldoorsnede omdat die toen nog te groot was. Ook waren de piekafvoeren minder hoog dan in 1994 in 1995. De geuldoorsnede was in die jaren zo ver afgenomen dat die te klein was voor de zeer hoge afvoeren. Om de debieten te kunnen afvoeren moest de geul verruimen, hetgeen in figuur 4.8 duidelijk te zien is.

Een stabiele geul zal in de winter licht eroderen en in de zomer sedimenteren en schommelt zo rond een evenwichtsdoorsnede.

De laatste week van december 1993 vertoonde een zeer sterke stijging van de afvoer van het Haringvliet, met een piekafvoer van 7893 m<sup>3</sup>/s. In de eerste week van januari 1994 daalde de afvoer tot 400 m<sup>3</sup>/s maar steeg daarna weer tot een maximum van 6144 m<sup>3</sup>/s. In de maand januari was het extra getijvolume veroorzaakt door de Haringvliet afvoer 168 mln m<sup>3</sup>, ruim vier keer zoveel als het gemiddelde extra getijvolume. In de eerste week van februari vond ook een stijging van het afvoerdebiet plaats tot een maximum van 4200 m<sup>3</sup>/s.

figuur 4.8  
 Procentuele afname t.o.v. 1970  
 van de doorsneden in het  
 gebied voor de sluisen



De winter van 1994-1995 kende een nog extremere afvoer dan de voorgaande winter. De maanden januari, februari en maart hadden een gemiddelde afvoer hoger dan  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ . De piek van deze afvoergolf lag in februari, waar een maximale afvoer werd gemeten van  $9015 \text{ m}^3/\text{s}$ . De gemiddelde afvoer in die maand was  $4197 \text{ m}^3/\text{s}$  wat overeenkomt met een extra getijvolume van  $187 \text{ mln m}^3$ .

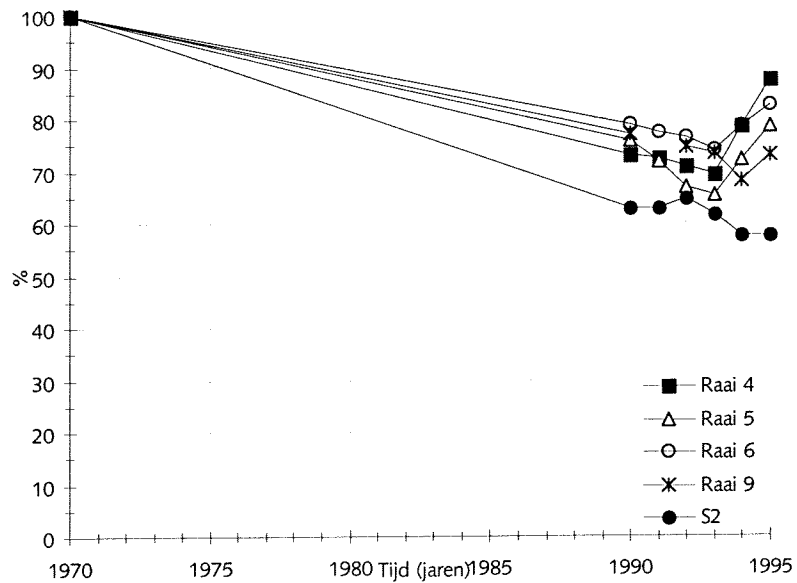
#### Slijkgat

Tijdens de piekafvoer van de Haringvlietsluizen door het Slijkgat functioneerde de geul als een rivier omdat de getij-invloed totaal verdwenen was.

De doorsneden van de verschillende raaien in het Slijkgat namen allemaal af tot 1993, daarna werd de doorsnede van de raaien 4, 5 en 6 in het Slijkgat groter. Deze toename wordt veroorzaakt door de extra hoge afvoer van die jaren. Verwacht mag worden dat de doorsnede van de geul weer zal afnemen bij een gemiddelde afvoer in de winter.

De doorsneden verder zeewaarts, raai 9 en s2, reageerden pas in 1995 op de hoge afvoer. De hoge afvoer heeft voor een interne herverdeling van het sediment gezorgd. Bij de sluisen is het Slijkgat geërodeerd terwijl verder zeewaarts sedimentatie is opgetreden. Raai 9 vertoont in 1995 een grote toename, dit kan veroorzaakt zijn door baggerwerkzaamheden die bij de drempel van het Slijkgat plaatsvinden. Raai 9 ligt in de buurt van de drempel. Algemeen kan worden gezegd dat het Slijkgat nog niet in evenwicht is, maar wel reageert op hoge afvoeren en dus zijn evenwicht begint te naderen. Wel moet in gedachten worden gehouden dat de afvoer in 1994 en 1995 extreem hoog was.

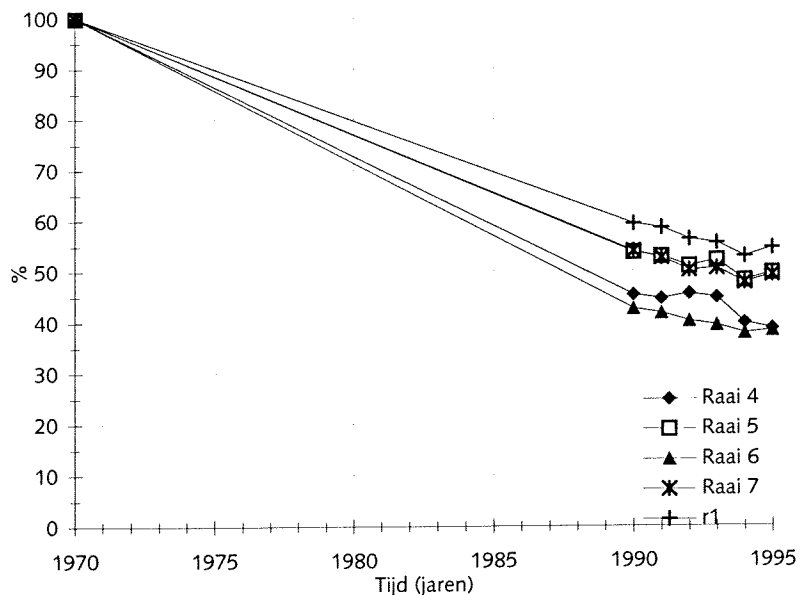
figuur 4.9  
Procentuele afname t.o.v. 1970  
van de doorsneden van het  
Slijkgat



#### Rak van Scheelhoek

De dalende trend zet voor het Rak van Scheelhoek door tot 1994. In 1995 is een licht stijging te zien die minder groot is dan de stijging van het Slijkgat. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de extra afvoer in eerste instantie door het Slijkgat stroomt en bij een nog hogere afvoer ook door het Rak van Scheelhoek gaat. Bij het volledig open zetten van de sluisen mag verwacht worden dat het grootste deel door het Slijkgat wordt afgevoerd en dat het resterende deel door het Rak van Scheelhoek wordt afgevoerd, waardoor deze geul weer een continue afvoerfunctie krijgt. Ook deze geul is nog niet stabiel, maar nadert evenwicht.

figuur 4.10  
Procentuele afname t.o.v. 1970  
van de doorsnede van het Rak  
van Scheelhoek

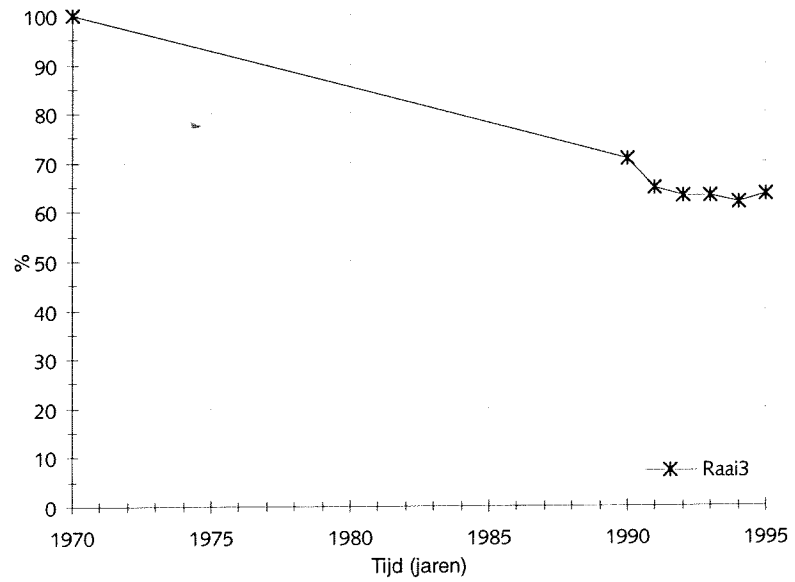


#### Haringvlietmonding in het geheel

Zoals verwacht neemt de doorsnede van de totale monding van het Haringvliet af, zie figuur 4.11. In 1995 is een lichte stijging te zien als gevolg van de hoge afvoer. Vergeliken met het totale getijvolume van de monding

is het extra getijvolume als gevolg van de sluisafvoer niet zo groot. De vergroting van de doorsnede is daarom minder dan bij het Slijkgat.

figuur 4.11  
Procentuele afname t.o.v. 1970  
van de doorsneden van de  
gehele Haringvlietmond







## 5. Empirische evenwichtsrelaties voor geul en plaat

---

De ontwikkeling van een geulen- en platensysteem is een ingewikkeld proces dat van veel factoren afhankelijk is. Een geul ontstaat omdat water van een hoger gelegen gebied (hogere potentiaal) naar een lager gelegen gebied (lagere potentiaal) wil stromen. Daarbij kiest het de weg van de minste weerstand, waarbij een meanderende stroom ontstaat. Andere factoren die de ligging van de geul bepalen zijn :

- De bodem erodeert niet op elke plaats even gemakkelijk zodat de weg met de minste weerstand niet altijd de kortste is.
- De bodem is onregelmatig zodat soms bestaande geulen kunnen worden gevolgd.
- Golven beïnvloeden het stromingspatroon. Brekende golven woelen het sediment op, dit opgewoelde sediment wordt door de stroming mee getransporteerd. In de brekerzone erodeert de bodem daarom sneller.

### 5.1 Modelling van getijdebassins

De modellering van getijdebassins kan op verschillende manieren plaatsvinden, nl. met een :

- Gebiedsgebonden interpretatie model
- Empirisch of dynamisch-empirisch model
- Procesgebaseerd morfodynamisch model

Het gebiedsgebonden interpretatie model maakt gebruik van bekende karakteristieke ontwikkelingen in een bepaald gebied. Door gebruik te maken van observaties van historische ontwikkelingen en begrip van de processen die zich afspelen kunnen voorspellingen voor toekomstige ontwikkelingen gedaan worden, mits de randvoorwaarden en optredende processen niet erg veranderen. Veranderen ze wel bijv. als gevolg van menselijke ingrepen, dan zijn de resultaten minder betrouwbaar. Het model heeft een tijdschaal van enkele decennia en een ruimteschaal van de hele delta met de aangrenzende elementen. Als een eerste stap bij de modellering van een ebdelta is het model goed bruikbaar.

Het empirisch model is gebaseerd op een combinatie van hydrodynamische berekeningen en empirisch-morfologische relaties. Per gebied moet bekeken worden welke empirische relatie geldig is. De tijd- en ruimteschaal van dit model is vergelijkbaar met die van het bovenstaande model. De empirische relaties zijn per gebied verschillend zodat niet overal hetzelfde model kan worden toegepast. Maar een methode ontwikkeld voor een bepaald gebied kan wel op andere gebieden worden toegepast. Het model wordt dynamisch-empirisch als een koppeling tussen verschillende elementen (bijvoorbeeld geulen en platen) tot stand wordt gebracht.

Het morfodynamisch model gebruikt ook hydrodynamische berekeningen maar berekent aan de hand daarvan de sedimenttransporten. Er is een duidelijke koppeling tussen de waterbeweging en de bodemverandering. De ruimteschaal beslaat een deel of de hele ebdelta. De tijdschaal is veel kleiner dan de hierboven beschreven modellen, nl. enkele weken of maanden. Een morfodynamisch model kan goed gebruikt worden om korte termijn ontwikkelingen te modelleren.

## 5.2 Empirische evenwichtsrelaties in het algemeen

Empirische evenwichtsrelaties gaan uit van een verband tussen het getijvolume en de doorsnede van de geul. Gedurende de laatste 65 jaar is onderzoek gedaan naar de stabiliteit van zeegaten. O'Brien leidde in 1931 een relatie tussen de doorsnede van een zeegat en het bijbehorende getijvolume af voor de Amerikaanse westkust. Later zijn door Haring (1967), Gerritsen en de Jong (1985) en Misdorp et al. (1990) soortgelijke relaties afgeleid voor het Nederlandse Delta- en Waddengebied. Deze relaties houden geen rekening met de voor verschillende zeegaten afwijkende omstandigheden zoals :

- korreldiameter en bodem materiaal
  - grootte van het langstransport in relatie tot het getijvolume
  - rivierafvoer
  - golven
  - relatieve diepte van de geul (Chezy-coëfficiënt)
  - vorm van het zeegat
  - sedimentconcentratie
- enz.

Door Bruun en Gerritsen (1960) is onderzocht of de gemiddelde schuifspanning langs de bodem een maatgevende parameter voor de geuldoorsnede zou kunnen zijn. Gerritsen en de Jong (1983), Gerritsen et al. (1990) en Gerritsen (1996) hebben de invloed van respectievelijk de golven en de hydraulische straal onderzocht.

Veel minder onderzoek is gedaan naar het verband tussen het getijvolume en de grootte van de platen. Alleen Eysink (1992) heeft een relatie ontwikkeld voor het Waddengebied.

In de volgende paragrafen zullen de empirische evenwichtsrelaties nader worden beschreven.

## 5.3 Mathematisch-fysische afleiding evenwichtsrelatie

Geulen hebben twee soorten stabiliteiten, de stabiliteit van de doorsnede en de stabiliteit van de ligging. Bij een verandering van de geulligging wordt de geul aan een kant breder en sedimenteert aan de andere zijde. Beide stabiliteiten zijn dus niet onafhankelijk van elkaar te beschouwen. Toch wordt in deze studie met de stabiliteit van een geul, de stabiliteit van de hele doorsnede bedoeld omdat de evenwichtsdoorsnede onafhankelijk van de ligging wordt bepaald.

Absolute stabiliteit van een geul kan gedefinieerd worden door de relatie :

$$\frac{\delta Q_s}{\delta x} = 0 \quad (5.1)$$

Waarbij  $Q_s$  het totale zandtransport in  $m^3/s$  in een doorstroomprofiel voorstelt en  $x$  de stroomrichting. Deze relatie geldt strikt genomen alleen voor het bodem transport, maar bij gelijkblijvende gemiddelde concentraties van het opgewoelde materiaal geldt deze ook voor het totale transport. In een getijdegebied moet de relatie over een getijcyclus worden geïntegreerd. Dit levert voor de dynamische stabiliteit van een geul :

$$\frac{\delta}{\delta x} \int_0^T Q_s dt = 0 \quad (5.2)$$

Voor fijn zand is het suspensief transport dominant terwijl voor grover zand het bodem transport dominant is. In de monding van het Haringvliet is het zand vrij fijn, daarom zal bij de stabiliteitsanalyse uitgegaan worden van suspensief transport.

Hieronder zal een mathematisch-fysische afleiding van de relatie tussen geuldoorsnede en getijprisma gebaseerd op suspensief transport worden beschreven. Volgens het concept van Stive et al. (1996) geldt voor het hele gebied een evenwichtsconcentratie als het systeem in evenwicht is. Als de concentratie plaatselijk afwijkt, zal sedimentatie of erosie optreden. Uitgaande van dit concept en de studie van Lai en Shen (1996) kan een stabiliteitscriterium worden gedefinieerd. Lai en Shen (1996) vinden voor sedimentatie in reservoirs dat de concentratie van sediment tijdens de uitstroom van het reservoir een functie is van een aantal hydraulische parameters:

$$c_s = f(v, h, i, g, \gamma, \gamma_s - \gamma, w) \quad (5.3)$$

waarin :

$c_s$	= sedimentconcentratie van de uitstroom	[-]
$v$	= gemiddelde stroomsnelheid over dwarsprofiel	[m/s]
$h$	= diepte	[m]
$i$	= energieverhang van de stroming	[-]
$g$	= versnelling a.g.v. de zwaartekracht	[m <sup>2</sup> /s]
$\gamma$	= soortelijk gewicht van water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_s$	= soortelijk gewicht van sediment	[kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	= valsnelheid van sedimentkorrel	[m/s]

Deze functie is ook geldig voor getijstromingen. Met behulp van een dimensieanalyse kan  $c_s$  uitgedrukt worden in drie dimensieloze parameters.

$$c_s = f\left(\frac{v^3}{g \cdot w \cdot h}, \frac{v \cdot i}{w}, \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma}\right) \quad (5.4)$$

Invullen van de Chezy-relatie,  $v = C\sqrt{h \cdot i}$ , waarin C de Chezy coëfficiënt is, in de tweede term en de aanname van een constante dichtheid levert :

$$c_s = f\left(\frac{v^3}{g \cdot w \cdot h}, \frac{v^3}{C^2 \cdot h \cdot w}\right) \quad (5.5)$$

De eerste en de tweede term zijn aan elkaar gerelateerd door de Chezy-relatie. Om aan de voorwaarde van een constante sedimentconcentratie te voldoen moeten beide termen constant zijn, ofwel:

$$\frac{v^3}{C^2 \cdot h \cdot w} = \text{constant} \quad (5.6)$$

Invullen van vergelijking (5.6) in  $v = q/h$  levert :

$$h = \frac{q^{3/4}}{(k \cdot C^2 \cdot w)^{1/4}} \quad (5.7)$$

Hierin is q de afvoer per breedte, in m<sup>2</sup>/s.

Voor een rechthoekig profiel geldt :  $q = Q/B$ , waarin Q de afvoer in m<sup>3</sup>/s is en B de breedte in m is levert dit voor de profieldoorsnede van een geul A, in m<sup>2</sup>:

$$A = \frac{1}{(k \cdot C^2 \cdot w)^{1/4}} \cdot B^{1/4} \cdot Q^{3/4} \quad (5.8)$$

De maximum afvoer gedurende een getijcyclus,  $Q_{\max}$ , bepaalt de stabiliteit van een geul en is als volgt gerelateerd aan het getijprisma :

$$Q_{\max} = \frac{\pi \cdot P}{T} \quad (5.9)$$

waarin P het getijprisma is in m<sup>3</sup> en T de periode van het getij is in s.

Vergelijkingen (5.8) en (5.9) leveren de relatie tussen de doorsnede van een geul en het getijprisma.

$$A = \frac{1}{(k \cdot C^2 \cdot w)^{1/4}} \cdot \left(\frac{\pi}{T}\right)^{3/4} \cdot B^{1/4} \cdot p^{3/4} \quad (5.10)$$

Uit een analyse voor de getijgeulen in de Waddenzee, uitgevoerd door Gerritsen (1996) blijkt dat de coëfficiënt

$$\frac{1}{(k \cdot C^2 \cdot w)^{1/4}} = 1,843 \quad (5.11)$$

Invullen van (5.12) en periode T in (5.11) levert :

$$A = 1,42 \cdot 10^{-3} \cdot B^{1/4} \cdot p^{3/4} \quad (5.12)$$

#### 5.4 Relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel

Bij aanname van een constante breedte in vergelijking (5.12) volgt een algemeen veel gebruikte relatie tussen het oppervlak van het doorstroomprofiel en het getijvolume :

$$A_c = \alpha \cdot P^n \quad (5.13)$$

Uit empirische gegevens van verschillende gebieden over de hele wereld, blijkt dat de factor n ligt tussen 0,8 en 1. Bij kleinere geulen ligt n in de buurt van 0,8 terwijl voor grotere geulen n ongeveer 1 is.

Hieronder zal een aantal relaties beschreven worden. Voor al deze relaties geldt :

$A_c$ = doorstroomprofiel onder NAP	$[m^2]$
TV = getijvolume	$[m^3]$
EV = ebvolume	$[m^3]$
FV = vloedvolume	$[m^3]$
DV = dominante volume	$[m^3]$
Q = debiet door getijgeul	$[m^3/s]$
$Q_r$ = rivierafvoer	$[m^3/s]$

Haring (1967) was de eerste Nederlander die onderzoek heeft gedaan naar de relatie tussen het getijvolume en de profieldoorsnede. Uit de gemiddelde snelheid die hij vond voor de gehele doorsnede en voor de afzonderlijke getijgeulen, zie § 5.6, leidde hij de volgende relaties af :

Voor de hele doorsnede in de mond van een getijgeul geldt :

$$A_c = 4,068 \cdot 10^{-5} \cdot TV \quad (5.14)$$

Voor de afzonderlijke getijgeulen geldt :

$$A_c = 3,785 \cdot 10^{-5} \cdot TV \quad (5.15)$$

Van de Kreeke en Haring (1979) hebben de rivierafvoer in rekening gebracht. Deze blijkt nauwelijks van belang te zijn als geldt dat  $Q_r/Q < 0,25$ . Omdat de verhouding  $Q_r/Q$  voor de Haringvlietmonding in 1933 en 1959 respectievelijk 0,09 en 0,08 was, is de rivierafvoer verwaarloosd. Dit levert de volgende relatie op, afgeleid voor de mondingen van de zeegaten in het Deltagebied.

$$A_c = 0,82 \cdot 10^{-4} \cdot FV \quad (5.16)$$

Gerritsen en de Jong (1983) hebben onderzoek gedaan naar de verhouding tussen het doorstroomprofiel en het getijvolume in de Westerschelde. De relatie die zij vonden kwam goed overeen met de relatie gevonden door Haring (1967). Alleen de raaien in de monding van de Westerschelde wijken sterk af, het doorstroomprofiel is daar veel te groot. Een oorzaak hiervoor kan zijn dat de invloed van golven daar groter is. Ook is het mogelijk dat de andere breedte-diepte verhouding van de geul in de monding en verder stroomopwaarts van invloed is. Dit wordt nader uitgewerkt in paragraaf 5.8

en 5.9. De door hun gevonden relaties verder stroomopwaarts in de Westerschelde zijn :

$$\begin{aligned} EV &= 12770,9 \cdot A_c + 12621823 \\ FV &= 12943,3 \cdot A_c + 1602151 \\ TV &= 25712,8 \cdot A_c + 14310117 \end{aligned} \tag{5.17}$$

Voor de afzonderlijke eb en vloed geulen in de grote geul, vonden zij :

$$\begin{aligned} EV &= 0,012994 \cdot A_c + 21,1 \cdot 10^6 \\ FV &= 0,013 \cdot A_c + 23,2 \cdot 10^6 \end{aligned} \tag{5.18}$$

Van den Berg (1986) vond voor de Oosterschelde en de Grevelingen :

$$A_c = 82 \cdot 10^{-6} \cdot DV - 164 \tag{5.19}$$

Gerritsen en De Jong (1985) hebben relaties voor de Waddenzee vastgelegd. In deze relaties is de geuldoorsnede gerelateerd aan het getijvolume bij springtij.

$$\begin{aligned} EV &= 17106 \cdot A_c - 79,2 \cdot 10^6 \\ FV &= 16092 \cdot A_c - 48,4 \cdot 10^6 \\ TV &= EV + FV = 33198 \cdot A_c - 127,7 \cdot 10^6 \end{aligned} \tag{5.20}$$

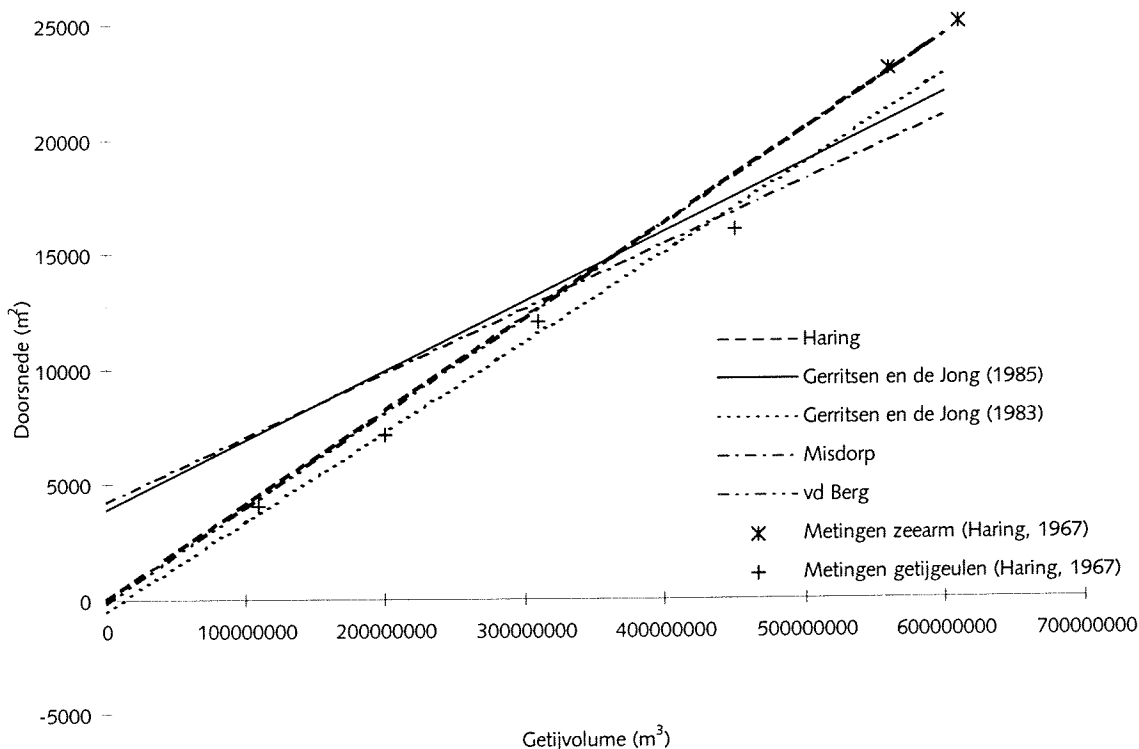
Misdorp et al. (1990) hebben aan de hand van bodemkaarten een relatie gevonden die 6 - 8% afwijkt van die van Gerritsen en de Jong (1985), nl.

$$TV = 35959 \cdot A_c - 152 \cdot 10^6 \tag{5.21}$$

Benadrukt wordt dat de relaties van Gerritsen en de Jong (1985) en van Misdorp et al. (1990) zijn afgeleid voor de Waddenzee en kunnen dus niet zomaar worden toegepast op het Deltagebied.

In figuur 5.1 zijn de relaties weergegeven.

figuur 5.1 : Relaties tussen het getijvolume en de doorsnede



Opgemerkt wordt dat de relaties afgeleid voor het Deltagebied allemaal ongeveer hetzelfde zijn. Hetzelfde geldt voor de relaties van het Waddengebied maar de relaties voor de verschillende gebieden zijn erg verschillend.

### 5.5 Relatie tussen het getijprisma en de inhoud van een getijgeul

Eysink (1990b) heeft de relatie tussen getijvolume en de inhoud van het hele bassin onderzocht voor zowel getijgeulen in de Waddenzee als voor de estuaria in het Deltagebied. Metingen uit 1959 - 1972 gaven voor de Grevelingen een iets andere relatie dan voor de Westerschelde. Dit wordt vooral veroorzaakt door de baggerwerkzaamheden in de Westerschelde om de geul op voldoende vaardiepte te houden. De gevonden relatie voor de Oosterschelde en de Grevelingen is :

$$I_{\text{NAP}} = 73 \text{ a } 80 \cdot 10^{-6} \cdot p^{3/2} \quad (5.22)$$

waarin :

$$I_{\text{NAP}} = \text{Inhoud getijdebekken beneden NAP} \quad [\text{m}^3]$$

$$P = \text{getijprisma} \quad [\text{m}^3]$$

Uit ( 5.22 ) blijkt dat het geulvolume evenredig is met het getijprisma tot de macht 1,5. Deze macht kan ook verklaard worden uit een theoretische afleiding door de integratie van :

$$I_{\text{NAP}} = \int_0^L A(x) \cdot dx \quad (5.23)$$

Tussen de doorsnede A en het getijprisma P geldt een lineair verband, zodat  $A(x) = C_A \cdot P(x)$ . Invullen in vergelijking ( 5.23 ) en integreren levert :

$$I_{\text{NAP}} = C_A \cdot P \cdot L \quad (5.24)$$

waarin :

$$C_A = \text{constante afhankelijk van verband tussen A en P} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$L = \text{karakteristieke lengte van het bassin} \quad [\text{m}]$$

Bovendien kan de vorm van het bassin dan ook worden weergegeven met behulp van een constante, zodat volgt :

$$I_{\text{NAP}} = C_s \cdot C_A \cdot P \cdot L \quad (5.25)$$

De lengte L kan worden uitgedrukt in het getijprisma, de lengte-breedte verhouding van het bassin en de getijslag. Ingevuld in vergelijking ( 5.24 ) levert dit :

$$I_{\text{NAP}} = C_A \cdot C_s \cdot \left( \frac{L/B}{H} \right)^{0,5} \cdot p^{1,5} \quad (5.26)$$

waarin :

$$B = \text{maximale karakteristieke breedte} \quad [\text{m}]$$

$$H = \text{getijslag} \quad [\text{m}]$$

### 5.6 Relatie tussen de stroomsnelheid en het doorstroomprofiel

De gemiddelde stroomsnelheid over het getij (v) wordt gedefinieerd als het getijvolume gedeeld door het oppervlak van het doorstroomprofiel en de getijperiode. Het getijvolume is de som van de absolute waarden van het eb- en het vloedvolume.

$$v = \frac{EV + FV}{A \cdot T} \quad (5.27)$$

Haring (1967) vond een gemiddelde stroomsnelheid gedurende een getijcyclus van ca. 0,55 m/s voor de totale doorsnede in de mond van het Haringvliet. Verder stroomopwaarts liepen de stroomsnelheden volgens hem op tot ca. 0,62 m/s en namen daarna weer langzaam af. Voor de gemiddelde snelheden in de mondingen van de andere getijgeulen (Brouwershavense

Gat, Oosterschelde en Westerschelde) vond hij ook een waarde van ca. 0,55 m/s. Voor de afzonderlijke getijgeulen in een zeearm vond hij gemiddelde stroomsnelheden van 0,6 m/s.

Van de Kreeke en Haring (1979) hebben een nieuwe studie gedaan naar de gemiddelde stroomsnelheden in de mondingen van de getijgeulen in het Deltagebied en kwamen tot de conclusie dat in tegenstelling tot eerdere resultaten deze snelheden niet overal gelijk zijn. De gemiddelde maximale snelheid varieert en had voor de Oosterschelde en het Brouwershavense Gat (in 1933 en 1959) een waarde van 0,54 m/s. In het Haringvliet (in 1959) was deze snelheid 0,62 m/s en voor de Nieuwe Waterweg (in 1959) gold een waarde van 0,69 m/s. Zowel bij de Nieuwe Waterweg als bij het Haringvliet mondt in het getijdebekken een rivier uit. Waarschijnlijk is de rivierafvoer bij eerdere studies niet goed in rekening gebracht. De maximale snelheid onder gemiddelde getijomstandigheden blijkt bij alle mondingen tussen de 0,82 m/s en de 0,86 m/s te liggen.

De afvoer door de Haringvlietmonding is na de afsluiting in 1970 sterk gereduceerd en heeft nauwelijks meer invloed op de gemiddelde snelheid.

### 5.7 Relatie tussen het getijdebiet en het doorstroomprofiel

Uit onderzoek van Gerritsen en de Jong (1983) blijkt dat voor de raaien in de mond van de Westerschelde de relatie tussen het getijdebiet en het doorstroomprofiel beter voldoet voor vloed dan voor eb. De raaien hebben tijdens eb een te grote doorsnede. Tijdens eb voeren de bankengebieden minder debiet, vanwege de geringere waterstanden, waardoor niet het hele profiel ten volle wordt benut. De gevonden relaties voor eb en vloed zijn :

$$Q_{\max} = 0,9412 \cdot A_c - 2735 \text{ tijdens eb} \quad (5.28)$$

$$Q_{\max} = 1,174 \cdot A_c + 2782 \text{ tijdens vloed}$$

Een relatie tussen het sinusoidale maximum ( $\hat{Q}$ ) en het doorstroomprofiel afgeleid door Gerritsen en de Jong (1983) geeft voor de monding van de Westerschelde geen goede resultaten. De relatie afgeleid door van de Kreeke en Haring (1979) geeft betere resultaten.

$$\hat{Q} = \frac{\pi \cdot (FV + EV)}{2 \cdot T} \quad (5.29)$$

$$A_c = 1,17 \hat{Q} \quad (5.30)$$

De relaties tussen het debiet en het doorstroomoppervlak voldoen niet beter dan de relaties tussen het getijvolume en het debiet en zullen in deze studie verder buiten beschouwing blijven.

### 5.8 Maatgevende schuifspanning gebruiken als stabiliteitsparameter voor de profieldoorsnede

Over de lengtes van een geul kan alleen stabiliteit optreden als de gradiënt van de transportcapaciteit nul is. Bij een constante breedte is dit het geval als de gradiënt van de schuifspanningsnelheid  $u_s$  gelijk is aan nul. Dit betekent dat de stroomsnelheid  $u$  lager is in gebieden met golfinvloed en een hoge bodemruwheid, dus dat de profieldoorsnede daar groter is. Dit effect is waar te nemen bij de geulen in de buitendelta.

#### 5.8.1 Maatgevende schuifspanning zonder invloed van golven

Door Bruun en Gerritsen (1960) is gesteld, dat de bedvormende condities voor stroomgeulen zich in de periode rond de maximale stroomsnelheid voordoen, omdat dan het sedimenttransport maximaal is. Het transport in de geulen is ook in grote mate afhankelijk van de door de stroom veroorzaakte

schuifspanning aan de bodem. Uitgaande van dit concept wordt de invloed van de bodemschuifspanning op de geuldoorsnede bekeken. De bodemschuifspanning is groter dan de kritische schuifspanning, die kenmerkend is voor het begin van beweging.

Voor de schuifspanning wordt uitgegaan van de relatie :

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot i \quad (5.31)$$

Waarin :

$\tau$	= schuifspanning	[n/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	= dichtheid van het water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	= versnelling a.g.v de zwaartekracht	[n/kg]
$R$	= hydraulische straal	[m]
$i$	= energieverhang van de stroming	[-]

Deze relatie geldt strikt genomen voor een uniforme stroom, maar geldt bij goede benadering ook voor getijstromen. Invullen van de Chezy-relatie in ( 5.31 ) levert :

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{v^2}{C^2} \quad (5.32)$$

met  $Q = v \cdot A$  volgt :

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{Q^2}{C^2 \cdot A^2} \quad (5.33)$$

De stabiliteitsschuifspanning  $\tau_s$  is de gemiddelde schuifspanning langs de bodem bij maximaal debiet waarbij het doorstroomprofiel van een zeegat stabiel is, zodat geldt:

$$\tau_s = \rho \cdot g \cdot \frac{Q_{\max}^2}{A_c^2 \cdot C^2} \quad (5.34)$$

Gerritsen en de Jong (1983) bepalen  $\tau_s$  bij gemiddelde getijomstandigheden terwijl door Bruun en Gerritsen (1960) springtij is aangehouden als bedvormende situatie. Voor een vergelijking van beide gevonden waarden moet een correctie worden toegepast. De waarde van  $\tau_s$  wordt zo gekozen dat de regressielijn van vergelijking ( 5.34 ) een hoek maakt van 45° met beide assen. De gekozen waarde voor de Chezy-coëfficiënt is van belang. Bruun in Gerritsen (1960) geven waarden van  $\tau_s$  onder verschillende omstandigheden. De relatie geeft voor de Westerschelde bruikbare resultaten. Omdat de golfinvloed nog niet is meegenomen wijken de raaien in de monding nog steeds af.

### 5.8.2 Maatgevende schuifspanning met invloed van golven

Bij de aanwezigheid van golven worden de schuifspanningen aan de bodem bepaald door de gecombineerde invloed van stroom en golven. Om de invloed van de golven op de maatgevende schuifspanningen na te gaan wordt de transportformule van Bijker (1967) voor golven en stroming gebruikt. Deze is alleen geldig voor bodem transport en luidt :

$$S_x = b \cdot D \cdot \frac{v}{C} \cdot g^{1/2} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta D C^2}{\mu v^2 \{1+1/2(\xi \frac{u_0}{v})^2\}}} \quad (5.35)$$

Invullen van ( 5.32 ) in ( 5.35 ) levert :

$$S_x = b \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta D \rho g}{\mu \tau_c \{1+1/2(\xi \frac{u_0}{v})^2\}}} \quad (5.36)$$

waarin :

$b$	= dimensieloze coëfficiënt	[-]
$D$	= gemiddelde korrel diameter	[m]
$\tau_c$	= bodemschuifspanning door stroom alleen	[n/m <sup>2</sup> ]
$u_0$	= maximale orbitaalsnelheid bij de bodem ten gevolge van de golfbeweging	[-]
$v$	= gemiddelde stroomsnelheid over het dwarsprofiel	[m/s]



$\Delta$  = relatieve sedimentdichtheid gedefinieerd als : [-]

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

met :  $\rho_s$  = dichtheid van het sediment

$\mu$  = ribbelcoëfficiënt gedefinieerd als : [-]

$$\mu = \left[ \frac{C}{18 \cdot \log 12 \frac{R}{k}} \right]^{3/2}$$

met : R = hydraulische straal

$$k = D_{90}$$

$\zeta$  = factor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen, gedefinieerd als : [-]

$$\zeta = \frac{P_b \cdot \kappa \cdot C}{g^{1/2}}$$

met :  $P_b = 0,45$

$$\kappa = 0,4$$

Het effect van golven op stromings-geïnduceerd bodem transport kan bepaald worden door de vergelijking met alleen stroming gelijk te stellen aan de vergelijking met stroming en golven. Op die manier wordt de gereduceerde waarde van de bodemschuifspanning  $\tau_s'$  voor stroming gevonden die voor dezelfde transporten zorgt.

$$\sqrt{\tau_s} \cdot e^{-\frac{-0,27 \cdot \Delta \cdot D \cdot \rho \cdot g}{\mu \cdot \tau_s}} = \sqrt{\tau_s'} \cdot e^{-\frac{-0,27 \cdot \Delta \cdot D \cdot \rho \cdot g}{\mu \cdot \tau_s' \cdot (1 + 1/2 \zeta^2 \left(\frac{u_0}{v}\right)^2)}} \quad (5.37)$$

De waarde van  $\tau_s'$  kan worden berekend uit de waarde van  $\tau_s$ . De raaien in de monding van de Westerschelde voldoen veel beter aan de relatie met de gecorrigeerde waarde voor de schuifspanning (Gerritsen en de Jong, 1984).

Het toepassen van deze relatie is niet erg praktisch vanwege het gecompliceerde karakter. Verder zijn veel extra gegevens nodig over de sedimenteigenschappen, wat tot onnauwkeurigheden leidt als geschatte waarden worden gebruikt. De Chezy-coëfficiënt heeft niet overal in de geul en gedurende één getijcyclus dezelfde waarde, de korrelgrootte is niet constant in een geul en de Bijker-formule is afgeleid voor bodem transport terwijl het suspensief transport hier erg van belang is. Al deze onzekerheden kunnen voor extra onnauwkeurigheid zorgen.

### 5.9 Hydraulische straal gebruiken als stabiliteitsparameter voor de profieldoorsnede

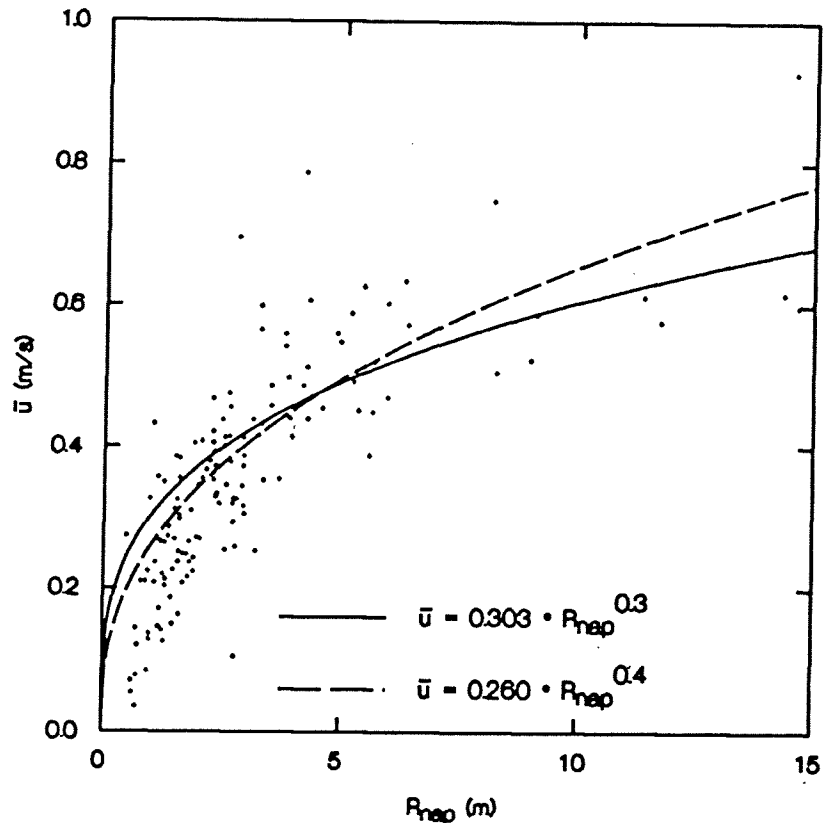
De relatie tussen het getijprisma en het oppervlak van het doorstroomprofiel is anders voor diepe smalle geulen dan voor ondiepe brede geulen. Het vormverschil tussen dit soort geulen komt tot uitdrukking in de hydraulische straal (= doorstroomoppervlak / natte omtrek) welke van invloed is op de gemiddelde snelheid. Aangezien de gemiddelde snelheid van invloed is op de relatie tussen de geuldoorsnede en het getijvolume levert het een verbetering op als de hydraulische straal in de relatie wordt meegenomen.

Het verband tussen de hydraulische straal R en de gemiddelde snelheid v is niet lineair, zie figuur 5.2. Rond de lijn is een grote spreiding. Het verband kan het best worden beschreven met de volgende relatie :

$$v = \alpha \cdot R^\beta \quad (5.38)$$

waarin  $\alpha$  en  $\beta$  empirische constanten zijn. Volgens Eysink (1992) ligt de waarde van  $\beta$  tussen 0,3 en 0,4 bij een hydraulische straal van groter dan 2 m. Bij kleinere geulen is de snelheid lager dan de snelheid gevonden uit (5.38). Dit is waarschijnlijk een gevolg van de invloed van golven.

figuur 5.2  
Correlatie tussen de gemiddelde snelheid en de hydraulische straal (Eysink, 1992)



Volgens Gerritsen (1990b) gelden voor de Nederlandse geulen voor  $\alpha$  en  $\beta$  de volgende waarden :

$\alpha = 0,353$  en  $\beta = 0,25$

Uit de relatie tussen  $v$  en  $TV$  volgt :

$$v = \frac{2 \cdot P}{A_c \cdot T} = \alpha \cdot R^\beta \quad (5.39)$$

$$A_c = \frac{2 \cdot P}{T \cdot \alpha \cdot R^\beta} \quad (5.40)$$

Substitutie van de experimenteel gevonden waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$  en de periode van een semi-diurnaal getij levert :

$$A_c = 1,269 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{P}{R^{0,25}} \quad (5.41)$$

Deze formule geeft het verband weer tussen de hydraulische straal en het getijvolume. Bij ondiepe brede geulen is de hydraulische straal ongeveer gelijk aan de gemiddelde diepte. Met  $R = A/O$  waarin  $O$  = de natte omtrek volgt voor vergelijking (5.41):

$$A_c = 7,64 \cdot 10^{-4} \cdot p^{0,8} \cdot O^{0,2} \quad (5.42)$$

De vorm komt goed overeen met de Mathematisch-fysisch afgeleide vergelijking (5.12), alleen de coëfficiënten zijn enigszins verschillend. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat bij de mathematisch-fysische afgeleide relatie de snelheid evenredig met de diepte tot de macht 1/3 wordt verondersteld terwijl bij de bovenstaande relatie het empirische verband tussen de snelheid en de diepte tot de macht 1/4 wordt gebruikt. Verder is vergelijking (5.12) afgeleid voor suspensief transport terwijl in werkelijkheid naast suspensief

transport ook bodem transport van belang is. Voor de Waddenzee levert deze relatie een duidelijke verbetering op ten opzichte van de relatie tussen alleen het getijvolume en de doorsnede.

### 5.10 Relatie tussen het getijvolume en de grootte van de platen

De grootte van de platen is vooral afhankelijk van de grootte van het getijdebassin en minder van het getijprisma. Wel is de grootte van de plaat van invloed op het getijprisma. Volgens (Eysink, 1992) geldt :

$$P = (1 - \alpha \cdot A_f / A_b) \cdot A_b \cdot H \quad (5.43)$$

waarin : P = getijprisma [m<sup>3</sup>]  
 $\alpha$  = coëfficiënt met waarde 0,3 - 0,5 [-]  
 $A_f$  = horizontaal oppervlak van de plaat op GLW [m<sup>2</sup>]  
 $A_b$  = horizontaal oppervlak van het bassin op GLW [m<sup>2</sup>]  
 H = getijslag [m]

$$\text{met : } V_f = \alpha \cdot A_f \cdot H \quad (5.44)$$

$V_f$  = volume van de plaat boven GLW [m<sup>3</sup>]

Het volume van de plaat is afhankelijk van het totale bassin oppervlak en van het getijprisma. Voor het volume van de plaat is de volgende relatie te gebruiken :

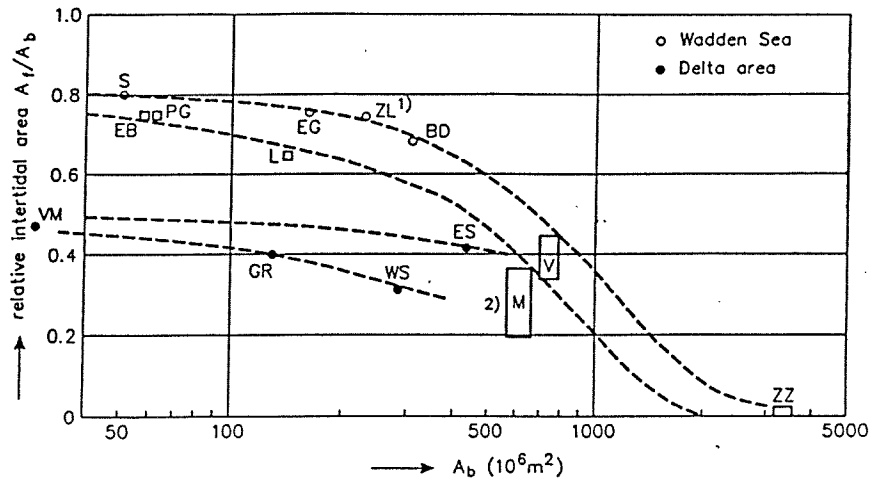
$$V_f = \beta \cdot A_b \cdot H \quad (5.45)$$

Hierin is  $\beta$  een coëfficiënt.

In het Deltagebied is weinig onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van deze relatie. Het is wel bekend dat de verhouding tussen het plaatoppervlak en het totale oppervlak in het Waddengebied groter is dan in het Deltagebied, zie figuur 5.3.

Behalve de getijinvloed is ook de invloed van de breedte-diepte verhouding van de getijgeul en het lokale windklimaat bepalend voor de grootte van de platen. Nader onderzoek, waarin ook andere gebieden worden beschouwd, is nodig om de invloed van deze factoren in rekening te kunnen brengen.

figuur 5.3  
 Relatieve plaatoppervlakten in  
 het Wadden- en Deltagebied  
 (Eysink, 1992)



- 1) before closure of the Lauwerszee
- 2) after closure of the Zuiderzee (IJsselmeer); no equilibrium yet ?

Wadden Sea

- M = Marsdiep/Zeegat van Texel
- EG = Eijerlandse Gat
- V = Vie
- BD = Borndiep
- PG = Pinkegat
- ZL = Zoutkamperlaag
- EB = Eilanderbalg
- L = Lauwers
- S = Schild

Delta area

- WS = Western Scheldt
- VM = Veerse Meer
- ES = Eastern Scheldt
- GR = Grevelingen

## 6. Analyse van de empirische evenwichtsrelaties

---

De in hoofdstuk 5 beschreven empirische evenwichtsrelaties moeten worden getest op hun bruikbaarheid voor de monding van het Haringvliet. Zoals uit hoofdstuk 4 blijkt, zijn de geulen nog niet in evenwicht. De gevonden waarden voor de huidige geuldoorsneden zullen daarom boven de verschillende empirische evenwichtslijnen liggen. Dit maakt het extra moeilijk te bepalen welke evenwichtsrelaties toepasbaar zijn.

### 6.1 Relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel

Als eerste wordt de eenvoudigste evenwichtsrelatie beschouwd, de relatie tussen het getijvolume en de doorsnede van een geul. Alleen de relaties van Haring (1967), van van de Kreeke en Haring (1979), van Gerritsen en de Jong (1983) en van van den Berg (1986) zullen worden onderzocht omdat deze zijn afgeleid voor het Deltagebied. In bijlage D staat een tabel met de evenwichtswaarden voor de geuldoorsneden volgens bovengenoemde relaties. In de verschillende figuren is alleen de relatie van Haring afgebeeld omdat deze over het algemeen de beste resultaten geeft en is afgeleid voor het Haringvliet. Voor zover bekend zijn van de jaren 1970 en 1990-1995 de geuldoorsneden weergegeven. De grote geuldoorsneden met bijbehorende grote getijprisma's in figuur 6.2 en figuur 6.3 zijn gegevens van voor 1970. De andere punten zijn van de jaren 1990-1995 en liggen dicht bij elkaar in de buurt.

#### Brielse Gat

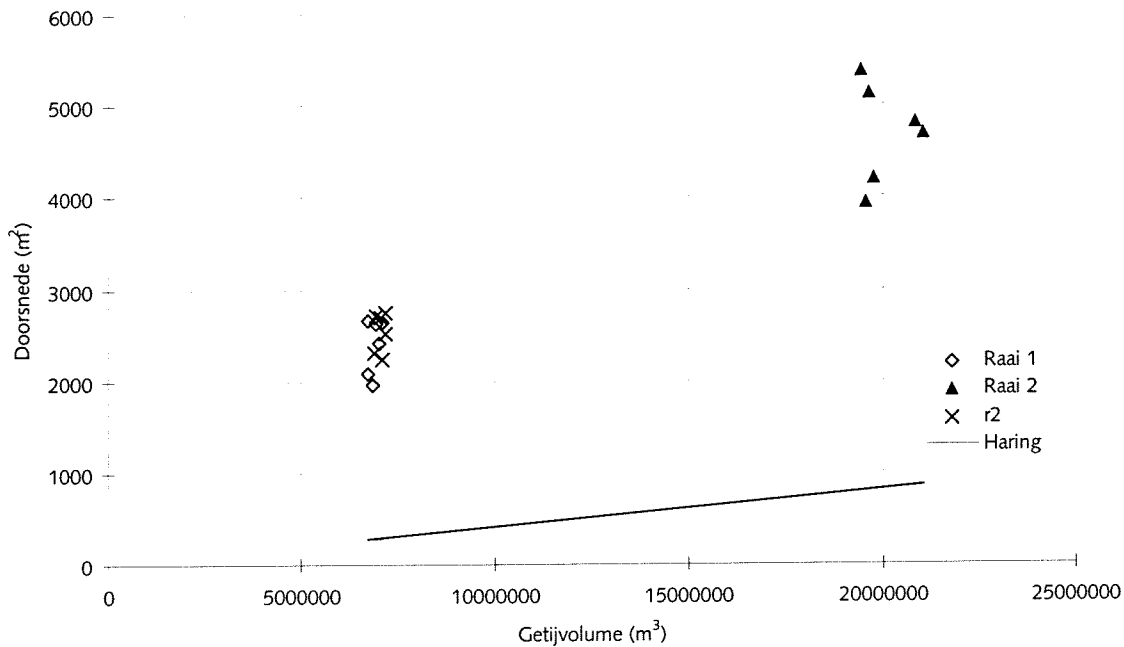
Voor het Brielse Gat zijn geen data beschikbaar van het getijvolume voor de afsluiting, wel zijn gegevens bekend over het afsluiten van de Brielse Maas, dit zal apart behandeld worden in paragraaf 6.6.

De evenwichtsrelatie van Gerritsen en de Jong (1983) geeft negatieve of hele kleine waarden voor de iets grotere doorsnede van raai 2, zie tabel 1 in bijlage D. Hieruit kan worden afgeleid dat deze relatie niet toepasbaar is voor kleine geulen.

De evenwichtsrelatie van van den Berg (1986) is gebaseerd op het dominante volume (dit is de maximale waarde van het eb- of vloedvolume). Omdat geen rivier uitmondt in het Brielse Gat is het dominante volume ongeveer gelijk aan het getijprisma zodat de relatie ongeveer gelijk is aan die van Haring met een verschil in de evenwichtsdoorsnede van  $164 \text{ m}^2$ . Voor grote geulen is dit verschil niet significant, maar voor kleine geulen zoals het Brielse Gat is dat wel van belang. Ook deze relatie is niet geschikt om voor dit gebied te gebruiken.

De relatie van van de Kreeke en Haring (1979) geeft ongeveer dezelfde resultaten als de relatie van Haring (1967). In figuur 6.1 is duidelijk te zien dat volgens de evenwichtsrelatie van Haring de geuldoorsnede nog veel te groot is. Uit hoofdstuk 4 bleek dat de doorsnede van het Brielse Gat nog steeds afneemt, hetgeen in overeenstemming is met deze resultaten. Voor de Brielse Gatdam komt een sluffer tot ontwikkeling wat zou kunnen duiden op de ontwikkeling van een ander soort systeem, waarop deze relaties niet meer op van toepassing zijn. Bij zo'n systeem is ook het brandingstransport langs de sluffer van belang, hetgeen zorgt voor een grotere geuldoorsnede dan alleen op grond van het getijvolume wordt verwacht. Hoeveel de geulomvang kleiner zal worden is daarom niet precies te zeggen, maar het is duidelijk dat de geul in omvang zal afnemen.

figuur 6.1 : Getijvolume-doorsnede Brielse Gat



#### Gebied voor de sluisen

De evenwichtswaarden die uit de relatie van Gerritsen en de Jong volgen zijn veel lager dan de waarden die volgen uit de andere relaties. Uit figuur 5.1 kan worden afgelezen dat de doorsneden volgens Gerritsen en de Jong tot een getijvolume van ruim 400 mln  $m^3$  kleiner zijn dan de doorsneden volgens Haring. Het getijvolume van de geulen is door de afsluiting van het Haringvliet zover afgenomen dat het getijvolume tegenwoordig veel minder is dan 400 mln  $m^3$ . De relatie van Gerritsen en de Jong geeft dus altijd lagere waarden dan de relatie van Haring en is daarom niet geschikt voor de monding van het Haringvliet.

De evenwichtsdoorsneden die volgen uit de relatie van van den Berg zijn ongeveer 2000  $m^2$  groter dan de evenwichtsdoorsneden volgens Gerritsen en de Jong. Het grote verschil komt doordat de relatie van van den Berg gebaseerd is op het dominante volume, dit is door de extra afvoer van het Haringvliet veel groter dan het getijprisma.

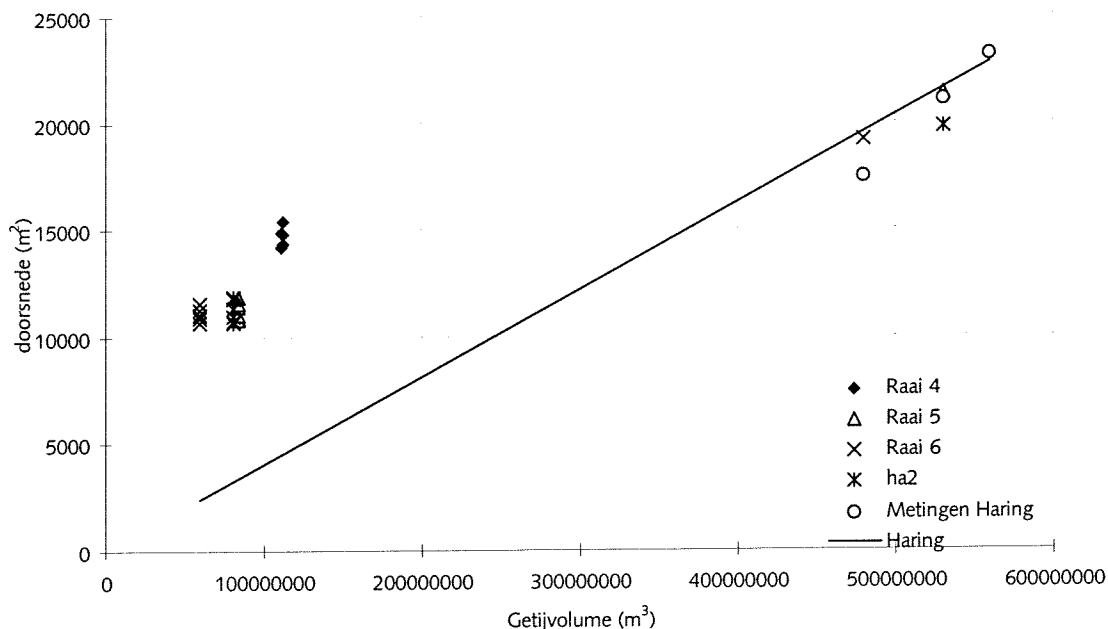
De waarden die volgen uit de relatie van Haring en van van de Kreeke en Haring zijn ongeveer gelijk. Ze liggen tussen de waarden van van den Berg en van Gerritsen en de Jong in.

Volgens alle relaties is het evenwicht nog niet bereikt. Ondanks het feit dat de huidige doorsneden dicht in de buurt liggen van de relatie van van den Berg dan van Haring, geniet de relatie van Haring de voorkeur omdat deze is afgeleid voor het Haringvliet. In figuur 6.2 is te zien dat de doorsneden in 1959, dit zijn de doorsneden met het grote getijvolume, dicht in de buurt van het evenwicht liggen.

#### Slijkgat en Rak van Scheelhoek

De evenwichtsdoorsneden van de aparte geulen vertonen een soortgelijk beeld als die van de totale raaien. De evenwichten volgens Gerritsen en de Jong zijn het kleinst en de waarden volgens van den Berg zijn het grootst. De relaties van Haring en van van de Kreeke en Haring geven ongeveer gelijke resultaten. Uit figuur 6.3 is af te lezen dat de doorsneden van de aparte geulen nog te groot zijn, maar dat deze de evenwichtslijn dichter naderen dan de totale doorsneden. Haring heeft zijn relatie opgesteld voor de totale geuldoorsnede voordat het Haringvliet werd afgesloten. De getijgeul vormde toen een geheel, het totale debiet werd door zowel het Slijkgat als het Rak van Scheelhoek afgevoerd. Tegenwoordig is dit niet meer het geval. De sluisopening bevindt zich in het zuiden van de dam, met als gevolg dat het merendeel van de afvoer door het Slijkgat stroomt. Het Slijkgat en het Rak

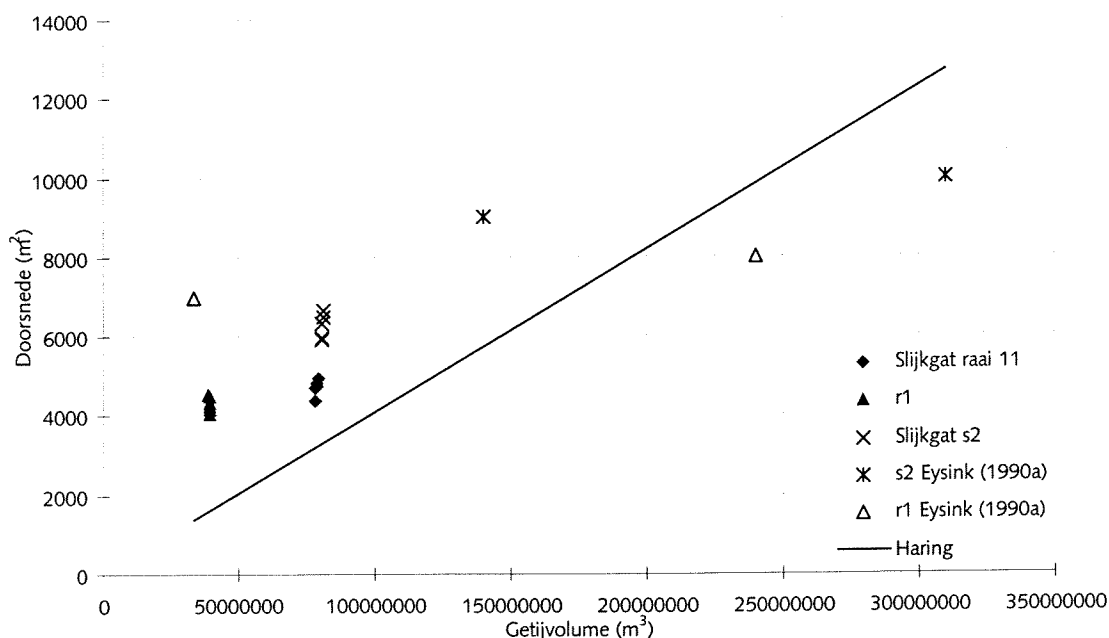
figuur 6.2 : Getijvolume-doorsnede gebied voor de sluizen



van Scheelhoek zijn twee aparte systemen geworden en zullen dus ook onafhankelijk van elkaar moeten worden bekeken. De waarden die in Eysink (1990a) worden gegeven voor de doorsnede en het getijvolume van voor de afsluiting liggen onder de evenwichtslijn. Dit kan veroorzaakt zijn door een onnauwkeurige opgaven van het doorstroomprofiel of het getijvolume.

Voor alle geulen geldt dat de doorsnede nog sterk afwijkt van de evenwichtsdoorsnede. Uit de analyse van de doorsneden (hoofdstuk 4) bleek dat de geulen nog niet in evenwicht zijn, hetgeen overeenkomt met deze resultaten. In deze studie zal de relatie van Haring worden toegepast omdat deze is afgeleid voor het Haringvliet zodat de morfologische omstandigheden waaronder de relatie is afgeleid het best overeen komen met de huidige morfologische omstandigheden. Met behulp van het empirisch dynamisch model ASMITA kunnen de morfologische tijdschalen van het systeem worden bekeken. Aan de hand van de door ASMITA berekende tijdsduur die nodig is

figuur 6.3 : Getijvolume-doorsnede Slijkgat en het Rak van Scheelhoek



om evenwicht te bereiken, wordt bekeken of het reëel is te veronderstellen dat de geulen de evenwichtswaarde zullen bereiken.

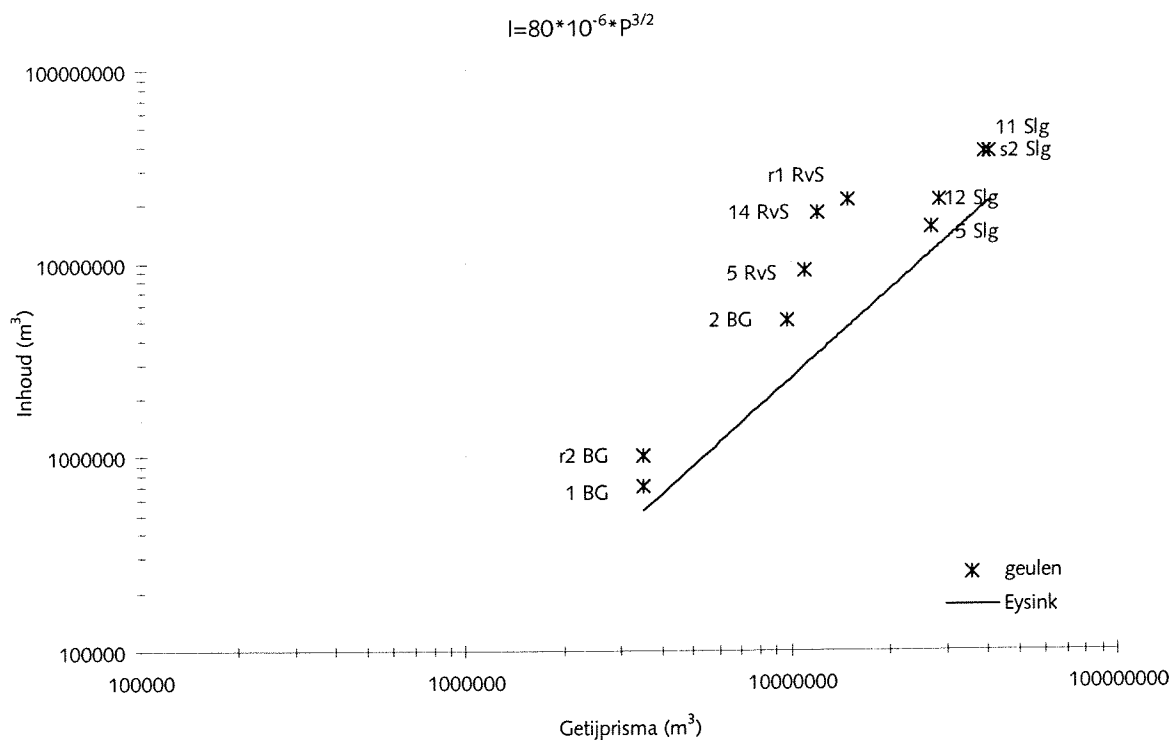
### 6.2 Relatie tussen het getijprisma en de inhoud van een getijgeul

Eysink (1990a) heeft voor de Westerschelde een relatie afgeleid tussen de inhoud van een getijgeul beneden NAP en het getijprisma.

In figuur 6.4 is alleen voor de afzonderlijke geulen de inhoud tegen het getijprisma uitgezet voor de huidige situatie. Voor de overzichtelijkheid zijn niet alle waarden van 1990 - 1995 uitgezet, maar is een voor deze periode representatieve waarde gekozen voor zowel het getijprisma als de geulinhoud.

In de figuur is te zien dat van alle geulen de geulinhoud boven de evenwichtslijn van Eysink ligt. Het Brielse Gat en het Slijkgat liggen dichterbij de evenwichtslijn dan het Rak van Scheelhoek. Dit zou betekenen dat het Rak van Scheelhoek verder van het evenwicht is verwijderd dan de andere twee geulen. Uit de figuren 4.7 tot 4.10 is af te lezen dat het doorstroomoppervlak van het Rak van Scheelhoek kleiner wordt tot 1995, daarna reageert de geul op de hoge afvoer. Het Slijkgat reageert veel heftiger op de toegenomen afvoer. Een oorzaak is dat de afvoer door deze geul groter is, een andere oorzaak zou kunnen zijn dat de geul dichterbij zijn evenwicht ligt, hetgeen overeenkomt met het hier gevonden resultaat. De punten van het Slijkgat en het Brielse Gat liggen uitgezet op dubbel logaritmisch papier ongeveer evenwijdig aan de evenwichtslijn. Dit betekent dat een relatie door deze punten dezelfde macht heeft als de evenwichtslijn, maar een andere coëfficiënt. Uit de wiskundige afleiding volgde ook de macht 1,5. Haring gebruikt in zijn relatie het getijvolume. Dit is twee keer zo groot als het getijprisma dat door Eysink wordt gebruikt. De factor 2 komt terug in de coëfficiënt van beide relaties, aangezien de coëfficiënt die Eysink gebruikt ongeveer twee maal zo groot is als de coëfficiënt die Haring gebruikt.

figuur 6.4 : Getijprisma-inhoud geul



Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de relatie goed toepasbaar is bij toekomstige ontwikkelingen.



### 6.3 Relatie tussen de stroomsnelheid en het doorstroomprofiel van een getijgeul

De gemiddelde stroomsnelheid is gerelateerd aan het getijvolume. Een relatie tussen de gemiddelde stroomsnelheid en het doorstroomprofiel is dus niet wezenlijk anders dan een relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel. In deze studie is daarom alleen gekeken naar de relatie tussen het getijvolume en het doorstroomoppervlak.

### 6.4 Invloed van de schuifspanning op de relatie tussen het getijvolume en de geuldoorsnede

Zoals in hoofdstuk 5 is beschreven, is het toepassen van een dergelijke relatie gecompliceerd. Weliswaar worden in Bruun (1960) waarden voor de bodemschuifspanning gegeven en wordt voor de Chezy-coëfficiënt een formule gegeven, maar toch blijft de toepasbaarheid van deze relatie onzeker omdat de gegeven waarden geldig zijn bij een open Haringvliet. Voor de huidige situatie zijn de benodigde gegevens niet bekend. Aangezien de relatie onnauwkeurig wordt als gewerkt wordt met onbekende gegevens is deze in deze studie niet gebruikt.

### 6.5 Hydraulische straal gebruiken als stabiliteitsparameter

De relatie tussen het getijprisma en het doorstroomprofiel is volgens de mathematisch-fysische afleiding ook afhankelijk van de hydraulische straal (=oppervlak doorstroomprofiel / natte omtrek). Gerritsen heeft twee relaties afgeleid, één op mathematisch-fysische basis en één op basis van de empirische relatie tussen de gemiddelde snelheid en de hydraulische straal. Eerst zal de Mathematisch-fysisch afgeleide relatie worden bekeken.

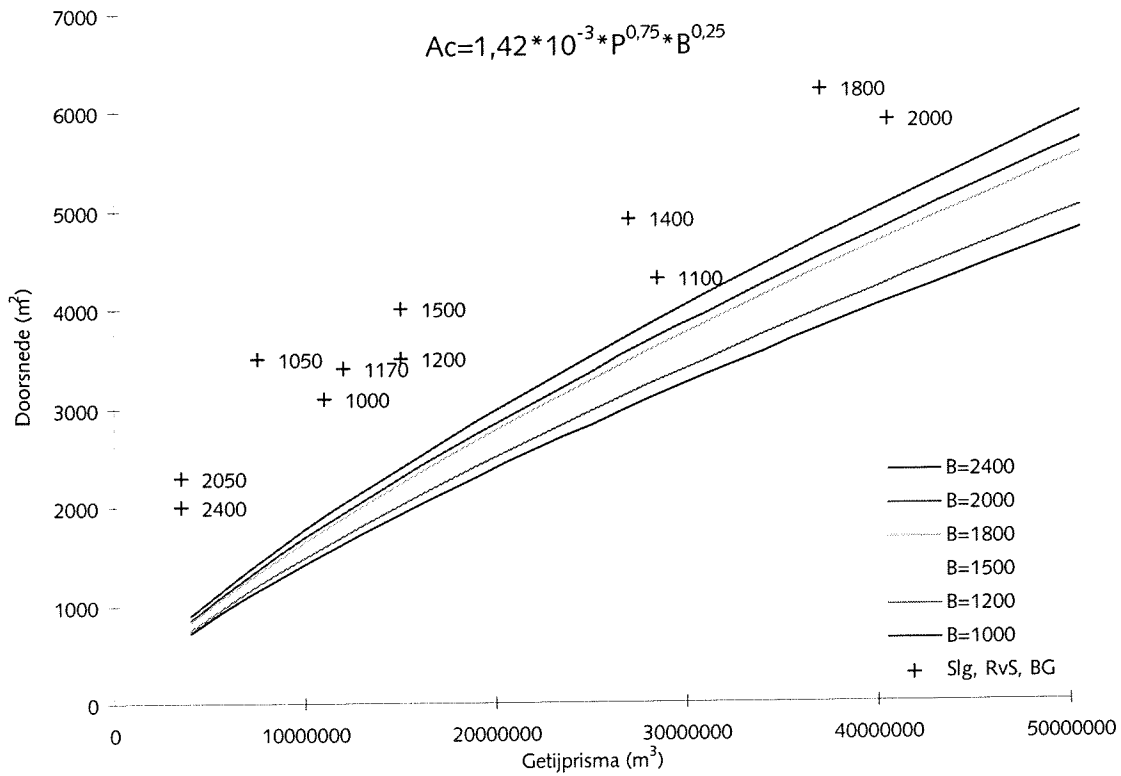
#### Mathematisch-fysisch afgeleide relatie

In figuur 6.5 zijn voor het Brielse Gat, het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat de huidige geuldoorsneden uitgezet tegen het getijprisma volgens vergelijking 5.12. De "+" zijn de gemeten doorsneden, achter deze waarden staat de breedte van de geul in meters weergegeven. De verschillende krommen zijn de evenwichtslijnen behorende bij een bepaalde breedte waarbij de bovenste lijn bij de grootste breedte hoort. Alle punten liggen boven deze lijnen maar de trend is vergelijkbaar met die van de evenwichtsrelatie. Uit hoofdstuk 4 bleek dat de geulen nog niet in evenwicht zijn, het lijkt dus waarschijnlijk dat de geuldoorsneden richting de evenwichtslijnen zullen verschuiven. De geulen met de grotere doorsneden liggen in het algemeen boven de geulen met een kleinere doorsnede hetgeen in overeenstemming is met de theorie.

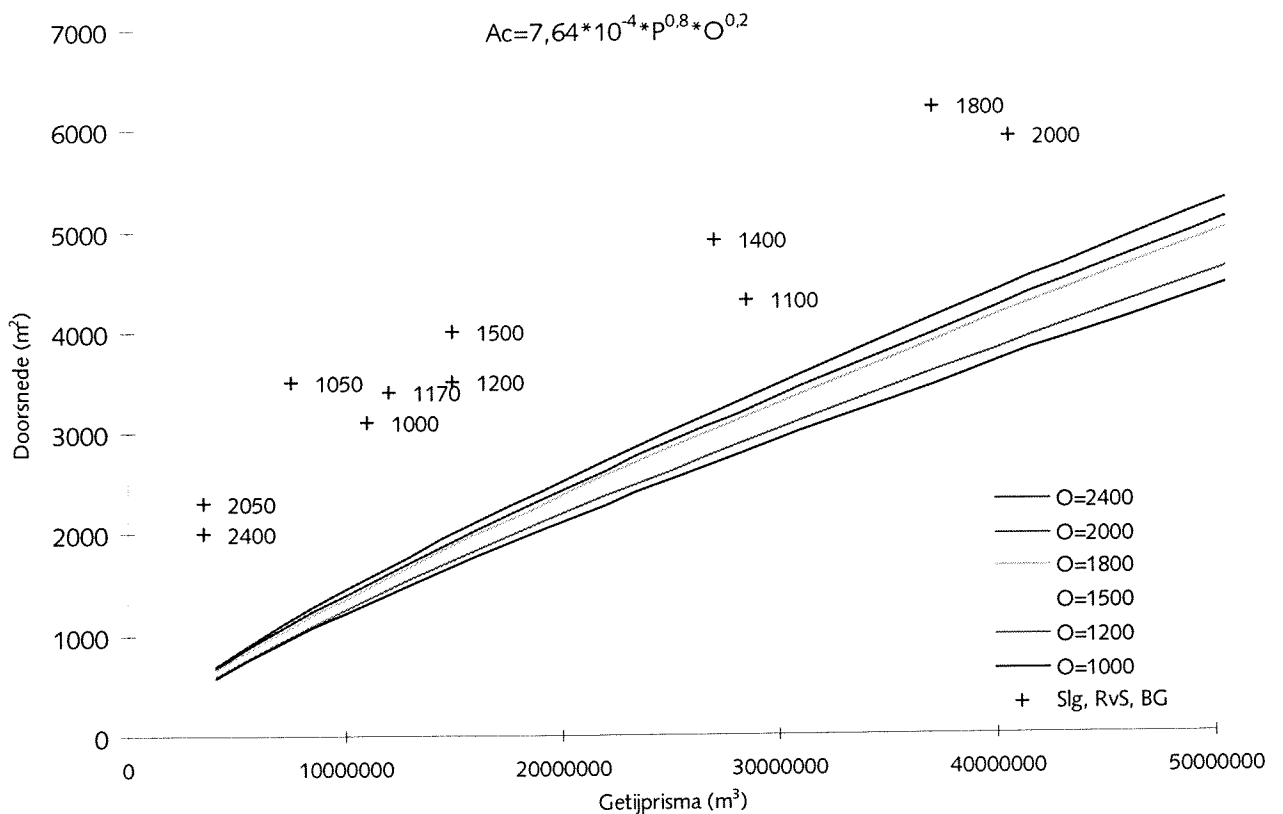
#### Relatie afgeleid op basis van empirisch verband tussen de snelheid en de hydraulische straal

In figuur 6.6 is de relatie van Gerritsen afgebeeld die is afgeleid door het empirische verband tussen de gemiddelde snelheid en de hydraulische straal in rekening te brengen volgens vergelijking 5.41. De punten liggen ook nu weer boven de evenwichtslijnen, zelfs iets verder dan bij de Mathematisch-fysisch afgeleide relatie. In de vergelijking staat  $O$ , de natte omtrek gegeven. Bij brede ondiepe geulen, zoals hier het geval is, is deze bijna gelijk aan de breedte.

figuur 6.5 : Mathematisch-fysisch afgeleide relatie tussen het getijprisma en de doorsnede van een geul, rekening houdend met de hydraulische straal. De cijfers naast de "+" geven de breedte van de geulen weer.

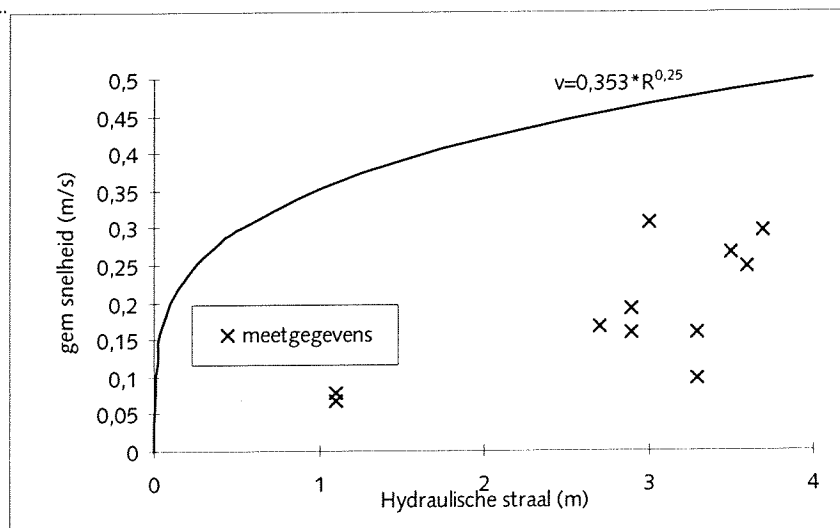


figuur 6.6 : Relatie tussen het getijprisma en de geuldoorsnede op basis van empirische gegevens. De cijfers naast de "+" geven de breedte van de geulen weer.



In figuur 6.7 zijn de gemiddelde snelheden, berekend uit het getijvolume, uitgezet tegen de hydraulische straal. De getrokken lijn is de bestaande evenwichtsrelatie. Voor alle geulen geldt dat de gemiddelde snelheid ver onder de snelheid volgens het empirische evenwicht liggen. Uit figuur 5.2 blijkt dat voor geulen met een kleinere doorsnede de snelheid lager is dan uit de relatie volgt. Vergelijking van figuur 5.2 met figuur 6.7 laat zien dat de gemeten waarden voor de mondig van het Haringvliet aan de ondergrens van de spreiding rond de lijn in figuur 5.2 liggen. Dit duidt er nogmaals op dat de geuldoorsneden nog te groot zijn. Omdat geen eenduidig verband bestaat tussen de snelheid en de hydraulische straal kan de relatie niet worden afgeleid (zie paragraaf 5.9) voor dit specifieke gebied. Aangezien het wel reëel is te verwachten dat de geuldoorsneden afnemen, is de relatie

figuur 6.7  
Gemiddelde snelheid-  
hydraulische straal



afgebeeld in figuur 6.6 goed toepasbaar voor de Haringvlietmonding. De relatie is getest voor het Waddengebied voor geulen waarin de laatste decennia geen menselijke ingrepen zijn gedaan. Met een enigszins aangepaste coëfficiënt, 8,0 in plaats van 7,64, komt de relatie goed overeen met de meetgegevens. Omdat deze relatie is afgeleid op basis van meetgegevens van het hele Nederlandse kustgebied, geniet deze de voorkeur ten opzichte van de Mathematisch-fysisch afgeleide relatie. In de laatste relatie is alleen het suspensief transport in rekening gebracht.

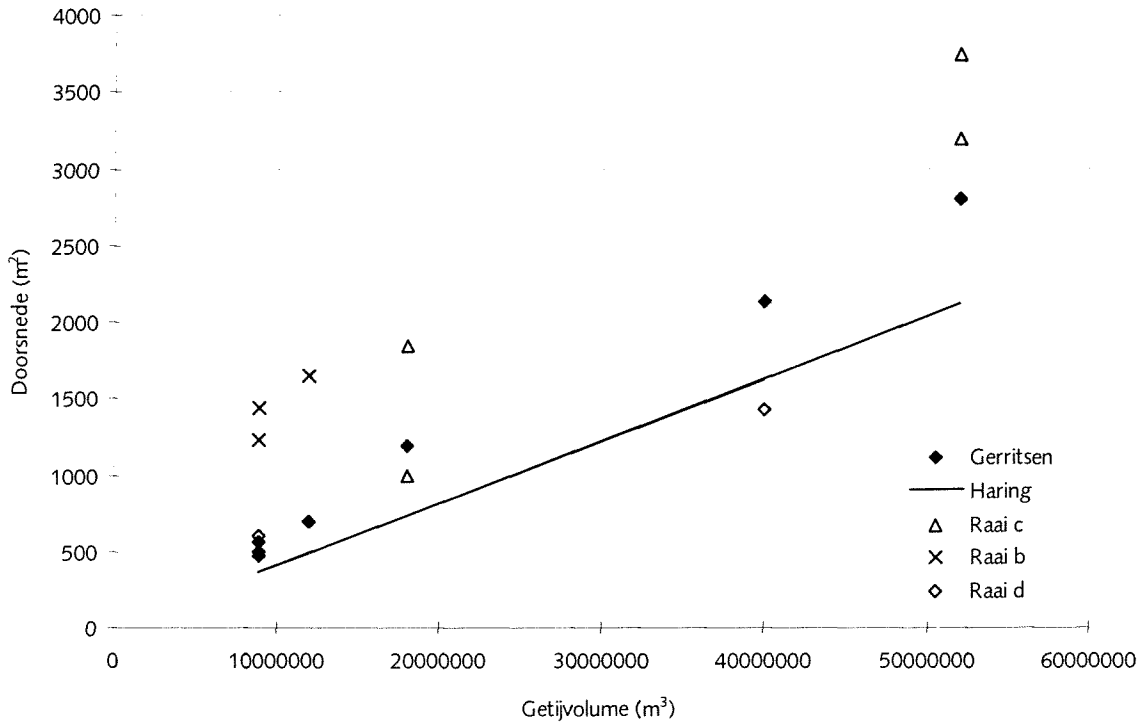
## 6.6 Afsluiting Brielse Maas

In 1950 is de Brielse Maas afgesloten, waardoor het Brielse Meer is ontstaan. Zoals in hoofdstuk 3 beschreven is heeft zich voor de dam een plaat, de Westplaat, gevormd. Van de raaien b, c en d, zie figuur 3.7, zijn de profielen van de jaren 1951, 1955 en 1959 bekend. Van 1948, voor de afsluiting, en 1960 na de afsluiting is het bijbehorende getijvolume bekend (Rijkswaterstaat, 1962). Van raai c is ook een doorsnede van 1948 bekend. In figuur 6.8 zijn deze gegevens uitgezet. De lijn geeft de evenwichtswaarden volgens Haring aan, de "♦" geven de evenwichtswaarden volgens Gerritsen weer. Na de afsluiting is het getijvolume gereduceerd en zijn de geulen kleiner geworden. Ongeveer 10 jaar na de afsluiting had de geul zijn nieuwe evenwicht bereikt. De raaien c en d liggen in 1957 vrij dicht in de buurt van het evenwicht volgens Haring. Het profiel van raai c in 1957 is zelfs kleiner dan het evenwicht volgens Gerritsen. Het profieloppervlak van raai d ligt voor de afsluiting onder het evenwicht volgens Haring, dit komt doordat voor de afsluiting in de monding een kleine plaat lag die met vloed onder water stond. Tijdens eb stroomde al het water door de geul terwijl met vloed een gedeelte over de plaat stroomde zodat de geuldoorsnede niet bepaald werd door het volledige getijvolume.

Het profiel van raai b ligt ver boven beide evenwichtsrelaties. De geul bestaat uit twee geulen. Het profiel wordt behalve door het getijvolume ook door de rondstroming achter de plaat bepaald.

De situatie die ontstaan is na het afsluiten van de Brielse Maas voldoet goed aan de evenwichtsrelaties. Na het doorsteken van de Brielse Gatdam mag dan ook verwacht worden dat een situatie zal ontstaan die soortgelijk is en dus ook met de evenwichtsrelaties kan worden beschreven.

figuur 6.8 : Afsluiting Brielse Maas



## 7. Opzet van het ASMITA model

---

ASMITA (Aggregated Scale Morphological Interaction between a Tidal basin and Adjacent coast) is een 1 dimensionaal gedragsmodel dat gebaseerd is op het ESTMORF concept (Karssen en Wang, 1993). Het model berekent met behulp van empirische evenwichtsrelaties lange termijn ontwikkelingen voor een getijdebassin. Tot nu toe is het mogelijk om geulen, platen, ebdelta's en kust elementen te schematiseren. De grootte van de geulen en platen wordt bepaald door het getijvolume, zie hoofdstuk 5. Voor de ebdelta zijn zowel de golven als het getij van belang terwijl voor de kust de golven en de golfgedreven stroming het meest van belang zijn. In ASMITA worden de geulen, platen, ebdelta en kust geschematiseerd door een element met een bepaald volume. De elementen worden onderling gekoppeld zodat sediment uitwisseling tussen de elementen plaats kan vinden (Stive et al., 1996).

Het ASMITA concept is gebaseerd op sedimentconcentraties van elementen. Hiermee wordt de concentratie van het sediment in het water boven het element (geul, plaat, ebdelta of kust) bedoeld. Door een verschil in sedimentconcentraties komt sediment uitwisseling tot stand.

Daarbij worden de volgende aannamen gedaan :

- De evenwichtssituatie onder constante hydrodynamische omstandigheden van de elementen is bekend.
- Als alle elementen in evenwicht zijn is de sedimentconcentratie van de elementen gelijk.
- Als een element niet in evenwicht is, wijkt de sedimentconcentratie af.
- Het sedimenttransport tussen de elementen kan met een diffusie vergelijking beschreven worden.

Het huidige model is ontwikkeld voor het Friesche Zeegat. Het ASMITA concept kan worden toegepast op elk getijdebassin zolang de schematisatie van het bassin bestaat uit een aantal elementen.

### 7.1 Algemene opzet van het ASMITA-model

Het ESTMORF concept gaat er van uit dat een evenwichtssituatie, afhankelijk van de hydrodynamische condities, voor elk element bekend is. De achtergrond met betrekking tot dit evenwicht en de daaraan gekoppelde evenwichtsrelaties zijn in hoofdstuk 5 beschreven. Bij de modellering van de buitendelta van het Haringvliet worden geulen en platen gebruikt omdat naar de evenwichtsrelaties van de overige elementen voor dit gebied geen onderzoek gedaan is.

Verder gaat het ESTMORF concept uit van evenwichtconcentraties. Als alle elementen in evenwicht zijn, geldt voor het hele systeem een overall evenwichtconcentratie  $c_e$  in  $[m^3/m^3]$ . Elk element heeft een lokaal evenwicht  $c_e$ , dat gerelateerd is aan het volume van het element. Als de lokale evenwichtconcentratie  $c_e$  kleiner is dan de totale evenwichtconcentratie  $c_e$ , heeft het element de neiging om te eroderen, zodat de lokale evenwichtconcentratie  $c_e$  dichterbij de totale evenwichtconcentratie  $c_e$  zal komen. Of die erosie ook optreedt hangt van de zandhonger of zandoverschot van de omgeving af. Op dezelfde manier zal een element neiging tot sedimentatie hebben wanneer  $c_e$  groter is dan  $c_e$ . Ook hier hangt het van de omgeving af of er daadwerkelijk sedimentatie optreedt. Als  $c_e$  gelijk is aan  $c_e$  is het element in morfologisch evenwicht.

De lokale evenwichtsconcentratie  $c_e$  kan worden afgeleid uit de sedimenttransportformule :

$$S = m \cdot v^n \quad (7.1)$$

Als een element in evenwicht is, geldt:

$$S_E = m \cdot v_E^n \quad (7.2)$$

De afvoer Q is constant, daarom geldt :

$$v = v_E \cdot \left(\frac{A_E}{A}\right) \quad (7.3)$$

Vergelijkingen ( 7.1 ), ( 7.2 ) en ( 7.3 ) leveren :

$$S = S_E \cdot \left(\frac{A_E}{A}\right)^n \quad (7.4)$$

$$\text{Met } S = c_e \cdot v \cdot A \quad (7.5)$$

levert dit :

$$c_e = c_E \left(\frac{A_E}{A}\right)^{n-1} \quad (7.6)$$

Voor het volume van een geul geldt eveneens :

$$c_{ce} = c_E \left(\frac{V_{ce}}{V_c}\right)^{n-1} \quad (7.7)$$

Het volume van de platen is een zandvolume. Bij erosie wordt dit volume kleiner in tegenstelling tot het geulvolume dat bij erosie groter wordt.

Daarom geldt voor de plaat :

$$c_{fe} = c_E \left(\frac{V_f}{V_{fe}}\right)^{n-1} \quad (7.8)$$

In vergelijkingen ( 7.1 ) tot ( 7.8 ) geldt:

S	= sedimenttransport	[m <sup>3</sup> /s]
S <sub>E</sub>	= evenwichts-sedimenttransport	[m <sup>3</sup> /s]
m	= coëfficiënt	[-]
n	= coëfficiënt	[-]
v	= stroomsnelheid over het dwarsprofiel	[m/s]
v <sub>E</sub>	= evenwichtsstroomsnelheid over het dwarsprofiel	[m/s]
A	= profieldoorsnede	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>E</sub>	= evenwichts-profieldoorsnede	[m <sup>2</sup> ]
c <sub>e</sub>	= lokale evenwichts-concentratie	[-]
c <sub>E</sub>	= totale evenwichts-concentratie	[-]
c <sub>fe</sub>	= lokale evenwichtsconcentratie van de plaat	[-]
c <sub>ce</sub>	= lokale evenwichtsconcentratie van de geul	[-]
V <sub>f</sub>	= volume van de plaat boven GLW	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>fe</sub>	= evenwichtsvolume van de plaat boven GLW	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>c</sub>	= volume van de geul beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>ce</sub>	= evenwichtsvolume van de geul beneden NAP	[m <sup>3</sup> ]

Zoals hierboven beschreven treden morfologische veranderingen op als de lokale evenwichtsconcentratie  $c_e$  niet gelijk is aan de totale evenwichtsconcentratie  $c_E$ . De grootte van de volumeverandering van het element is afhankelijk van de snelheid waarmee het sediment de bodem bereikt en van de grootte van het oppervlak van het element. Hoe groter het oppervlak, hoe meer sediment erop kan neerslaan. Dit resulteert voor geul en plaat in de volgende vergelijkingen :

$$\text{plaat : } \frac{\partial V_f}{\partial t} = w_s \cdot A_{hf} \cdot (c_f - c_{fe}) \quad (7.9)$$

$$\text{geul : } \frac{\partial V_c}{\partial t} = w_s \cdot A_{hc} \cdot (c_{ce} - c_c) \quad (7.10)$$

waarin :

w <sub>s</sub>	= coëfficiënt met eenheid van valsnelheid	[m/s]
A <sub>hf</sub>	= horizontaal oppervlak van de plaat	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>hc</sub>	= horizontaal oppervlak van de geul	[m <sup>2</sup> ]
c <sub>f</sub>	= sedimentconcentratie boven de plaat	[-]
c <sub>c</sub>	= sedimentconcentratie in de geul	[-]

Het sedimenttransport en de sedimentconcentratie kunnen beschreven worden met een advectie-diffusie vergelijking. In ESTMORF wordt de volgende vergelijking gebruikt.

$$\frac{\partial A_c \cdot c_c}{\partial t} + \frac{\partial A_c \cdot v \cdot c_c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( A_c \cdot D_c \frac{\partial c_c}{\partial x} \right) - F_{lc} = W_c \cdot w_s \cdot (c_{ce} - c_c) \quad (7.11)$$

waarin :

$A_c$ = oppervlak van de doorsnede van de geul	[m <sup>2</sup> ]
$D_c$ = transversale dispersiecoëfficiënt van de geul	[m <sup>2</sup> /s]
$W_c$ = breedte van de geul	[m]
$F_{lc}$ = laterale uitwisseling tussen geul en lage plaat	[m <sup>2</sup> /s]

De term  $F_{lc}$  geeft de laterale uitwisseling van de geul weer en kan evenals de derde term uit vergelijking ( 7.11 ) beschreven worden als :

$$F_{lc} = \frac{\partial}{\partial y} \left( A_l \cdot D_l \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (7.12)$$

Dit kan worden omgeschreven naar :

$$F_{lc} = D_l \cdot \overline{\Delta h_l} \cdot \frac{c_l - c_c}{L_{lc}} \quad (7.13)$$

voor vergelijking ( 7.12 ) en ( 7.13 ) geldt :

$A_l$ = oppervlak van de lage plaat	[m <sup>2</sup> ]
$D_l$ = diffusiecoëfficiënt	[m <sup>2</sup> /s]
$\Delta h_l$ = waterdiepte op lage plaat	[m]
$L_{lc}$ = afstand tussen centrum van de geul en centrum van de lage plaat	[m]

In ESTMORF wordt gewerkt met elementen die een doorsnede en een lengte hebben, terwijl in ASMITA de elementen een volume hebben. De uitwisseling tussen geul en lage plaat, vergelijking ( 7.13 ), moet worden omgezet naar de uitwisseling tussen twee volume elementen.

Verder wordt in ASMITA verondersteld dat de morfologische tijdschaal veel groter is dan de tijdschaal nodig voor de sedimentconcentratie om zich aan te passen aan de evenwichtswaarde en aan de omgeving. In dat geval kan de eerste term uit vergelijking ( 7.11 ) gelijk aan nul worden gesteld. Advectief transport treedt alleen op langs de kust. Tussen alle in verbinding staande elementen treedt dispersie transport op. Dit resulteert, voor bijvoorbeeld de relatie tussen plaat en geul, in de volgende vergelijking.

$$\delta_{fc} \cdot (c_f - c_c) = w_s \cdot A_{hf} \cdot (c_{fe} - c_f) \quad (7.14)$$

waarin :

$\delta_{fc}$ = uitwisselingscoëfficiënt tussen plaat en geul	[m <sup>3</sup> /s]
---	---------------------

De uitwisselingscoëfficiënt is gebaseerd op diffusietransport en hangt af van de diffusiecoëfficiënt, het volume van het element en de afstand tussen de elementen.

Het opstellen van de diffusievergelijking ( 7.14 ) voor alle elementen levert evenveel vergelijkingen als elementen met evenveel onbekenden.

## 7.2 Gebruikte empirische evenwichtsrelaties in ASMITA

In ASMITA worden evenwichtsrelaties gebruikt die het verband tussen de geulinhoud en het getijvolume beschrijven. Uit de analyse van de empirische relaties, zie hoofdstuk 5 volgde dat de relaties van Haring, Gerritsen en Eysink het best voldoen voor de mondig van het Haringvliet. Met de methode beschreven in paragraaf 5.5 kan de relatie van Haring tussen de

geuldoorsnede en het getijvolume worden omgezet naar een relatie tussen het geulvolume en het getijprisma. Dit levert :

$$I_c = 81,4 \cdot 10^{-6} \cdot P^{1,5} \quad (7.15)$$

Waarin :

$$\begin{aligned} I_c &= \text{inhoud van de geul beneden NAP} && [m^3] \\ P &= \text{getijprisma} && [m^3] \end{aligned}$$

De relatie lijkt erg veel op de relatie van Eysink, zie vergelijking 5.22, waarin de coëfficiënt een waarde heeft van  $80 \cdot 10^{-6}$  en  $I_c$  eveneens evenredig is met  $P^{1,5}$ .

De relatie van Gerritsen tussen de geuldoorsnede en het getijprisma kan met dezelfde methode worden omgezet naar een relatie tussen de inhoud en het getijprisma. De relatie blijft afhankelijk van de natte omtrek en dus van de hydraulische straal. De hydraulische straal verandert als het getijprisma verandert en kan dus niet als een constante in het model worden ingevoerd. De relatie tussen het getijprisma en de hydraulische straal die in Eysink en Biegel (1992) beschreven staat is niet toepasbaar omdat het getijprisma plotseling is afgenomen als gevolg van het sluiten van de sluiten in het Haringvliet en de hydraulische straal zich langzaam aan de nieuwe situatie aanpast. Met de bekende gegevens kan een afhankelijkheid in de tijd van de hydraulische straal afgeleid worden, maar die is per doorsnede en per geul verschillend en is daarom niet algemeen toepasbaar. De relatie van Gerritsen is dus niet geschikt om toe te passen op de toekomstige ontwikkeling van geulen.

Naar het plaatvolume is voor de Haringvlietmonding geen onderzoek gedaan daarom is de relatie gebruikt die is afgeleid voor de Waddenzee.

$$I_f = 0,43 \cdot A_{hb} \cdot H \quad (7.16)$$

Waarin :

$$\begin{aligned} I_f &= \text{inhoud van de plaat boven GLW} && [m^3] \\ A_{hb} &= \text{horizontale oppervlak van het bassin op GHW} && [m^2] \\ &A_{hb} = A_{hc} + A_{hf} \\ H &= \text{getijslag} && [m] \end{aligned}$$

### 7.3 Morfologische tijdschaal

Het uiteindelijke volume van de elementen zoals berekend met behulp van ASMITA hangt af van de gebruikte empirische evenwichtsformules. De snelheid waarmee dit evenwicht bereikt wordt hangt af van de morfologische tijdschaal waarvoor de valsnelheid, de factor  $n$  uit de sedimenttransportformule, de uitwisselingscoëfficiënt en de evenwichtsconcentratie bepalend zijn. Tijdens de calibratie van het ESTMORF model is de wiskundige analyse van de tijdschaal vergeleken met de gemeten tijdschaal. De wiskundig afgeleide tijdschaal voor de plaat en de geul is (Fokkink, 1996) :

$$\frac{T_s + T_D}{c_E \cdot n} \quad (7.17)$$

Hierin is  $T_s$  de verticale tijdschaal voor sedimentatie of erosie. Deze is omgekeerd evenredig met de valsnelheid  $w_s$ . De horizontale tijdschaal  $T_D$ , is omgekeerd evenredig met de uitwisselingscoëfficiënt  $\delta$ . De coëfficiënten  $c_E$  en  $n$  zijn de concentratie en de factor uit de transportformule. Uit de resultaten voor zowel de Westerschelde als het Friesche Zeegat bleek dat voor het inschatten van tijdschalen vergelijking ( 7.17 ) voldoet.

Uit vergelijking ( 7.17 ) volgt dat de tijdschaal groter wordt als  $w_s$ ,  $\delta$ ,  $c_E$  en  $n$  kleiner worden. Als de valsnelheid  $w_s$  groter wordt, vindt de uitwisseling tussen de bodem en het water sneller plaats, waardoor het element sneller



zijn evenwicht bereikt. Een grotere uitwisselingscoëfficiënt  $\delta$  zorgt voor een snellere uitwisseling van sediment tussen de elementen zodat het evenwicht eveneens eerder wordt bereikt. Verder heeft de uitwisselingscoëfficiënt  $\delta$  ook invloed op het minimum en maximum volume dat een element tijdens morfologische aanpassingen bereikt. Als de uitwisselingscoëfficiënt groter wordt, neemt de grootte van het sediment transport toe, zodat de verblijftijd van het sediment in een element korter wordt. Hierdoor wordt de sedimentopslagcapaciteit van het element kleiner zodat het maximum volume dat een element tijdens aanpassingen bereikt minder groot is. De concentratie  $c_e$  is van invloed op het volume. Hoe groter de concentratie hoe sneller het volume zich zal aanpassen. Hierdoor wordt het morfologische evenwicht eerder bereikt is. De coëfficiënt  $n$  beïnvloedt het sedimenttransport. Dit transport wordt groter bij een hogere coëfficiënt waardoor het morfologisch evenwicht sneller wordt bereikt.

Uit een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd door Buisman (1996) blijkt dat de invloed op het minimale en maximale volume van  $n$  minder groot is dan de invloed van  $w_s$ . Dit komt doordat het volume rechtstreeks van  $w_s$  afhangt en indirect van  $n$ . Verder blijkt dat de invloed van  $n$  en  $c_e$  op de morfologische tijdschaal van het systeem ongeveer gelijk zijn. De bereikte minimale en maximale volumes van de elementen veranderen niet door een verandering van  $c_e$ . De invloed van de coëfficiënt  $\delta$  op de morfologische tijdschaal is vergelijkbaar met de invloed van coëfficiënten  $c_e$  en  $n$ . Op de minimale en maximale volumes heeft  $\delta$  grote invloed. Voor de morfologische tijdschaal zijn de coëfficiënten  $n$ ,  $c_e$  en  $\delta$  het meest van belang. De afwijkingen die optreden bij een grotere tijdstap zijn vrij klein. Bij een tijdstap van 10 jaar is de afwijking enkele procenten ten opzichte van een tijdstap van enkele dagen.

#### 7.4 Invoerparameters

In deze paragraaf worden de parameters beschreven die in het model moeten worden ingevoerd. In hoofdstuk 8 zijn de gebruikte waarden vermeld.

##### Evenwichtsrelaties

De coëfficiënten van de evenwichtsrelaties voor de geul en de plaat zijn variabel. In deze studie zijn de relaties zoals beschreven in paragraaf 7.2 gebruikt.

##### Fysische parameters

Om de volumes van de elementen te berekenen moeten de totale evenwichtsconcentratie van het gebied, de valsnelheid van het sediment en de macht  $n$  voor de transportformule worden ingevoerd. Omdat het systeem nog niet in evenwicht is, kan de evenwichtsconcentratie niet gemeten worden. De waarden zijn voor de buitendelta van het Haringvliet niet bekend en zijn daarom gebruikt bij de calibratie van het model.

De monding van de Haringvliet is een klein gebied zodat de faseverschillen van het getij klein zijn. Het getijvolume kan daarom als volgt berekend worden :

$$TV = 2 \cdot (A_{hb} \cdot H - V_f) + Q_r \quad (7.18)$$

waarin :

$Q_r$  = maatgevende afvoer van Haringvliet [m<sup>3</sup>]  
gedurende een getij

##### Randvoorwaarden

Op alle randen moet een concentratie worden opgelegd. Om een evenwichtstoestand van het model te krijgen moet deze concentratie gelijk zijn aan de totale evenwichtsconcentratie.

### **Transportparameters**

De uitwisselingscoëfficiënt geeft de uitwisseling tussen twee elementen aan en hangt af van de diffusiecoëfficiënt, de diepte van het water en de afstand tussen de geulen, zie vergelijking ( 7.13 ). Ook de uitwisselingscoëfficiënten zijn gebruikt voor de calibratie van het model.

### **Geometrie**

Het horizontale oppervlak van de elementen en de inhoud van de elementen moet worden ingevoerd. Voor de inhoud van de geulen wordt het watervolume beneden NAP genomen en voor het volume van de platen wordt het zandvolume boven GLW genomen. Het oppervlak van de plaat bepaalt hoeveel sediment kan neerslaan en wordt genomen bij NAP. Voor de berekening van het getijprisma is het bassinoppervlak nodig op GHW. Aangezien alle elementen als volume-eenheden worden geschematiseerd wordt de vorm van de doorsnede niet meegenomen, de randen worden recht verondersteld. In werkelijkheid wordt de geul naar boven toe breder. Om dit effect te verdisconteren wordt voor het horizontale oppervlak van de geul, het totale bassinoppervlak op GHW min het plaatoppervlak op NAP ingevoerd.

De plaathoogte is constant zodat bij een vergroting van het volume het oppervlak ook groter wordt.

### **Numerieke parameters en uitvoerfile**

De grootte van de tijdstap en het aantal tijdstappen moeten worden opgegeven. De waarden worden weggeschreven naar een uitvoer file. Per tijdstap wordt de waarde van de geul- en de plaatinhoud weggeschreven.

## **7.5 ASMITA modellering van de Haringvlietmond**

Door het ASMITA concept met de in paragraaf 7.2 beschreven evenwichtsrelaties toe te passen op de Haringvlietmonding kan inzicht worden verkregen in de uitwisseling tussen de elementen en de morfologische tijdschaal.

De Haringvlietmonding kan niet als één gebied gemodelleerd worden omdat het Hindergat en het Bokkegat niet als getijgeulen geschematiseerd kunnen worden. Behalve de getijstroming bepaalt de stroming rondom de Hinderplaat de grootte van de geulen zodat de evenwichtsrelaties die gebaseerd zijn op het getij niet kunnen worden toegepast.

Het sediment voor het Brielse Gat wordt vooral door het Hindergat aangevoerd. Het Slijkgat wisselt sediment uit met de Garnalenplaat en met het gebied zeewaarts van de drempel. De uitwisseling met het Rak van Scheelhoek is vrij klein. Van deze geul vindt de meeste sedimentuitwisseling plaats via het Hindergat en het Bokkegat. Het zuidelijke systeem, Rak van Scheelhoek en Slijkgat, functioneert apart van het noordelijke systeem, Brielse Gat, daarom zijn beide systemen apart gemodelleerd. De uitwisseling met het Hindergat, het Bokkegat en de randen is in de randvoorwaarden opgenomen. Al het sediment dat nodig is voor sedimentatie in het systeem wordt via de randen aangeleverd. Het sediment dat door erosie vrij komt in het systeem wordt via de randen afgevoerd.

### **7.5.1 Modellering van het gebied voor de Brielse Gatdam**

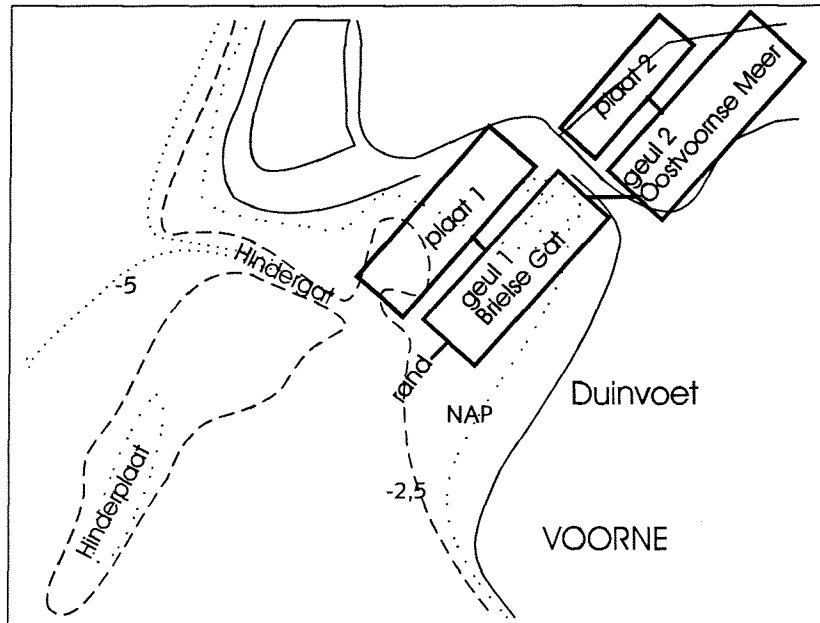
Alle geulen in het gebied voor de Brielse Gatdam zijn geschematiseerd door een geul, het totale plaatareaal is geschematiseerd door een plaat. Uitwisseling vindt plaats tussen de plaat en de geul, en tussen de geul en de rand, zie figuur 7.1.



Waarin subscript :  
 f1 = plaat 1  
 c1 = geul 1  
 f1c1 = plaat 1-geul 1  
 f2 = plaat 2  
 c2 = geul 2  
 f2c2 = plaat 2-geul 2

Uit dit stelsel vergelijkingen kunnen de vier onbekende concentraties worden opgelost, waarna de veranderingen van de volumina kunnen worden bepaald.

figuur 7.2  
 Schematisering van het Brielse Gat en het Oostvoornse meer



7.5.3 Modelling van het Slijkgat, de Garnalenplaat en het Rak van Scheelhoek

Het gebied direct zeewaarts van de Haringvlietsluizen is gemodelleerd met drie elementen, t.w. twee geulen en een plaat, zie figuur 7.3. Uitwisseling vindt plaats tussen de twee geulen en tussen de Garnalenplaat en het Slijkgat. Het hele plaatareaal is als een plaat gemodelleerd omdat in werkelijkheid de meeste sedimentuitwisseling tussen het Slijkgat en de Garnalenplaat plaatsvindt. De sedimentuitwisseling van met het Rak van Scheelhoek vindt vooral plaats met de randen. Beide geulen staan met een rand in verbinding. Het stelsel vergelijkingen voor deze modellering ziet er als volgt uit.

Voor de plaat (Garnalenplaat) :

$$\delta_{fc2} \cdot (c_f - c_{c2}) = w_s \cdot A_{hf} \cdot (c_{fe} - c_f) \quad (7.25)$$

Voor geul 1 (Rak van Scheelhoek) :

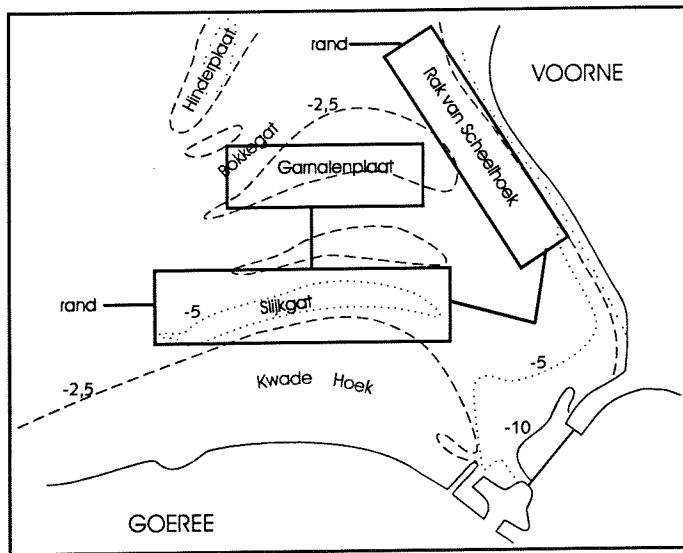
$$\delta_{c1c2} \cdot (c_{c1} - c_{c2}) + \delta_{c1o1} \cdot (c_{c1} - c_{o1}) = w_s \cdot A_{hc1} \cdot (c_{c1e} - c_{c1}) \quad (7.26)$$

Voor geul 2 (Slijkgat) :

$$\delta_{fc2} \cdot (c_{c2} - c_f) + \delta_{c1c2} \cdot (c_{c2} - c_{c1}) + \delta_{c2o2} \cdot (c_{c2} - c_{o2}) = w_s \cdot A_{hc2} \cdot (c_{c2e} - c_{c2}) \quad (7.27)$$

Met behulp van de concentraties van ieder element kan de verandering van het volume per element bepaald worden.

figuur 7.3  
ASMITA modellering van het  
Slijkgat, Garnalenplaat en het  
Rak van Scheelhoek





## 8. Resultaten van de ASMITA modellering

De verschillende ingrepen die gepland zijn in de Haringvlietmonding hebben grote gevolgen voor de morfologie van het gebied. In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten van deze ingrepen behandeld. De verschillende ingrepen zijn gemodelleerd uitgaande van de ASMITA schematisaties zoals die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven.

Eerst wordt de calibratie van de, in het vorige hoofdstuk genoemde, verschillende modellen beschreven en vervolgens de gebruikte getijrandvoorwaarden. Daarna wordt eerst voor het model van het Brielse Gat, vervolgens voor het model met doorgestoken Brielse Gatdam en tenslotte voor het model van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat gekeken naar de ontwikkelingen als gevolg van de volgende situaties :

- huidige situatie
- aanleg van Maasvlakte 2
- openzetten van de Haringvlietsluizen
- combinatie van een uitbreiding van de Maasvlakte en het openzetten van de Haringvlietsluizen.

De resultaten van de berekeningen zijn in kleur weergegeven en zijn achter in dit hoofdstuk geplaatst. Opgemerkt moet worden dat voor alle figuren geldt dat geultoename erosie betekent en da plaatstoename sedimentatie betekent.

### 8.1 Calibratie van de verschillende modellen

De verschillende modellen moeten gecalibreerd worden alvorens ze kunnen worden toegepast om toekomstige ontwikkelingen te modelleren

#### 8.1.1 Calibratie en validatie van het Brielse Gat model

Zoals beschreven in paragraaf 7.5.1 is het gebied voor de Brielse Gatdam geschematiseerd als een geul en een plaat. De calibratie is gebaseerd op de ontwikkelingen van 1970 tot 1995.

Als invoer voor de geometrie wordt de situatie van 1970 gebruikt. De inhoud van het Brielse Gat is het volume beneden NAP ten noordwesten van raai r2.

$A_{hf}$	= 1.200.000	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hc}$	= 1.800.000	[m <sup>2</sup> ]
$V_f$	= 2.200.000	[m <sup>3</sup> ]
$V_c$	= 2.000.000	[m <sup>3</sup> ]

Uit metingen volgt dat de getijslag in het gebied 2,23 m is.

De gebruikte tijdstap is 25 dagen gedurende 50 jaar.

Zoals uit paragraaf 7.3 blijkt zijn vooral de factoren  $n$ ,  $c_e$  en  $\delta$  van belang voor de morfologische tijdschaal. Voor de monding van het Haringvliet zijn geen gegevens beschikbaar over deze coëfficiënten. De uiteindelijke morfologische tijdschaal is een combinatie van al deze factoren. De waarde van een enkele coëfficiënt is dus minder van belang dan de combinatie van alle coëfficiënten. De meetwaarden komen het beste overeen met de modelberekening als de volgende waarden worden gebruikt:

$n$	= 2	[-]
$c_e$	= $3,5 \cdot 10^{-5}$	[-]
$c_o$	= $3,5 \cdot 10^{-5}$	[-]
$\delta_{ic}$	= 250	[m <sup>3</sup> /s]

$$\delta_{co} = 250$$

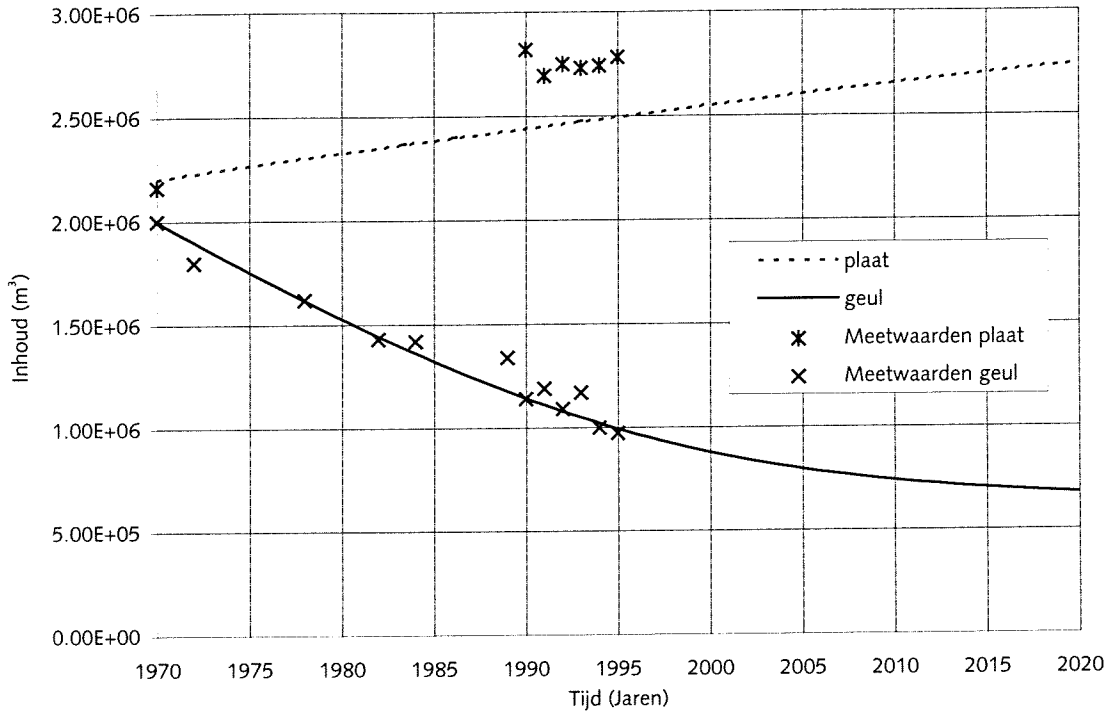
$$w_s = 4,5 \cdot 10^{-5}$$

[m<sup>3</sup>/s]

[m/s]

In figuur 8.1 is de ontwikkeling van de geul en de plaat, berekend met ASMITA, uitgezet.

figuur 8.1 : Calibratie Brielse Gat



### 8.1.2 Validatie van het model van het Brielse Gat

De inhoudsgegevens van de jaren 1970, 1990-1995 zijn met behulp van digitale kaarten berekend. Het model is met behulp van deze waarden gecalibreerd. Van de tussenliggende jaren is de doorsnede bekend (Eysink, 1990). De doorsnede vermenigvuldigd met de lengte levert een redelijke schatting voor de inhoud van de geul.

De berekende ontwikkeling van de geul komt erg goed overeen met de werkelijke ontwikkeling van de geul, zie figuur 8.1. De berekende ontwikkeling van de plaat komt niet goed overeen met de werkelijke ontwikkeling. Het plaatvolume blijft de laatste jaren vrij constant, terwijl volgens de berekende ontwikkeling het plaatvolume nog zou toenemen. Wel is de uiteindelijke grootte van het berekende en werkelijke plaatvolume ongeveer gelijk. De oorzaak van het verschil tussen het model en de werkelijkheid is dat de in het model gebruikte empirische evenwichtsrelatie tussen het plaatvolume en het getijprisma is afgeleid voor de Waddenzee omdat de relatie voor de Haringvlietmonding niet bekend is. Uit een gevoeligheidsanalyse bleek dat de plaatontwikkeling weinig invloed heeft op de geulontwikkeling. De uitwisseling met de rand is meer van belang voor de geulontwikkeling.

### 8.1.3 Calibratie van het model van het gebied voor de sluizen

Het gebied voor de sluizen is gemodelleerd door twee geulen, t.w. het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat en door een plaat, de Garnalenplaat, zie paragraaf 7.5.3. De situatie van 1970 is als uitgangssituatie genomen omdat in dat jaar het Haringvliet definitief werd afgesloten. Tijdens de voorafgaande jaren hebben vanwege de aanleg van de sluizen wel morfologische



ontwikkelingen plaats gevonden, maar die zijn niet te modelleren vanwege het continue karakter van de ingrepen.

De afvoer van de Haringvlietsluizen vergroot het getijprisma van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. Aan de bodemgeometrie is te zien dat het Rak van Scheelhoek nauwelijks nog stroom voert. Op grond van de zeedelta berekeningen in het kader van de MER-studie Haringvlietsluizen is aangenomen dat van het totale debiet van de Haringvlietsluizen 30 mln m<sup>3</sup> wordt afgevoerd door het Slijkgat en 9 mln m<sup>3</sup> door het Rak van Scheelhoek. Het volume van het Slijkgat is het volume beneden NAP landinwaarts van raai s2. Het volume van het Rak van Scheelhoek is het volume beneden NAP ten westen van raai r1. De volgende waarden zijn als uitgangswaarden genomen.

$A_{nc} = 2.000.000$	(Garnalenplaat)	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hf1} = 6.600.000$	(Rak van Scheelhoek)	[m <sup>2</sup> ]
$A_{hf2} = 11.500.000$	(Slijkgat)	[m <sup>2</sup> ]
$V_f = 2.400.000$	(Garnalenplaat)	[m <sup>3</sup> ]
$V_{c1} = 43.000.000$	(Rak van Scheelhoek)	[m <sup>3</sup> ]
$V_{c2} = 65.000.000$	(Slijkgat)	[m <sup>3</sup> ]
$Q_{r1} = 9.000.000$	(Rak van Scheelhoek)	[m <sup>3</sup> ]
$Q_{r2} = 30.000.000$	(Slijkgat)	[m <sup>3</sup> ]

Uit metingen volgt dat de getijslag in het gebied 2,30 m is.

De gebruikte tijdstap is eveneens 25 dagen gedurende een periode van 50 jaar.

Voor de invloed van de coëfficiënten op de morfologische tijdschaal voor dit gebied geldt hetzelfde als voor het gebied voor de Brielse Gatdam. Omdat hier met meer elementen wordt gewerkt is de invloed van de uitwisselingscoëfficiënten erg van belang want die beïnvloeden de tijdschaal per element. De parameters zijn in dit gebied anders vanwege de verschillende omstandigheden. De korreldiameter is groter, waardoor de valsnelheid groter wordt. De uitwisselingscoëfficiënt is onder andere afhankelijk van de grootte van de elementen. De elementen zijn groter zodat er over een groter gebied diffusie kan plaatsvinden waardoor de coëfficiënt groter wordt.

De meetwaarden komen het beste overeen met de modelberekening als de volgende waarden worden gebruikt:

$n = 3$	[-]
$c_E = 7,0 \cdot 10^{-5}$	[-]
$c_{o1} = 7,0 \cdot 10^{-5}$	[-]
$c_{o2} = 7,0 \cdot 10^{-5}$	[-]
$\delta_{tc2} = 1000$	[m <sup>3</sup> /s]
$\delta_{co1} = 1600$	[m <sup>3</sup> /s]
$\delta_{co2} = 5000$	[m <sup>3</sup> /s]
$\delta_{c1c2} = 1000$	[m <sup>3</sup> /s]
$w_s = 9,0 \cdot 10^{-5}$	[m/s]

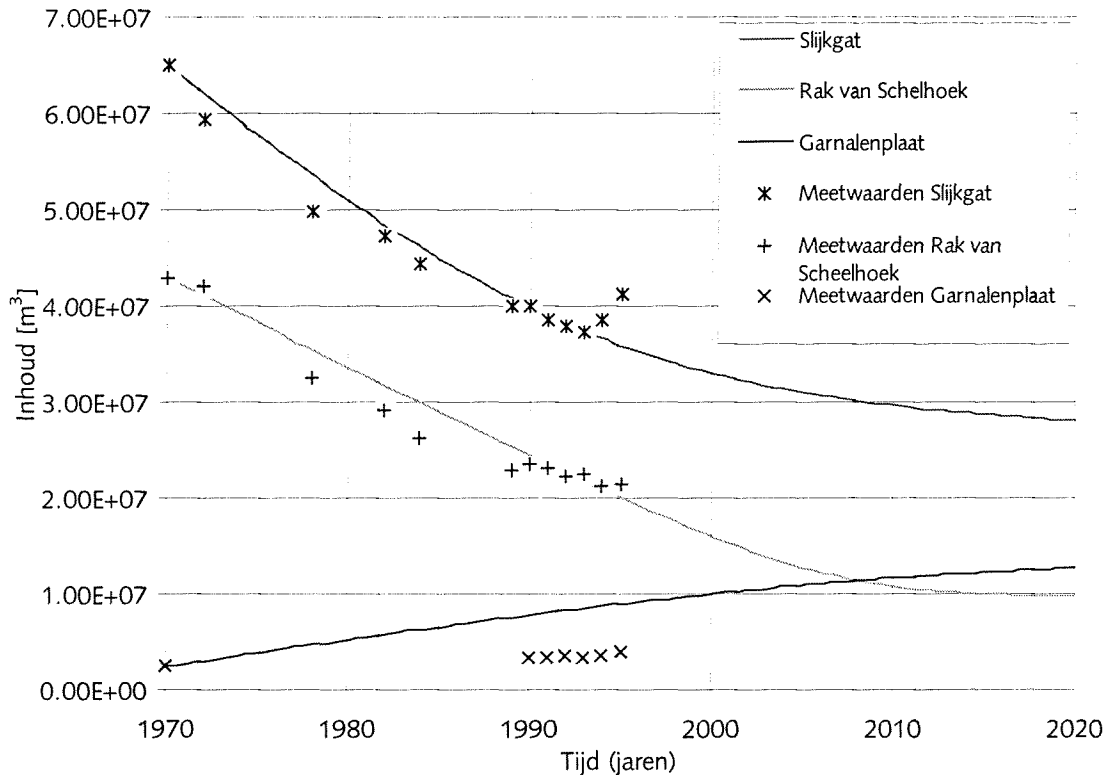
De waarden van  $\delta$  verschillen erg per element omdat  $\delta$  de enige parameter is die per element verschillend is. De waarde  $\delta_{c1c2}$  is vrijwel niet van invloed op de ontwikkeling van beide geulen. De uitwisseling met de rand is veel meer van belang. Dit klopt met de werkelijkheid want er vindt nauwelijks uitwisseling plaats tussen de twee geulen. Het meeste sediment wordt via de zeewaartse geulen vanaf de Noordzee aangevoerd.

#### 8.1.4 Validatie van het model van het gebied voor de Sluizen

Zoals uit figuur 8.2 kan worden afgelezen komt de berekende ontwikkeling goed overeen met de werkelijke ontwikkeling. De waarden van de jaren 1970, 1990-1995 zijn berekend aan de hand van digitale kaarten. De tussenliggende jaren zijn berekend door de door Eysink (1990) gevonden

waarden voor de doorsnede te vermenigvuldigen met de lengte van de geul. De ontwikkeling van het Slijkgat wijkt in 1994 en 1995 sterk af. Dit komt door de eerder beschreven extreem hoge afvoer van het Haringvliet in die jaren. Het extra water is vooral door het Slijkgat afgevoerd, waardoor deze geul is uitgeschuurd. Het zal enige jaren duren voordat de geul de evenwichtskromme weer nadert. In 1995 is ook als gevolg van de grote afvoer de inhoud van het Rak van Scheelhoek licht toegenomen.

figuur 8.2 : Calibratie gebied voor de sluisen



De met ASMITA berekende ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek loopt vrij steil naar beneden en maakt rond 2010 een knik. De parameters aanpassen heeft vrijwel geen invloed op de knik in de ontwikkelingslijn. Het Rak van Scheelhoek met een plaat verbinden levert ook geen beter resultaat op.

Op grond van de meetresultaten zou een hoger evenwichtsvolume verwacht worden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het evenwichtsvolume dat voor het Rak van Scheelhoek volgt uit de evenwichtsrelatie te klein is. Dit kan twee oorzaken hebben :

- Het gebruikte getijprisma is te klein
- De evenwichtsrelatie voldoet niet voor het Rak van Scheelhoek.

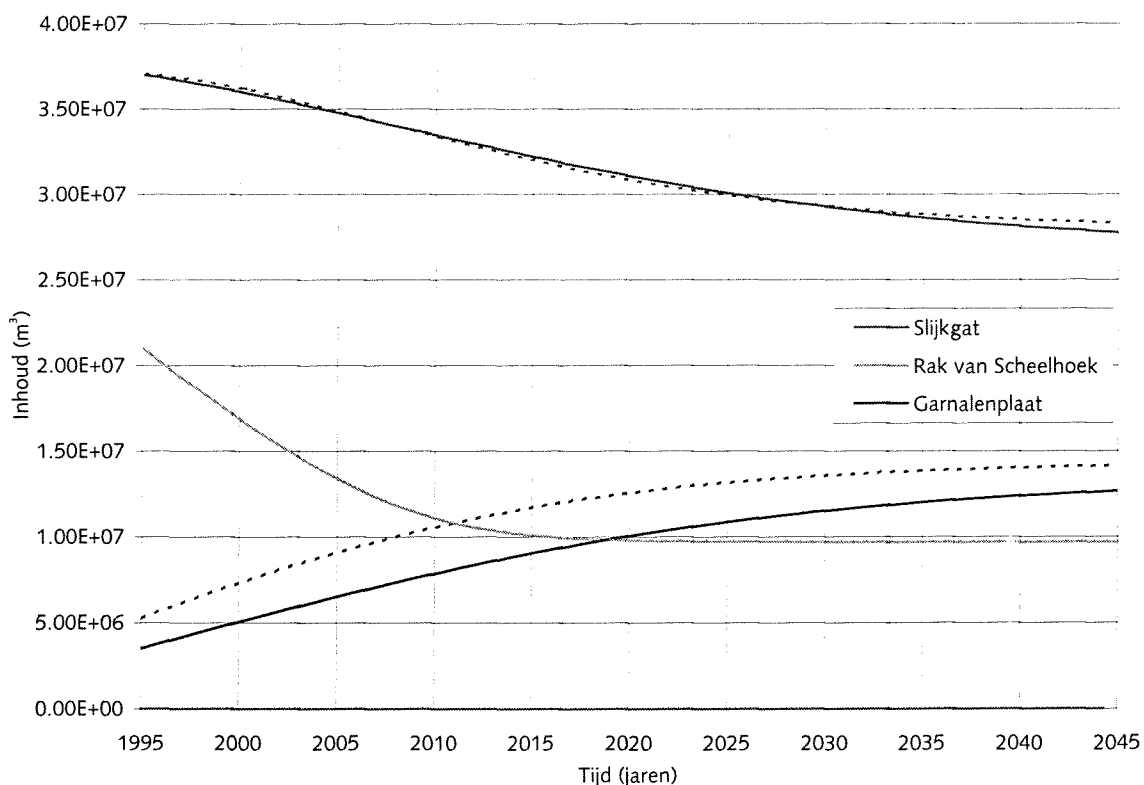
De in deze studie gebruikte waarden voor het getijprisma komen overeen met de waarden door Eysink (1990a) gebruikt. Eysink heeft het getijprisma berekend aan de hand van snelheidsmetingen terwijl bij deze studie het getijprisma is berekend aan de hand van het kombergingsoppervlak. Het lijkt waarschijnlijk dat het gebruikte getijprisma goed is.

Uit figuur 6.4 lijkt het Rak van Scheelhoek verder van de evenwichtslijn verwijderd te zijn dan het Brielse Gat en het Slijkgat. De waarden van deze laatste twee geulen liggen evenwijdig aan de evenwichtslijn terwijl de waarden van het Rak van Scheelhoek verder van de evenwichtslijn verwijderd zijn. Uit de morfologische studie van het gebied en uit de analyse van de doorsneden blijkt echter dat het Rak van Scheelhoek niet verder van het evenwichtsvolume is verwijderd dan de andere geulen. De door ASMITA

berekende ontwikkeling van de het Brielse Gat en het Slijkgat lijken erg goed de werkelijke ontwikkeling te beschrijven, zie figuur 8.1 en figuur 8.2. Hieruit kan worden afgeleid dat de evenwichtsrelatie een te klein evenwichtsvolume voor het Rak van Scheelhoek levert, zodat de door ASMITA berekende evenwichtsvolumes van het Rak van Scheelhoek te klein zijn. Een oorzaak zou kunnen zijn dat de sedimentaanvoer voor het Rak van Scheelhoek in vergelijking met het Slijkgat kleiner is, waardoor minder sediment beschikbaar is voor de opvulling van de geul, met als resultaat een grotere geuldoorsnede dan op grond van de evenwichtsrelatie wordt verwacht.

Het werkelijke volume van de Garnalenplaat is veel kleiner dan met de evenwichtsrelatie wordt berekend. Een oorzaak is dat bij de berekening van het plaatvolume het oppervlak van de plaat vrij klein genomen is. Een andere oorzaak is dat, net zoals bij het Brielse Gat, de plaat niet met de evenwichtsrelatie die in het model zit beschreven kan worden omdat die voor de Waddenzee is afgeleid. Daarbij is aangenomen dat de invloed van het bassinoppervlak en het getijprisma op de plaatontwikkeling gelijk is, terwijl het plaatoppervlak vooral door het bassinoppervlak wordt bepaald. De plaatontwikkeling is van invloed op de geulontwikkeling via de berekening van het getijprisma. Een te groot plaatvolume levert een te klein getijprisma en dat levert een kleiner evenwichtsvolume. Uit het model volgt een te groot plaatvolume, dus de hier genoemde evenwichtsvolumes zijn de ondergrenzen behorend bij de verschillende ingrepen. De invloed van de platen is vrij gering op de geulontwikkeling, zie figuur 8.3 waarin de resultaten van een ASMITA berekening met een 50% groter plaatvolume en -oppervlak zijn uitgezet.

figuur 8.3 : Ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat met een 50% groter plaatvolume van de Garnalenplaat



Bij de afregeling van het model zijn de evenwichtsrelaties gebruikt zoals die uit de literatuurgegevens volgen. Bij de calibratie zijn alleen de voor het gebied specifieke parameters zoals  $\delta$ ,  $n$ , en  $c_e$  afgeregeld. De eindsituatie volgt uit de relaties en is dus niet opgelegd. De berekende ontwikkeling beschrijft

goed de gemeten ontwikkeling zodat geconcludeerd kan worden dat dit model ook toepasbaar is voor gebieden waar minder gegevens over de evenwichtsrelatie bekend zijn.

## 8.2 Getijrandvoorwaarden

De getijslag is een belangrijke factor bij de bepaling van het uiteindelijke evenwichtsvolume. In verschillende studies zijn modelberekeningen gedaan om de getijslag te bepalen. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft een studie uitgevoerd naar een noordelijke en zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte, zowel als *alleenstaande ingreep als in combinatie met het getemd getij* alternatief van de Haringvlietsluizen. In het kader van de MER-studie Haringvlietsluizen zijn berekeningen gedaan voor verschillende beheerssituaties. Hierbij zijn geen waterstanden gegenereerd in het gebied voor de Brielse Gatdam, maar wel in het gebied voor de sluizen. De invloed van de getijslag voor zowel het gebied voor de Brielse Gatdam als voor het gebied voor de sluizen wordt duidelijk uit verschillende ASMITA modelberekeningen voor de huidige situatie met een verschillende getijslag.

Uit de Maasvlakte 2 studie volgt voor de huidige situatie een getijslag van 2,40 meter voor het Brielse Gat (Steijn, 1996). Uit de metingen van Rijkswaterstaat van de meetposten en rekening houdend met de opstuwung zoals in paragraaf 4.2 beschreven is, volgt een getijslag van 2,23 meter. Het verschil van 17 cm heeft grote effecten op de berekende ontwikkeling. De gestippelde lijn in figuur 8.4 geeft de ontwikkeling weer van de geulen en platen in het Brielse Gat volgens de optredende getijslag die uit de Maasvlakte 2 studie volgt. Door de grotere getijslag wordt zowel het plaatvolume als het geulvolume groter. Uitgaande van de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie levert dit een geulvolume van 682.000 mln m<sup>3</sup>, terwijl de huidige getijslag een evenwichtsvolume van 617.000 mln m<sup>3</sup> levert, hetgeen een verschil van ongeveer 10% betekent. Het plaatvolume is volgens de relatie evenredig met het getijprisma, dus ook dat wordt groter bij een grotere getijslag. Maar zoals eerder gezegd moet daar niet al te veel waarde aan worden gehecht.

De getijslag die volgt uit de berekeningen voor Maasvlakte 2 in het gebied voor de sluizen is ongeveer 40 cm hoger dan de door Rijkswaterstaat gemeten getijslag. In figuur 8.5 is het modelresultaat voor zowel de gemeten (getrokken lijn) als de berekende (gestippelde lijn) getijslag weergegeven. Het ASMITA model is afgeregeld met een getijslag voor dit gebied van 2,3 meter. De berekende getijslag van 2,7 m zorgt voor een nieuwe situatie waarbij de geul in eerste instantie even uitdiept en later weer gaat afnemen naar een volume dat hoger is dan het volume dat resulteert uit de gemeten getijslag. Het zand dat tijdens erosie van de geulen vrijkomt verlaat via de randen het systeem. Als voor sedimentatie zand nodig is, wordt dit via de randen toegevoegd. De grootte van de volumetoename van het Slijkgat is afhankelijk van de tijd die het sediment in het element verblijft, hetgeen tot uitdrukking komt in  $\delta$ , zie paragraaf 7.3. Tijdens de calibratie van het model is niet gelet op deze invloed van  $\delta$ , zodat geen conclusies kunnen worden getrokken uit de geultoename die uit de ontwikkelingslijn volgt. Het volume van het Rak van Scheelhoek blijft afnemen tot het ook een hoger evenwichtsvolume nadert. Voor de Garnalenplaat geldt dat deze groter zal worden als gevolg van de verhoogde getijslag.

De MER-studie Haringvlietsluizen levert voor een aantal geuldoorsneden voor de vier alternatieven, huidig spuibeheer, gebroken getij, getemd getij en stormvloedkering het getijvolume en de waterstand. Voor de huidige omstandigheden zijn de berekende waarden lager dan de gemeten waarden omdat tijdens de MER-studie gerekend is met een situatie waarbij gemiddelde zoutindringing optreedt. Deze omstandigheden komen niet overeen met de gemiddelde getijomstandigheden. De toename van het getijvolume wordt

vooral bepaald door de extra afvoer door de sluizen. Aangenomen mag worden dat die waarden juist zijn. De toename van de spuidebieten zijn bij de berekening voor de verschillende alternatieven opgeteld bij de huidige afvoer van de Haringvlietsluizen.

Vergelijking van de berekende getijslag van beide studies levert enige verschillen. Volgens de Maasvlakte 2 studie neemt de getijslag met 95 cm af als gevolg van het getemd getij alternatief, terwijl uit de MER-studie op ongeveer dezelfde locatie een afname volgt van 70 cm. De resultaten van de ASMITA berekeningen waarbij de Maasvlakte 2 studie als uitgangspunt is genomen zijn vanwege de kleinere getijslag als ondergrens te beschouwen. De resultaten met de verschillende lozingsregimes zijn gebaseerd op de MER-studie en zijn vanwege de grotere getijslag als bovengrens te beschouwen.

Bij de berekening van toekomstige ontwikkelingen wordt uitgegaan van de gemeten waarden. Het waterstandsverschil dat volgens de modelberekeningen van Maasvlakte 2 ontstaat als gevolg van een noordelijke en zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte wordt opgeteld bij de gemeten waterstanden. Hetzelfde is gedaan met de debieten die volgen uit de MER-studie.

In bijlage E is een tabel opgenomen met de gebruikte waterstanden en debieten per berekening.

### **8.3 Resultaten van het model van het Brielse Gat**

In deze paragraaf zullen de morfologische effecten van de verschillende ingrepen op het gebied voor de Brielse Gatdam behandeld worden.

#### **8.3.1 Huidige situatie**

Uit figuur 8.1 en figuur 8.4 is af te lezen dat het Brielse Gat nog niet in evenwicht is, zoals ook al bleek uit de analyse van de doorsneden. Zonder verdere ingrepen in het gebied zal het Brielse Gat verder sedimenteren. In 2020 is het geulvolume dan gereduceerd tot ongeveer 660.000 m<sup>3</sup>. Dat is een reductie van 34% ten opzichte van de huidige situatie.

Het plaatvolume zal waarschijnlijk vrij constant blijven, hetgeen inhoudt dat een vermindering van het geulvolume een verondieping van de geul met zich meebrengt. Dit blijkt ook uit de diepte ontwikkeling van de afgelopen jaren.

#### **8.3.2 Aanleg Maasvlakte 2**

De methode beschreven in paragraaf 8.2 levert voor de zuidelijke uitbreidingsvariant een getijslag van 2,58 m en voor de noordelijke uitbreiding een getijslag van 2,43 m in het gebied voor de Brielse Gatdam.

De zuidelijke uitbreiding versterkt de bekkenvorm van het Haringvliet-estuarium. Het getij dringt ondanks de afscherming, veroorzaakt door de Maasvlakte, ook tot het noordelijke deel van het bekken door. De versterkte bekkenvorm zorgt voor een extra opstuwing, die resulteert in een groter getijprisma dan bij de noordelijke variant ontstaat.

In figuur 8.6 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen bij een noordelijke (gestippelde lijn) en zuidelijke (getrokken lijn) uitbreidingsvariant. De rode lijn geeft de ontwikkeling weer zonder verdere ingrepen. Door de toegenomen getijslag in het gebied neemt de reductie van het geulvolume af. De afname van het geulvolume verloopt traag. Het uiteindelijke geulvolume ligt bij respectievelijk de noordelijke en de zuidelijke uitbreiding rond de 721.000 m<sup>3</sup> en de 807.000 m<sup>3</sup>. Door de aanleg van Maasvlakte 2 neemt het geulvolume af, maar het uiteindelijke volume zal groter zijn dan bij een voortzetting van de huidige situatie, waarbij een evenwichtsvolume van 617.000 m<sup>3</sup> bereikt wordt.

De uiteindelijke getijslag is erg belangrijk voor de geulontwikkeling. De aanleg van de Maasvlakte zorgt voor een grotere getijslag in het hele bekken en heeft daarom een vergrotend effect op de geulen. Het Hindergat zal vooral bij de zuidelijke variant afgeschermd worden en minder debiet voeren. Het Bokkegat wordt een belangrijke vul- en ledigingsgeul en zal vergroten.

### **8.3.3 Veranderd spuibeheer Haringvlietsluizen**

Uit de Maasvlakte studie volgt dat een veranderd spuibeheer geen invloed heeft op de waterstanden in het noordelijk deel van het Haringvlietbekken. De extra afvoer heeft hier ook geen invloed zodat de huidige ontwikkelingen zich zullen voortzetten.

### **8.3.4 Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief**

Het aanpassen van de waterstanden uit de modelberekeningen levert een getijslag van 2,38 m voor de zuidelijke uitbreiding en een getijslag van 2,32 m voor de noordelijke variant. De resulterende getijslag is hoger dan de huidige getijslag, maar lager dan de getijslag die ontstaat bij uitbreiding van de Maasvlakte. Door de extra afvoer van het Haringvliet gaat de laagwaterstand omhoog. De hoogwaterstand daalt enkele centimeters als gevolg van het verminderde stuweffect bij de sluisen. De resultaten van de berekeningen van ASMITA, weergegeven in figuur 8.7 laten duidelijk zien dat ook de uiteindelijke volumes van de elementen liggen tussen de huidige uiteindelijke volumes en de uiteindelijke volumes die bereikt worden bij een uitbreiding van de Maasvlakte. Het getemd getij alternatief met een zuidelijke uitbreiding levert een geulvolume op van 694.000 m<sup>3</sup> en de noordelijke uitbreiding levert vanwege de kleinere getijslag een volume op van 662.000 m<sup>3</sup>.

### **8.3.5 Conclusies**

Zonder ingrepen zal de sedimentatie van het Brielse Gat zich voortzetten. Dit kan nog tientallen jaren duren, maar de sedimentatie zal steeds langzamer verlopen. De aanleg van Maasvlakte 2 versterkt de bekkenvorm van de Haringvlietmonding waardoor opslingering zal plaatsvinden. Deze opslingering heeft een vergroting van de getijslag tot gevolg en daarmee een vergroting van het evenwichtsvolume van het Brielse Gat. Het effect van de opstuwing is niet zo groot dat de geul zal uitdiepen. Een combinatie van Maasvlakte 2 en de Haringvlietsluizen zorgt voor een vergroting van de huidige getijslag, die minder is dan als gevolg van alleen de aanleg van Maasvlakte 2.

## **8.4 Resultaten van het model met doorgestoken Brielse Gatdam**

Het doorsteken van de Brielse Gatdam heeft een vergroting van het getijvolume in het gebied voor de dam tot gevolg. In paragraaf 3.5 zijn de verwachte ontwikkelingen, die zullen plaatsvinden als gevolg van de verschillende ingrepen, beschreven. Hieronder worden de resultaten van de modelberekeningen beschreven. De parameters die de morfologische tijdschaal bepalen zijn gelijk genomen aan de parameters zoals gebruikt in het model zonder doorgestoken Brielse Gatdam.

### **8.4.1 Huidige situatie**

In figuur 8.8 is de ontwikkeling van het Brielse Gat gegeven met een doorgestoken Brielse Gatdam. Het volume van het Oostvoornse Meer neemt snel af, maar vanwege de grote diepte van het meer duurt het eeuwen voordat het meer helemaal met sediment is opgevuld. De gemiddelde diepte van het Oostvoornse Meer is 17 meter met een oppervlak van 2,7 mln m<sup>2</sup>.

Voor de aanleg van de Brielse Gatdam was de geul ongeveer 2 meter diep. Het is dus waarschijnlijk dat het Oostvoornse Meer zal aanzanden tot een diepte van ongeveer 2 meter.

De ontwikkelingen van de geulen en platen zijn door het grote schaalverschil van de elementen niet goed te zien. In figuur 8.9 zijn alleen de twee platen en de geul, het Brielse Gat, uitgezet.

Het volume van de platen voor de Brielse Gatdam groeit erg hard. De grootte van de platen is volgens de relatie evenredig met het getijvolume. Het getijvolume wordt groter als gevolg van de vergrote komberging waardoor volgens de evenwichtsrelatie het plaatvolume ook groter wordt.

Het plaatvolume in het Oostvoornse Meer blijft constant. Al het aangevoerde sediment bezinkt eerst in het diepe meer. De platen zullen pas gaan groeien als het Oostvoornse Meer de evenwichtsdiepte van 2 meter nadert. Uit figuur 8.8 kan voor de geul worden afgelezen dat het nog meer dan 50 jaar duurt tot deze evenwichtssituatie bereikt is.

Het Brielse Gat zal als gevolg van het vergrote getijprisma eroderen. De ontwikkeling van de geul, het Brielse Gat, verloopt in eerste instantie zeer snel. Na ruim 25 jaar is het volume van de geul toegenomen van 1,0 mln m<sup>3</sup> tot 2,5 mln m<sup>3</sup>. Voor de afsluiting van het Brielse Gat had de geul een volume van 2,0 mln m<sup>3</sup>, maar de geometrie van het gebied was toen heel anders omdat de Maasvlakte nog aangelegd moest worden en er dus nog niet zo'n duidelijk bekkenvorm aanwezig was als tegenwoordig.

Na een snelle aanpassing wordt de geultoename minder en bereikt de geul zijn evenwichtsvolume. Het Brielse Gat fungeert dan als een doorvoergeul voor sediment naar het Oostvoornse Meer dat als zandvang functioneert. Het geulvolume van het Brielse Gat hangt af van het getijprisma, dat afhangt van onder andere het oppervlak van het Oostvoornse Meer. Het Oostvoornse Meer is relatief erg diep, maar diepte zorgt niet voor een vergroting van het getijprisma. Ondanks het grote volume van het Oostvoornse Meer zal het volume van het Brielse Gat niet veel meer dan 2,5 keer zo groot worden. Door de volumetoename zal de geul uitdiepen en verbreden.

#### 8.4.2 Aanleg Maasvlakte 2

Voor de berekeningen met een doorgestoken Brielse Gatdam worden dezelfde getijrandvoorwaarden gebruikt als bij een uitgebreide Maasvlakte en zonder doorgestoken Brielse Gatdam, zie paragraaf 8.3.2. De Maasvlakte 2 versterkt de bekken vorm en vergroot daardoor de getijslag in het gebied. Zoals uit de berekeningen zonder doorgestoken Brielse Gatdam maar met uitbreiding van de Maasvlakte volgt, verloopt de sedimentatie van de geulen minder snel. Doorsteken van de Brielse Gatdam zorgt voor een geulvergroting. Een combinatie van beide effecten zal een nog groter geulvolume tot gevolg hebben dan alleen het doorsteken van de Brielse Gatdam.

De ontwikkeling met een zuidelijke en een noordelijke uitbreidingsvariant van de Maasvlakte staat weergegeven in figuur 8.10. Zoals verwacht op grond van het toegenomen getijprisma neemt het volume van alle elementen toe. De getrokken lijn geeft de zuidelijke uitbreidingsvariant weer en de gestippelde lijn geeft de noordelijke uitbreidingsvariant weer. De roze lijn geeft de ontwikkeling weer met een doorgestoken Brielse Gatdam zonder verdere ingrepen.

Uit figuur 8.10 is af te lezen dat het geulvolume bij een zuidelijke uitbreiding groter wordt dan bij een noordelijke uitbreiding. De evenwichtsvolumes van het Brielse Gat bij respectievelijk een noordelijke en een zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte zijn 3,0 ml m<sup>3</sup> en 3,2 ml m<sup>3</sup>. De opvulling van het Oostvoornse Meer verloopt in hetzelfde tempo als zonder uitbreiding van de Maasvlakte, zodat het effect van het doorsteken heel lang merkbaar zal zijn. Door de vergroting van het getijvolume neemt het plaatvolume ook toe. De toename is relatief minder groot dan de geultoename.

### 8.4.3 *Veranderd spuibeheer Haringvlietsluizen*

Omdat de waterstanden niet veranderen heeft een ander lozingsregime nauwelijks invloed op de ontwikkelingen in het noordelijk deel van het bekken.

### 8.4.4 *Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief*

In de studie naar de uitbreiding van de Maasvlakte zijn ook berekeningen gedaan in combinatie met het getemd getij alternatief van de Haringvliet sluisen. De berekende waterstanden zijn weer omgerekend naar gemeten waterstanden. Dit levert voor de zuidelijke uitbreiding een getijslag van 2,38 m en voor de noordelijke uitbreiding een getijslag van 2,32 m. De aanleg van Maasvlakte 2 zorgt voor een vergroting van de getijslag, het openzetten van de sluisen verlaagt de getijslag. Beide ingrepen zorgen voor een verhoging van de getijslag ten opzichte van de huidige situatie. De verhoging is minder dan bij alleen een uitbreiding van de Maasvlakte, dus is de volumevergroting van de elementen minder. Dit is te zien in figuur 8.11. Het evenwichtsvolume bij de zuidelijke uitbreiding, de getrokken lijn, is 2,91 mln m<sup>3</sup>, en bij de noordelijke uitbreiding, de gestippelde lijn, is dit 2,81 mln m<sup>3</sup>. De verschillen tussen beide uitbreidingsvarianten zijn niet zo groot als gevolg van de geringe waterstands verschillen.

### 8.4.5 *Conclusies*

Als gevolg van het doorsteken van de Brielse Gatdam zal het gebied voor de dam gaan eroderen zowel met als zonder bovengenoemde ingrepen. De opvulling van het Oostvoornse Meer gaat vanwege de grote diepte van het meer in een langzaam tempo. Pas als het Oostvoornse Meer volledig is opgevuld (tijdsduur orde 100 jaar) zal zich in het meer een situatie voordoen zoals nu het geval is voor de dam. Het Brielse Gat zal een diepte krijgen en houden van ongeveer 2m, zoals voor de afsluiting van het Brielse Gat. De toename van het getijvolume heeft ook effect op het Hindergat, een van de toevoergeulen van het Brielse Gat. Deze geul zal als gevolg van het toegenomen getijvolume enigszins verdiepen. De verdieping zal relatief kleiner zijn dan bij het Brielse Gat omdat een gedeelte van het water via het Bokkegat wordt aangevoerd.

De getijinvloed zal in het gebied weer toenemen als gevolg van het doorsteken van de Brielse Gatdam. De uitbreiding van de Maasvlakte heeft als gevolg van de versterkte bekkenvorm hier een versterkend effect op, terwijl het openen van de Haringvlietsluizen hierop een verzwakkend effect heeft.

## 8.5 **Resultaten van het model voor het gebied voor de sluisen**

Het doorsteken van de Brielse Gatdam zal geen invloed hebben op het zuidelijk gedeelte van het bekken, daarom worden alleen de gevolgen van de uitbreiding van de Maasvlakte en het openzetten van de Haringvlietsluizen bekeken.

### 8.5.1 *Huidige situatie*

Uit figuur 8.2 is af te lezen dat de beide geulen nog niet in evenwicht zijn. Het volume van het Slijkgat zal over 25 jaar gereduceerd zijn tot 28 mln m<sup>3</sup>. De afgelopen 25 jaar is het geulvolume van het Slijkgat gereduceerd van 65 mln m<sup>3</sup> tot 37 mln m<sup>3</sup>. De reductie van het geulvolume verloopt dus steeds trager. Het volume van het Slijkgat heeft een dusdanige grootte bereikt dat de geul reageert op extreme afvoeren waarbij het geulvolume plotseling toeneemt, zoals in 1994 en 1995 goed te zien is. De kans op voorkomen van dergelijke extreme afvoeren is vrij klein. Maar de kans dat een hogere afvoer dan gemiddeld optreedt is vrij groot. Het is dus waarschijnlijk dat het geulvolume niet zover zal afnemen als hierboven berekend is.



De sterk dalende trend van het Rak van Scheelhoek zet zich nog ruim 10 jaar door, waarna de geul in de buurt komt van het evenwichtsvolume van 9,7 mln m<sup>3</sup>. Ook voor deze geul geldt dat een iets hogere afvoer dan de gemiddelde afvoer maatgevend zal zijn voor de geulomvang, zodat die niet helemaal tot 9,7 mln m<sup>3</sup> zal afnemen.

### 8.5.2 Aanleg Maasvlakte 2

De gebruikte getijslag is evenals bij de berekeningen voor het Brielse Gat gebaseerd op de modelberekeningen in combinatie met de metingen. De resultaten van de zuidelijke uitbreiding (gestippelde lijn) vergeleken met de huidige ontwikkeling (getrokken lijn) zijn uitgezet in figuur 8.12. De noordelijke variant heeft geen invloed op de waterstanden in dit gebied. De uitbreiding van de Maasvlakte heeft een vergrotend effect op het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat. Beide geulen worden als gevolg van het vergrote getijvolume groter dan bij de huidige ontwikkelingen het geval is.

### 8.5.3 Veranderd spuibeheer Haringvlietsluizen

Het openen van de sluisen verlaagt de getijslag, maar verhoogt het debiet enorm. Deze ingreep zal met name in dit gebied veel invloed hebben. De gebruikte extra debieten komen uit de MER-studie Haringvlietsluizen. Het is duidelijk te zien in figuur 8.13 dat alle alternatieven voor een nieuw spuibeheer grote invloed hebben op de geulontwikkeling. Het stormvloedkeringsalternatief (-----) heeft de meeste invloed. De geulomvang van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek nemen hierbij erg sterk toe. Per geul stellen de lijnen van boven naar beneden respectievelijk het stormvloedkeringsalternatief, het getemd getij alternatief en het gebroken getij alternatief voor. Bij het stormvloedkering alternatief waarbij de sluisen alleen bij stormvloed dicht gaan, bereikt het Slijkgat een volume van 76 mln m<sup>3</sup> en het Rak van Scheelhoek een volume van 37 mln m<sup>3</sup>. Het Slijkgat krijgt een iets groter volume dan in 1970, terwijl het Rak van Scheelhoek een iets kleiner volume krijgt ten opzichte van 1970. Het volume van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek was in 1970 respectievelijk 65 mln m<sup>3</sup> en 43 mln m<sup>3</sup>. Omdat de sluisopening zich in het zuiden van de afsluitdam bevindt, wordt het Slijkgat als eerste geul voor de extra afvoer gebruikt en pas daarna het Rak van Scheelhoek. Dit verklaart dat het volume van het Slijkgat wat groter wordt dan voorheen.

Het getemd getij alternatief zorgt ook voor een geultoename van beide geulen, maar minder sterk dan bij het stormvloedkering alternatief, omdat de sluisen bij deze variant niet altijd geopend zijn. Bij het gebroken getij alternatief zijn de sluisen nog vaker gesloten zodat bij dit alternatief de geulvolumes zullen afnemen ten opzichte van de huidige situatie. Deze afname is echter kleiner dan wanneer geen ingrepen plaatsvinden.

### 8.5.4 Aanleg van Maasvlakte 2 in combinatie met het getemd getij alternatief

In figuur 8.15 is alleen de ontwikkeling gegeven van de zuidelijke uitbreidingsvariant, omdat de noordelijke uitbreidingsvariant minder invloed heeft op de waterstanden. De volumetoename van de geulen is bij deze ingrepen kleiner dan bij alleen het getemd getij alternatief. De oorzaak hiervan is dat uit de berekeningen van de Maasvlakte een veel sterkere afname van de getijslag volgt dan uit de MER-studie. De waterstandgegevens uit de MER-studie zijn in bovenstaande paragraaf gebruikt. Een grotere getijslag levert een groter getijprisma en dus een groter geulvolume. Gebruik van de resultaten uit de MER-studie levert een evenwichtsvolume voor het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek van respectievelijk 46 mln m<sup>3</sup> en 25 mln m<sup>3</sup>. De resultaten uit de Maasvlakte 2 studie leveren respectievelijk 43 mln m<sup>3</sup> en 23 mln m<sup>3</sup>.

De uiteindelijke geuldoorsnede bij een combinatie van uitbreiding Maasvlakte en openzetten Haringvlietsluizen zal vooral bepaald worden door het extra getijvolume, maar ook de afname van de getijslag is van belang. Het

uiteindelijke geulvolume zal in liggen tussen de waarden die volgen uit figuur 8.13 en figuur 8.14.

### 8.5.5 Conclusies

De invloed van een ander beheer van de Haringvlietsluizen heeft een veel groter effect dan de aanleg van een tweede Maasvlakte. Hoe verder en vaker de sluisen open gaan, hoe meer de geulen zullen verdiepen. Bij het stormvloedkering alternatief keert een situatie vergelijkbaar met 1970 terug, met het verschil dat het Slijkgat de belangrijkste afvoer geul is. Het Rak van Scheelhoek zal vanwege de zuidelijke opening van de sluisen en de afscherpende werking van de Maasvlakte zijn oude omvang niet meer terug krijgen.

### 8.6 Nauwkeurigheid van de voorspellingen

In dit hoofdstuk zijn op basis van modelberekeningen de geulontwikkelingen bij toekomstige ingrepen beschreven. Daarbij zijn een aantal aannamen gedaan die invloed hebben op de resultaten.

De eindsituatie van de elementen wordt door de evenwichtsrelaties opgelegd. Daar is in het model niet meer aan gesleuteld. Omdat de berekende ontwikkeling de meetwaarden goed beschrijft kan worden geconcludeerd dat het model ook toepasbaar is voor gebieden waarvan niet bekend is welke evenwichtsrelaties daar gelden. In die gevallen kan het wel nodig zijn om de coëfficiënt van de relatie iets te wijzigen.

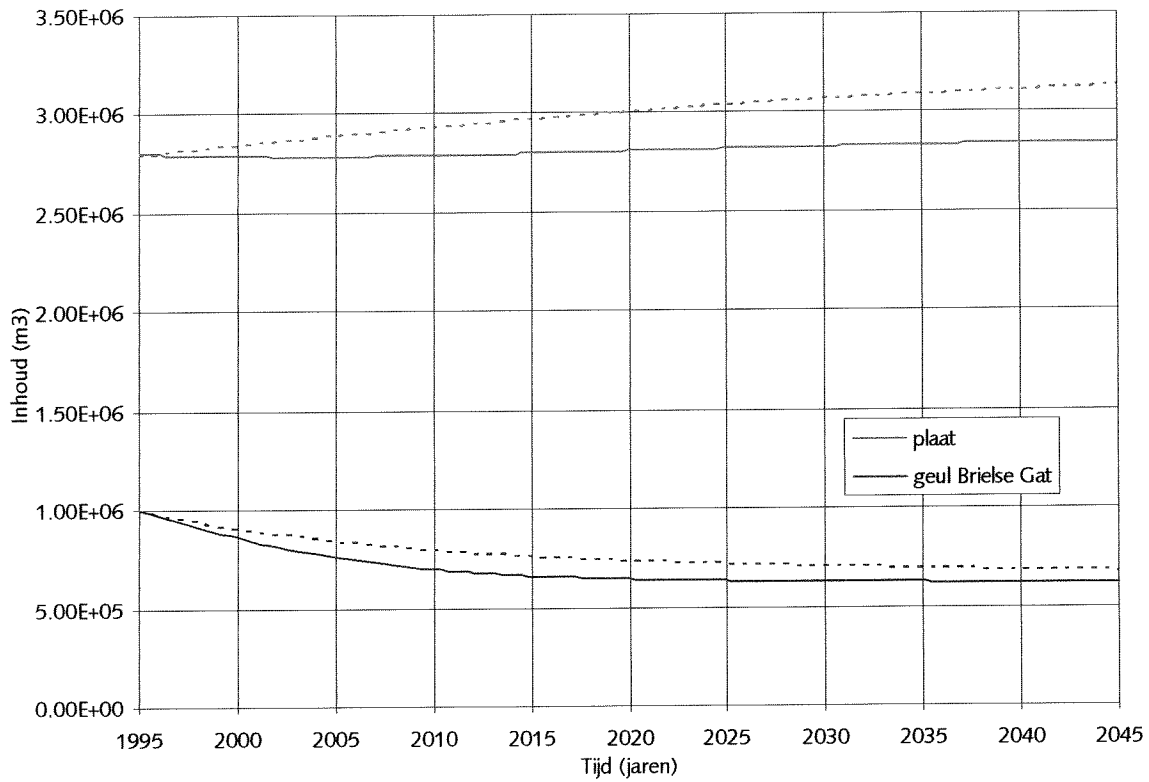
De geulontwikkeling is gebaseerd op de relatie tussen het getijprisma en het geulvolume. De relatie is alleen geldig voor de noordelijke en zuidelijke inham van de buitendelta van het Haringvliet. Daarom is alleen het deel van de geulen gemodelleerd dat in de inham ligt. Voor het Slijkgat is dat het deel tot de drempel. De golfinvloed is in dat gebied sterk gereduceerd als gevolg van de afscherpende werking van de platen zodat deze invloed op de geuldoorsneden niet groot zal zijn.

Maasvlakte 2 zal het gebied nog meer afschermen voor golfinvloed en door het openzetten van de sluisen zal de getij-invloed worden versterkt. Bij een combinatie van beide ingrepen wordt zowel de invloed van het getij versterkt als de invloed van de golfwerking vermindert zodat de relatie tussen het getijprisma en het geulvolume dan goed kan worden toegepast.

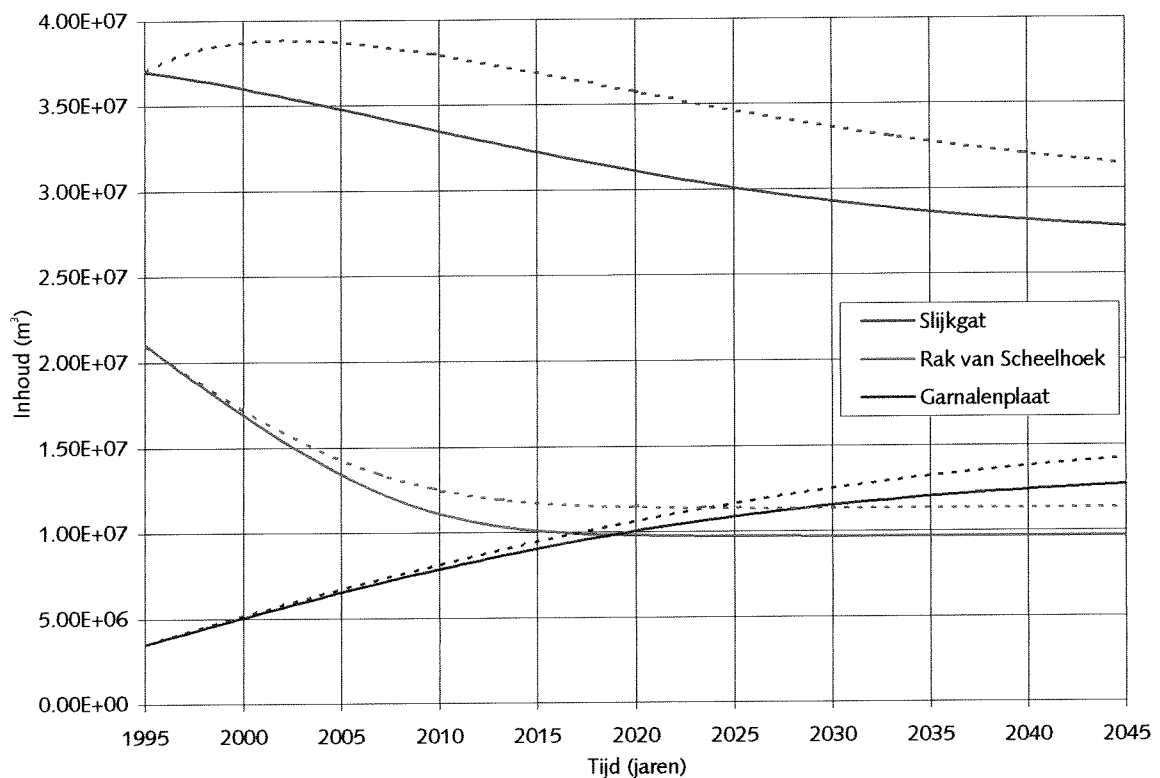
De randvoorwaarden die worden opgelegd door de getijslag en het gemiddelde debiet van de Haringvlietsluizen is erg van belang voor de eindwaarden die uit het model volgen. De nauwkeurigheid van de ASMITA berekeningen is afhankelijk van de modelberekeningen waaruit de randvoorwaarden volgen. Van de hier gebruikte randvoorwaarden mag worden aangenomen dat na de toegepaste correctie de waarden vrij goed zijn zodat de uitkomsten uit ASMITA in ieder geval de goede orde van grootte hebben.

De berekeningen zijn gebaseerd op gemiddelde afvoer. Een grotere afvoer dan gemiddeld zal voor een grotere doorsnede zorgen, terwijl tijdens een lagere afvoer een kleinere doorsnede zal optreden. Bij een evenwichtssituatie mag daarom verwacht worden dat de geulontwikkeling slingert rond de berekende ontwikkelingslijn.

figuur 8.4 : Ontwikkeling van het Brielse Gat zonder ingrepen, volgens de gemeten getijslag (—) en volgens de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----).

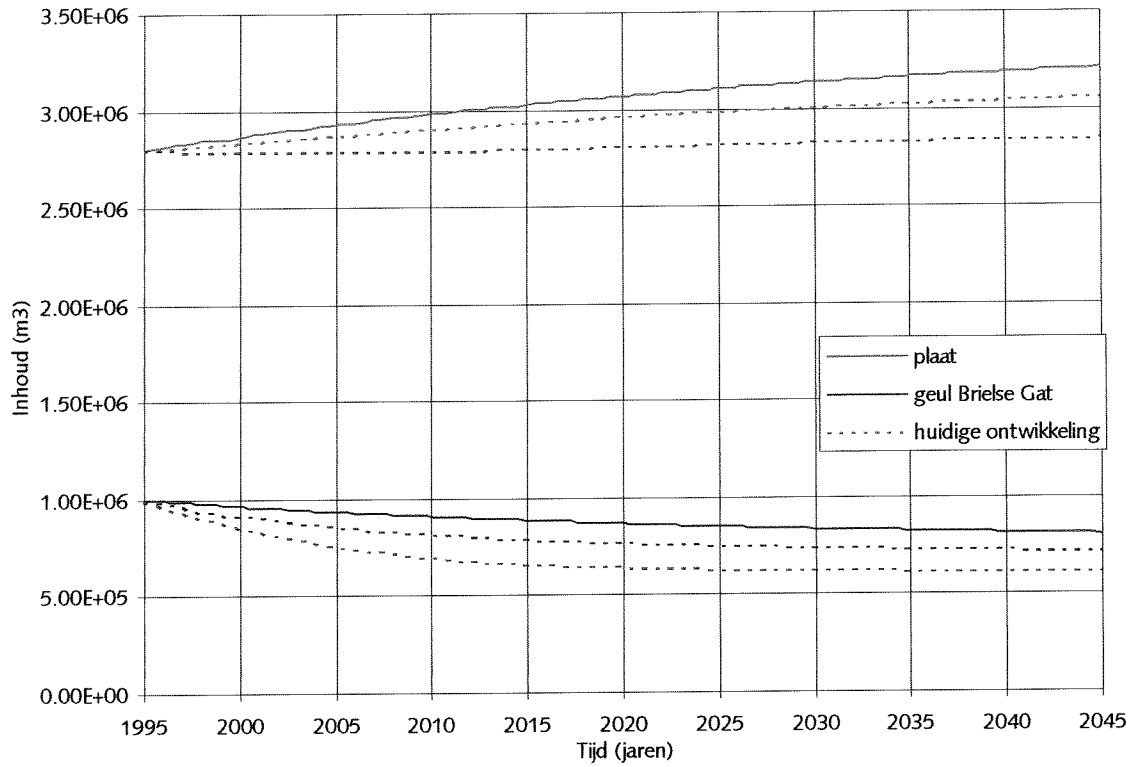


figuur 8.5 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek zonder ingrepen bij de gemeten getijslag (—) en de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----).

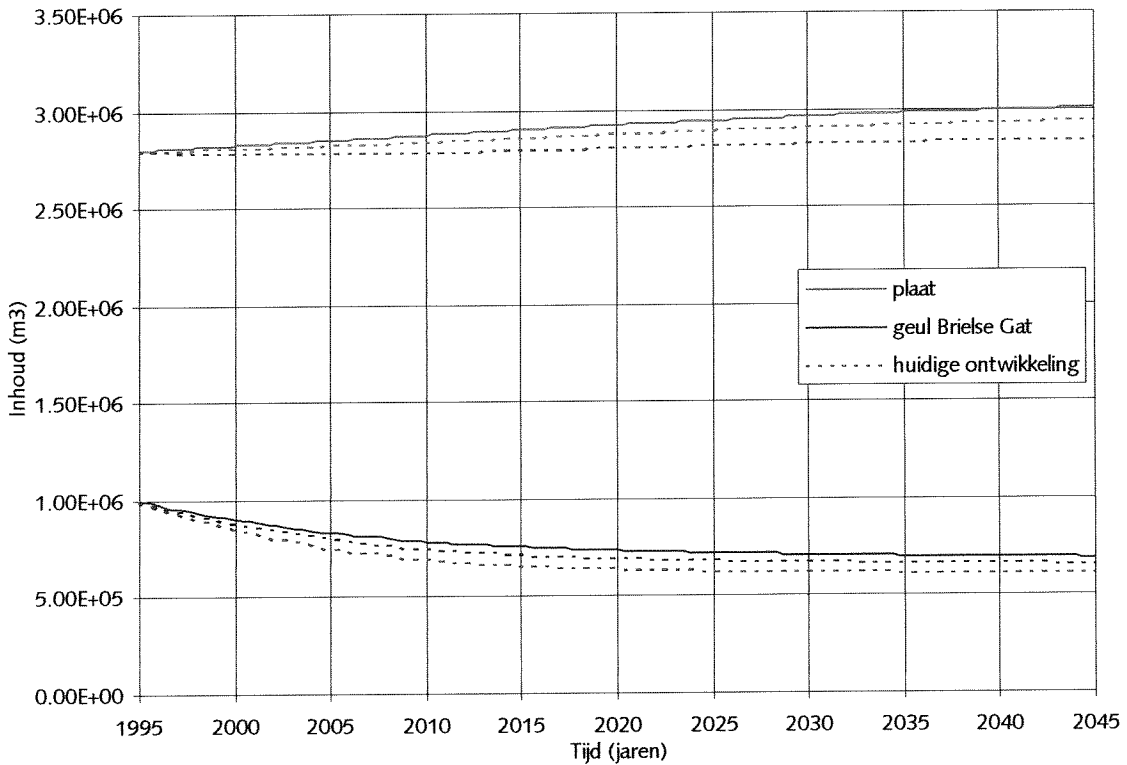




figuur 8.6 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij noordelijke (---) en zuidelijke (—) uitbreidingsvariant van de Maasvlakte.

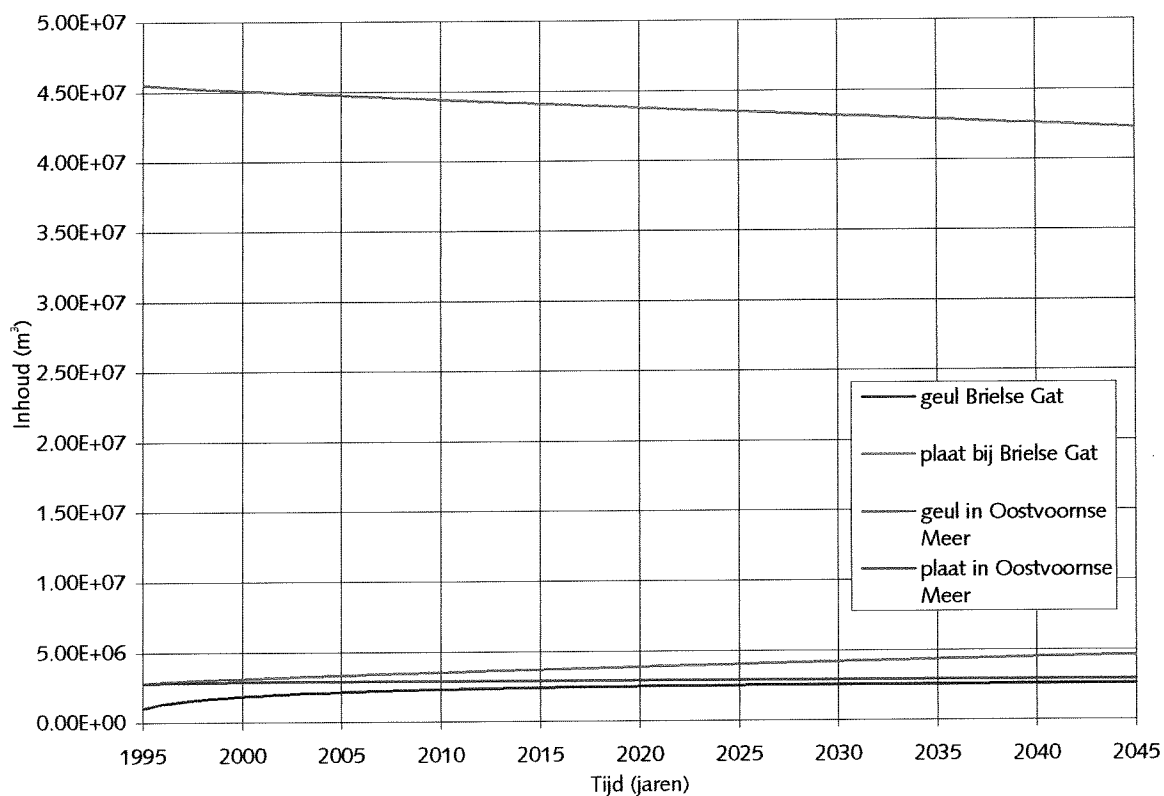


figuur 8.7 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij een noordelijke (---) en een zuidelijke (—) uitbreiding van de Maasvlakte in combinatie met het getemd getij alternatief.

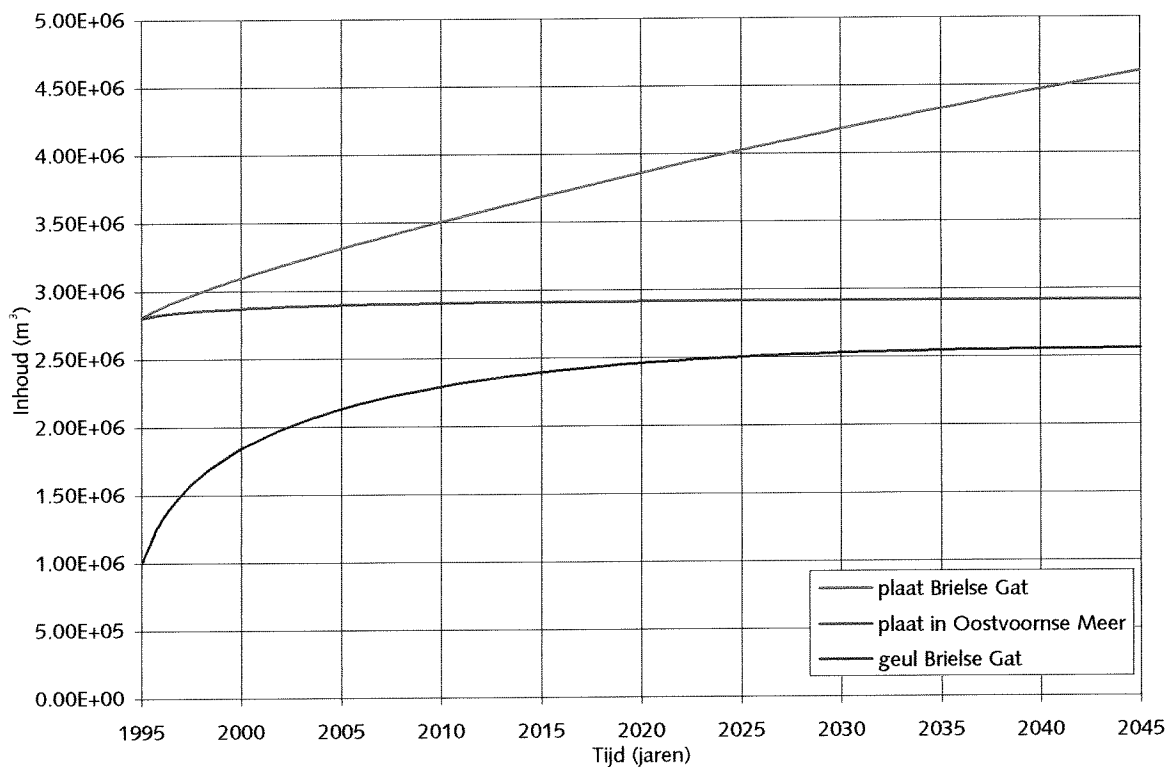




figuur 8.8 : Ontwikkeling van het Brielse Gat en Oostvoornse Meer met doorgestoken Brielse Gatdam.



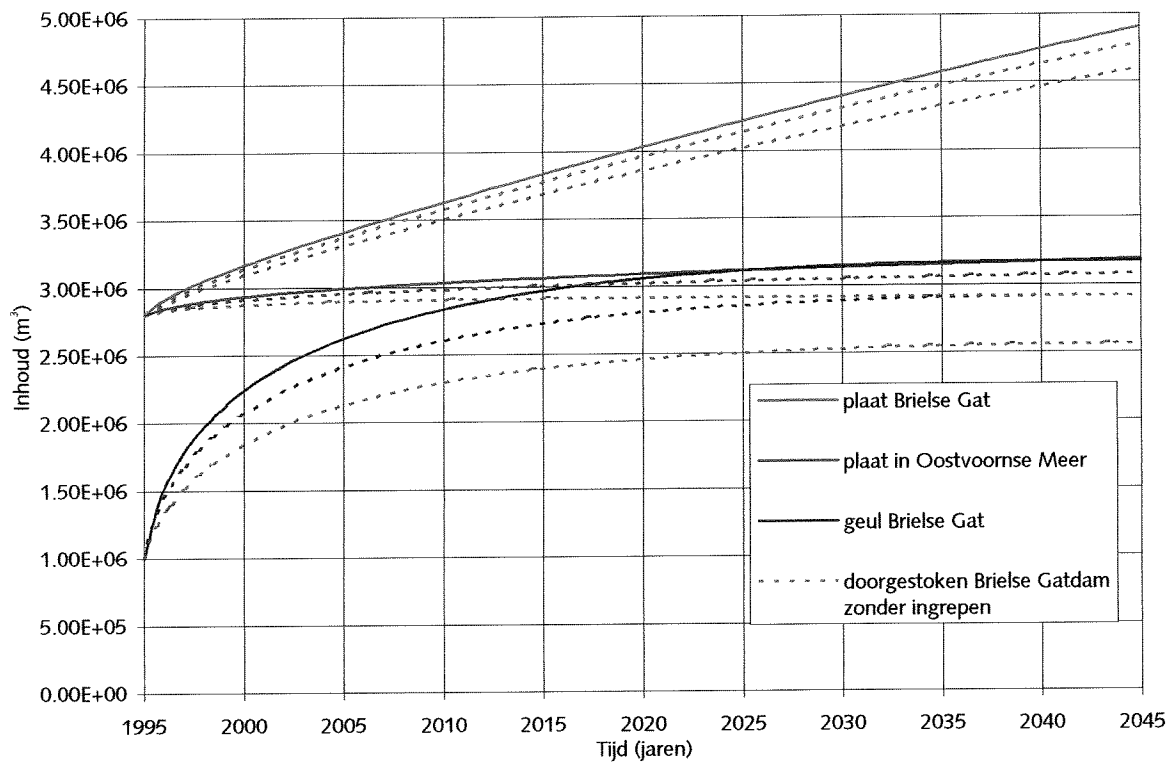
figuur 8.9 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam.



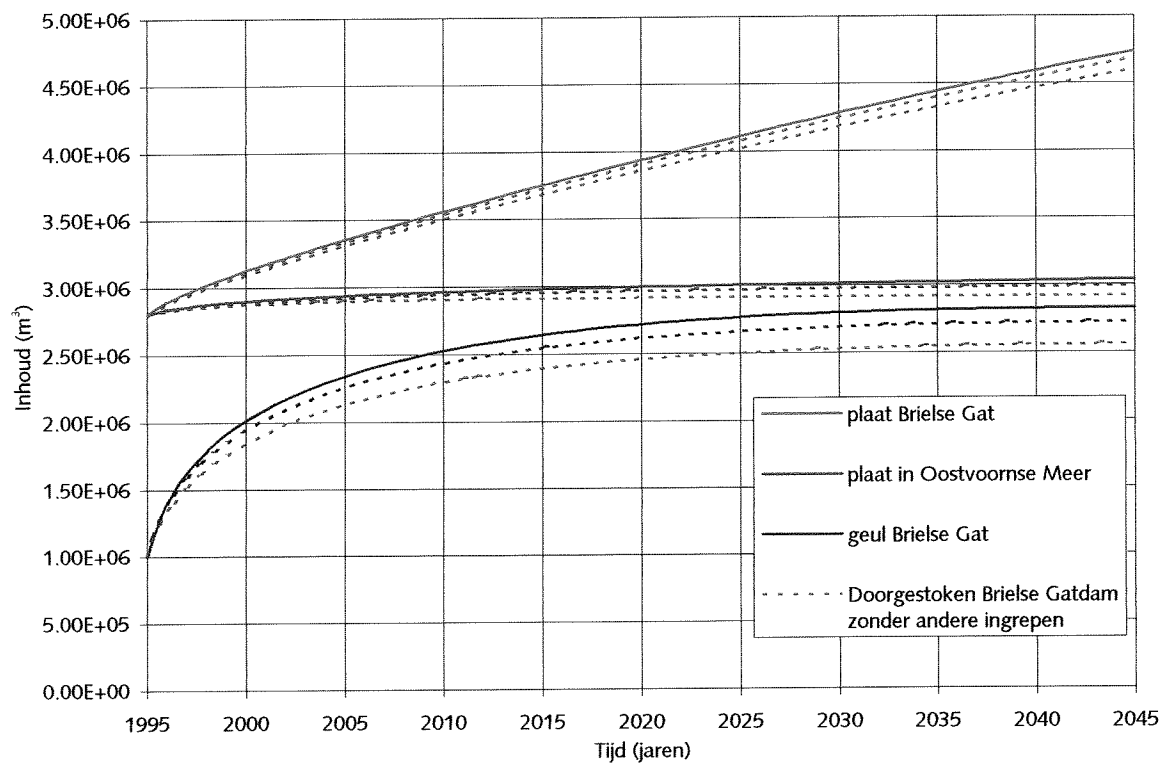




figuur 8.10 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam en een zuidelijke (—) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte.

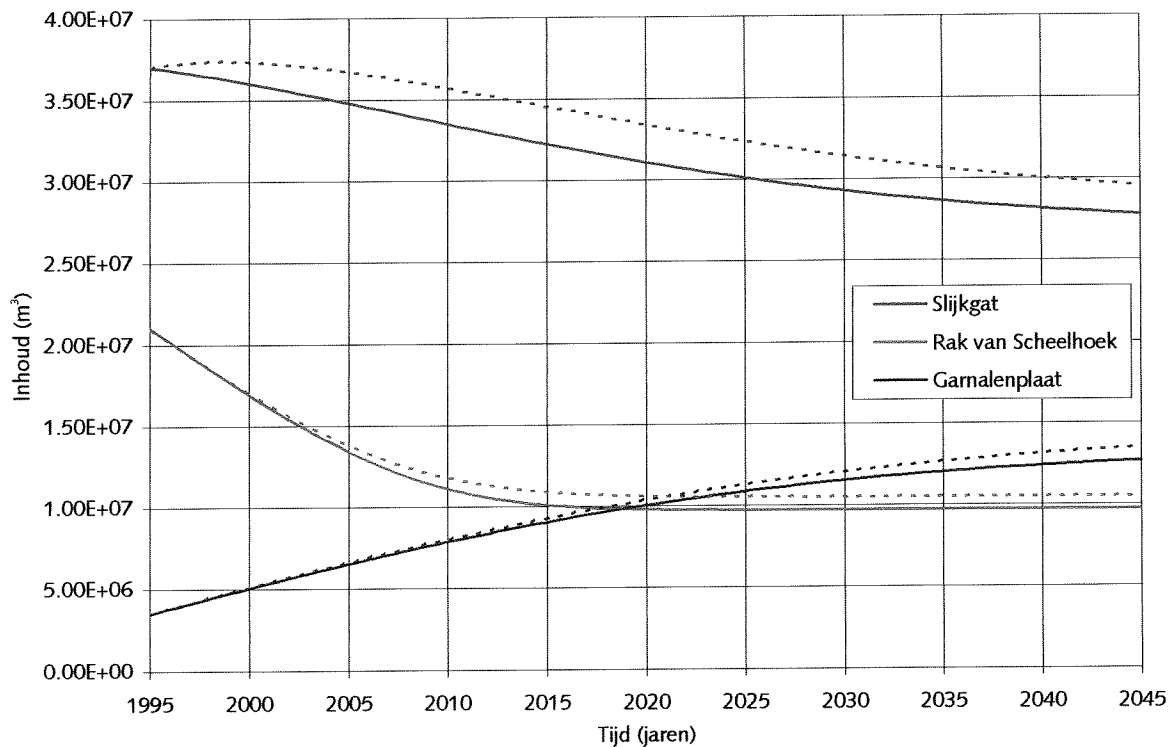


figuur 8.11 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam met een combinatie van een zuidelijke (—) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte en het getemd getij alternatief van de Haringvlietsluizen.

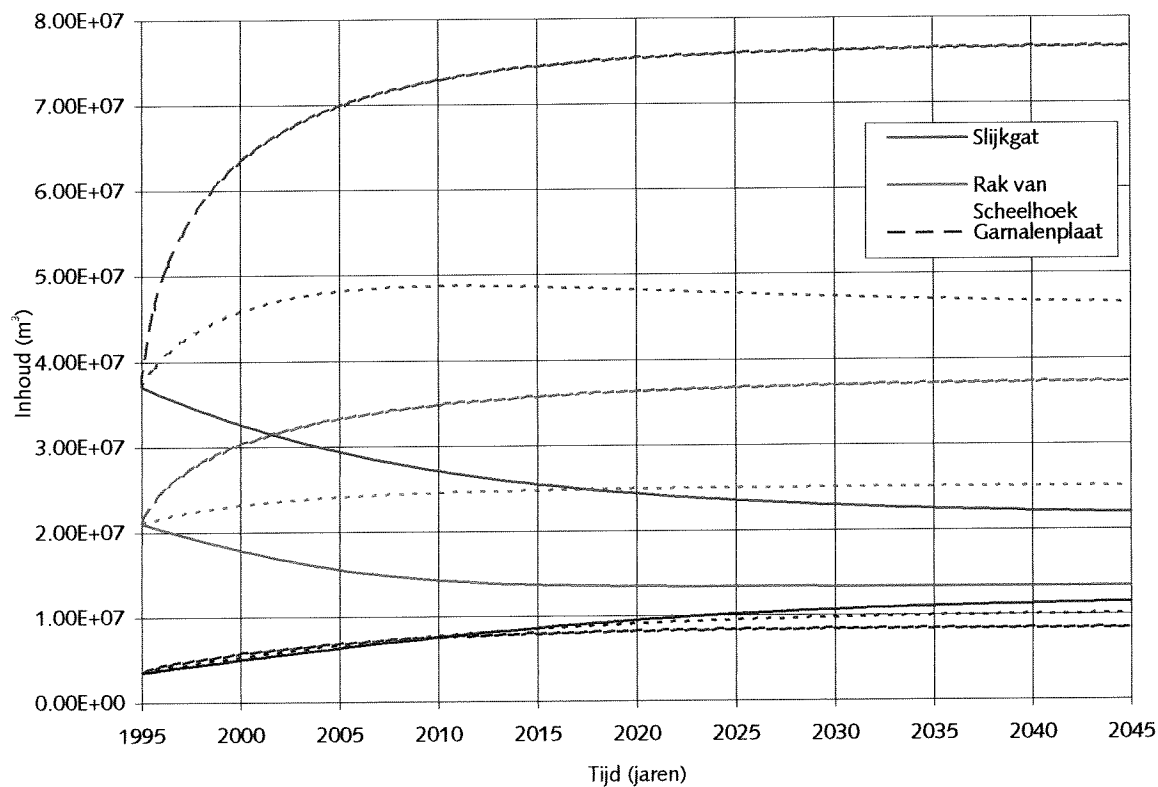




figuur 8.12 : Huidige ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat (—) en de ontwikkelingen als gevolg van een zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte (-----).

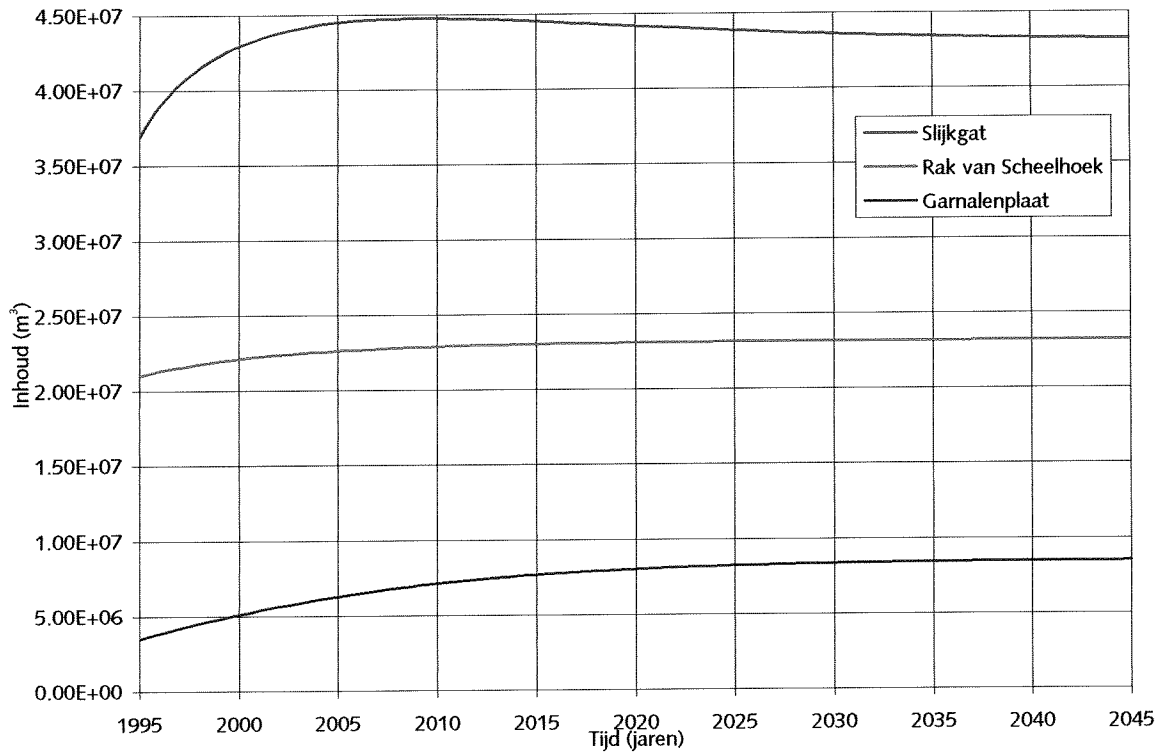


figuur 8.13 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek als gevolg van de drie alternatieven : stormvloedkering (—), getemd getij (---) en gebroken getij (—).





figuur 8.14 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek bij zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte en het alternatief getemd getij.





## 9. Conclusies en aanbevelingen

---

### 9.1 Conclusies

Sinds de afdamming van de Brielse Maas in 1950 zijn veel ingrepen gedaan in het mondingsgebied van het Haringvliet en de Brielse Maas. Deze ingrepen hebben grote invloed gehad op de waterbeweging en daardoor op de morfologie in het gebied. Ook de geplande ingrepen in het gebied zullen invloed hebben op de waterbeweging en de morfologie.

Bij het handhaven van het huidige spuibeheer van de Haringvlietsluizen zullen de morfologische processen zich voortzetten. Het gebied voor de Brielse Gatdam zal verder sedimenteren. De omvang van de geul heeft nu 80 % van het evenwichtsvolume bereikt. Ook het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek zullen verder sedimenteren. Het Slijkgat heeft 70 % van het evenwichtsvolume bereikt. Het evenwichtsvolume van het Rak van Scheelhoek dat uit de model berekeningen met ASMITA volgt is lager dan het volume dat op grond van metingen wordt verwacht. Afhankelijk van de gekozen benadering heeft de geul 65 - 85 % van het evenwichtsvolume bereikt. Het zal nog enkele decennia duren voordat de geulen hun evenwicht bereiken. De aanpassingen zullen steeds langzamer verlopen en de geulen zullen wanneer ze de evenwichtssituatie dichterbij zijn, steeds sterker reageren op een extreme afvoer, waardoor erosie van de geul optreedt.

Het doorsteken van de Brielse Gatdam heeft een vergroting van het getijprisma tot gevolg waardoor het Brielse Gat zal gaan eroderen. De geul zal een diepte van ongeveer 2 meter krijgen zoals die ook was voor de aanleg van de Brielse Gatdam. Het opvullen van het Oostvoornse Meer zal erg lang duren, in de orde van honderd jaar, zodat op korte termijn geen plaatvorming zal plaatsvinden. Het gebied rond het Brielse Gat zal door het doorsteken van de Brielse Gatdam een duidelijk bekken vormen in het noordelijk deel van het Haringvliet-estuarium waarvan het Brielse Gat de vul- en ledigingsgeul zal zijn.

De aanleg van de zuidelijke variant van Maasvlakte 2 versterkt die bekkenvorm, met als gevolg dat de geul in combinatie met Maasvlakte 2 een iets grotere omvang zal krijgen dan zonder uitbreiding van de Maasvlakte. Een ander spuibeheer van de Haringvlietsluizen heeft niet zoveel invloed op dit noordelijk deel van het bekken.

Uitbreiding van de Maasvlakte vergroot de bekkenvorm van het Haringvliet-estuarium waardoor de getijslag groter wordt. De zuidelijke variant schermt het bekken meer af dan de noordelijke variant waardoor de getijslag bij de zuidelijke uitbreiding groter is dan bij de noordelijke uitbreiding. Het Brielse Gat zal nog steeds verder sedimenteren, maar het evenwichtsvolume is groter dan dat onder voortzetting van de huidige omstandigheden. De invloed van de Maasvlakte op het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek is minder dan de invloed op het Brielse Gat. Alleen de zuidelijke variant vergroot het getijprisma in die regio waardoor het evenwichtsvolume van de geulen groter zal zijn. De invloed van een uitbreiding van de Maasvlakte is vooral merkbaar in het noordelijk deel van het bekken.

Het gebruiken van de Haringvlietsluizen als stormvloedkering waardoor het getij weer het Haringvliet kan binnendringen, heeft grote gevolgen voor het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. Beide geulen zullen een veel groter debiet moeten afvoeren met als gevolg dat de geulen zullen eroderen. In eerste instantie zullen de snelheden in de geul sterk toenemen en zal de

erosie snel verlopen. De situatie die zal ontstaan vertoont gelijkenis met de situatie van voor de afsluiting. Er is een verschil met de vroegere situatie : Omdat de sluizen zich in het zuiden van de dam bevinden zal het Slijkgat een belangrijkere functie krijgen dan voor de afsluiting terwijl de afvoerfunctie van het Rak van Scheelhoek minder zal zijn.

De andere alternatieven, het gebroken getij en het getemd getij zullen minder invloed hebben op de waterbeweging en morfologie. Bij het getemd getij zal erosie van beide geulen optreden maar minder dan bij het alternatief van de stormvloedkering. Indien het alternatief van gebroken getij wordt toegepast zullen de geulen blijven aanzanden, hoewel het evenwichtsvolume van de geulen groter zal zijn dan het evenwichtsvolume bij voortzetting van de huidige situatie. De invloed van het openzetten van de sluizen is vooral van belang voor het zuidelijk deel van het bekken.

De berekening van de ontwikkeling van de geulen lijkt goed te kloppen, maar de ontwikkeling van de platen voldoet niet aan de in het model toegepaste relatie. Het plaatoppervlak is vooral afhankelijk van het getijbassin en veel minder van het getijprisma. In de hier gebruikte relatie is de invloed van beide factoren met even zwaar gewicht meegenomen.

## 9.2 Aanbevelingen

Het Haringvliet-estuarium is in deze studie voor de modellering opgedeeld in twee gebieden. De koppeling van de beide systemen vindt plaats via geulen waarvan de dimensie niet met de empirische relaties kan worden beschreven. De omvang van die geulen wordt behalve door het getij door rondstroming bepaald. Toepassing van een relatie waarin deze factoren zijn meegenomen levert waarschijnlijk een verbetering van het model op.

Het advectieve transport wordt niet in de modellering meegenomen. Het wel meenemen van dit transport kan een betere beschrijving van de werkelijkheid opleveren.

De door het model berekende ontwikkeling van de platen komt niet goed overeen met de werkelijke ontwikkeling. Een relatie die deze ontwikkeling goed beschrijft is eveneens een verbetering voor het model.

De geulontwikkeling zou nog beter berekend kunnen worden als een relatie tussen de hydraulische straal en het doorstroomoppervlak van de geul wordt gevonden.

De ontwikkelingen van het systeem zijn vrij grof berekend. Door meer elementen in het model mee te nemen kan een gedetailleerder beeld van het systeem verkregen



# Literatuur

---

Allersma, E., J.S. Ribberink, 1992  
Zeezandwinning : analyse van de morfologische effecten van zandwinning in de Euro-Maasgeul. H1258. Waterloopkundig Laboratorium.

Boer, S., 1992  
Analyse morfologische ontwikkelingen Slufterdam : studie van het morfologisch systeem gericht op optimalisatie van het beheer. H1498. Waterloopkundig Laboratorium.

Bruun, P., F. Gerritsen, 1960  
Stability of Coastal Inlets. North-Holland Publishing Company. Amsterdam 1960.

Bruun, P., 1978  
Stability of tidal inlets : theory and engineering. Developments in geotechnical engineering 23. Elsevier scientific publishing company. Amsterdam.

Biegel E.J., 1995  
Morfologische veranderingen voormalige delta van het Haringvliet tussen 1990 en 1993. Werkdocument RIKZ/OS-95.105x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.

Bijker, E.W., 1967  
Some considerations about scales for coastal models with movable bed. Doctorate dissertation. Delft University of Technology.

Eysink W.D., 1990a  
Buitendelta van het Haringvliet; Morfologische ontwikkelingen en zoutgehalte bij het huidige en een gewijzigd spuiregime. H104, Waterloopkundig Laboratorium.

Eysink, W. D., 1990b  
Morphologic response of tidal bassins to changes. The Dutch Coast : report of a session in the 22<sup>nd</sup> International Conference on Coastal Engineering 1990. Paper no. 8.

Eysink, W.D., E.J. Biegel, 1992  
Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. ISOS\*2 Project, Phase 1. rapport H1300. Waterloopkundig Laboratorium.

Fokkink, R.J., 1996  
A New evaluation of ESTMORF. Phase III, New physical relations and a refinement of the calibration. Rapport Z930. Waterloopkundig Laboratorium

Frederic R. Harris BV, 1995  
Morfologische berekeningen uitbreiding Maasvlakte. Fredric R. Harris.  
Gerritsen, F., H. de Jong, A. Langerak, 1983  
Stabiliteiten van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Nota WWKZ-83.VOO8. Adviesdienst Vlissingen. Rijkswaterstaat.

- Gerritsen, F., H. de Jong, 1985  
Stabiliteit van doorstroomprofielen in het Waddengebied. Nota WWKZ-84.V016. Adviesdienst Vlissingen. Rijkswaterstaat.
- Gerritsen, F., H. de Jong, A. Langerak, 1990  
Cross-sectional stability of estuary channels in the Netherlands. Proceedings of the Coastal Engineering Conference 1990, July 2-6. Delft. The Netherlands.
- Gerritsen, F., 1996  
Stability analysis and modelling ebb tidal deltas of Dutch North sea inlets. Preliminary study. report prepared for Rijkswaterstaat/R.I.K.Z.
- Haring, J., 1967  
De verhouding van getijvolume en doorstromingsprofiel in de zeegaten Haringvliet, Brouwershavense Gat, Oosterschelde en in de mond van de Rotterdamse Waterweg uit alle beschikbare waarnemingen tot heden. Nota K-271. Waterloopkundige Afdeling. Deltadienst. Rijkswaterstaat. (opgenomen in Driemaandelijksbericht Deltawerken, mei 1967. no. 40).
- Hollandschap, 1995  
Oostvoorne aan zee. ref.: raposv02.osv. Moerkapelle.
- Karssen, B., Z.B. Wang, 1993  
A dynamic empirical model for the long-term morphological development of estuaries. Part 1 : Physical relations. Rapport Z622. Waterloopkundig Laboratorium.
- Kreeke, J. van de, J. Haring, 1979  
Equilibrium flow areas in the Rhine-Meuse delta. Coastal Engineering. no 3. p 79 - 111. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- Lai, J.S., H.W. Shen, 1996  
Flushing sediment through reservoirs. Journal of Hydraulic research. IAHR. Vol 34 - 1996. p 237-255.
- Looff, A.P. de, F.C. Groenendijk, R.M. Salden, A.C. Smaal, 1995  
Met Maasvlakte II in zee; Zeewaartse uitbreiding van de Maasvlakte: Hydraulische, morfologische en ecologische gevolgen voor het zeegebied. Rapport RIKZ-95.047. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.
- Louters, T, J.P.M. Mulder, R. Postma, F.P. Hallie, 1991  
Changes in coastal morphological processes due to the closure of tidal inlets in the SW Netherlands. Journal of Coastal Research. vol. 7, no. 3, 1991. p 635-652.
- Misdorp, R., F. Steyaert, F. Hallie, J. de Ronde, 1990  
Climate change, sea level rise and morphological developments in the Dutch Wadden Sea, a marine wetland. In : J.J. Beukema et al (eds.) Expected effects of climatic changes on marine coastal ecosystem. p123-131. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- O'Brien, M.P., 1931  
Estuary tidal prisms related to entrance areas. Civil Engineering.
- Postma, R., J. Mulder, T. Louters en F. Hallie, 1990  
Voorspelling van de morfologie en de sedimentbalans van de voordelta in 2010. Rapport GEOPRO 1991.11. Instituut voor Ruimtelijk Onderzoek. Universiteit Utrecht.
- Project Organisatie Maasvlakte II, 1995  
Rapportage Voorstudie Maasvlakte II, fase IA. Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Port of Rotterdam.

Rijkswaterstaat, 1962

De morfologische veranderingen in de mond van de Brielsche Maas sedert de afsluiting daarvan. Driemaandelijks Bericht Deltawerken, nummer 20. pp 25-33. Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, 1968

De invloed van de waterbouwkundige werken op de kust van ZW-Nederland. Driemaandelijks Bericht Deltawerken 43. pp 115-128.

Rijkswaterstaat, 1970

De gevolgen van de afsluiting van het Haringvliet voor het mondingsgebied en de aansluitende kust. Driemaandelijks Bericht Deltawerken, nummer 54. pp 203-211. Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, 1971

De ontwikkeling in het mondingsgebied van het Haringvliet na de afsluiting. Nota W-10.108. Deltadienst. Waterloopkundige afdeling.

Rijkswaterstaat

Jaarboek (1973-1994) Monitoring Rijkswateren : presentatie van Fysische, Chemische en Biologische kenmerken. RIKZ en RIZA. Rijkswaterstaat.

Sha, L.P., J.H. van den Berg. 1993

Variation in Ebb-tidal delta geometry along the coast of the Netherlands and the German Bight. Journal of Coastal Research. vol. 9(3). p 730-746.

Smit, M., 1995

Zandtransport berekeningen met het model UNIBEST t.b.v. de uitbreiding van de Maasvlakte. Werkdocument 95.xxxx. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.

Snijders, G.H., 1995

Ontwikkeling zandplaten en getijgeulen van de Voordelta. Werkdocument 95/AB-145x, Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.

Spek, A.J.F. van der, 1987

Beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen. Nota GWAO-87.105. Dienst getijdenwateren. Rijkswaterstaat.

Startnotitie, 1994

Startnotitie : ten behoeve van het Milieu effect rapport beheer Haringvlietsluizen. Rijkswaterstaat, directie Zuid - Holland. Rotterdam

Steijn, R.C., 1996

Grootschalig Morfodynamisch Onderzoek. Invloed van enkele varianten van Maasvlakte-2 op de grootschalige morfodynamica van de Nederlands kust. Deel 1 : tekst. H 3059. Waterloopkundig Laboratorium.

Stive, M.J.F., Z.B. Wang, M. Capobianco, 1996

Aggregated scale morphological interaction in a tidal inlet system.

Terwindt, J.H.J., 1964

De veranderingen in de mond van Het Brielse Gat als gevolg van de afdamming. TKNAG, 81. no. 3. juli. p. 329-334.

Terwindt, J.H.J., 1971

Aanslibbing, kunstontwikkeling en andere waterloopkundige consequenties van heropenen van het Brielse Gat (zanddam paal 7). Nota W71.008. Waterloopkundige afdeling. Deltadienst. Rijkswaterstaat.

Vessem, P. van, 1995

Beleidsanalyse Slijkgat : keuze voorkeursalternatieven. Werkdocument RIKZ/AB-95.141x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.

Visser, W., 1984

Vaargeul Slijkgat : onderzoek naar te verwachten onderhoudsbaggerwerk.  
Nota WWWKZ-84.S004. directie waterhuishouding en Waterbeweging.  
Rijkswaterstaat.

## Bijlage A : kaarten van de Haringvlietmonding van 1850 - 1970

---



1850

R  
D

Hoeck van Holland

De Beer

De Zekken

De Haak

De Bonten

Oranjestad

Oranje polder

Binnen Vlakte  
bank

Ooerlag

MOND VAN DE MAAS

Oostvoorne

TERELLE

vechonden  
plaat

Roekanje

Waterscheide

St. Annapolder

Waterscheide

Nieuwenhoorn

Hellevoet

Voorder Pampus

HELLEVOETSLOOS

Oudenhorn

Scale bar

35,000 N

0 50 0 50 0 50





1946

445  
444  
443  
442  
441  
440  
439  
438  
437  
436  
435  
434  
433  
432  
431  
430  
429  
428  
427

Maasvlakte

Westplaat

Garnalenplaat

Plaat van  
Scheelhoek

Joek van Hollan

NIJBUW

Smeentje

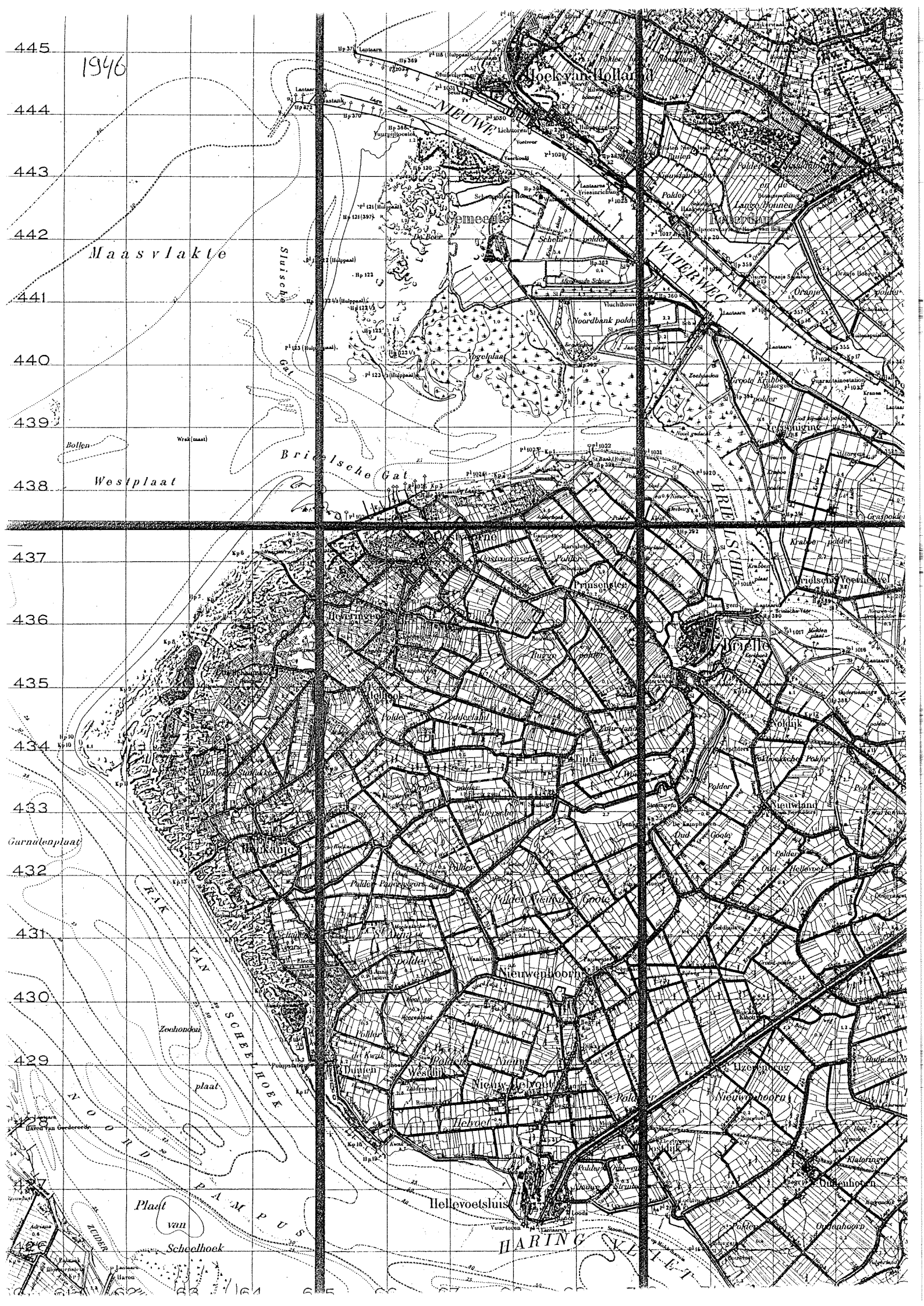
Brielsche Gat

WATERVIC

BRIELSCHE

RIJK VAN  
SCHEEF HOEK

HARING





1957

MAASVLAKTE

NIEUWE

BRIELSCHÉ

Briele

Nieuwenhoorn

Nieuw-Helvoet

Hellevoetsluis

HARING

Bollen

Garnalenplaat

Plaat Noord

van Schéelhoek

Stetendam

West

Cat

Brielsche

Rak

van

Pampus

Scheelhoek

Lens

Nieuwenhoorn

WATERWEG

Oranje

Lantaren

Grote Krabbe

Leun

Krabbe - en Gedspolder

Voor- en

Droogplaat

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Wierpolders

Noord

Zuid

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost

West

Oost



1961



MAASVLAKTE

EUROPOORT

Brijlsche

Oostvoorne

Brielle

Schiedamsche

Nieuwenhoorn

Nieuw-Helvoet

Nieuw-Helvoet

Nieuwenhoorn

Hellevoetsluis

Schiedamsche

Hellevoetsluis

Hellevoetsluis

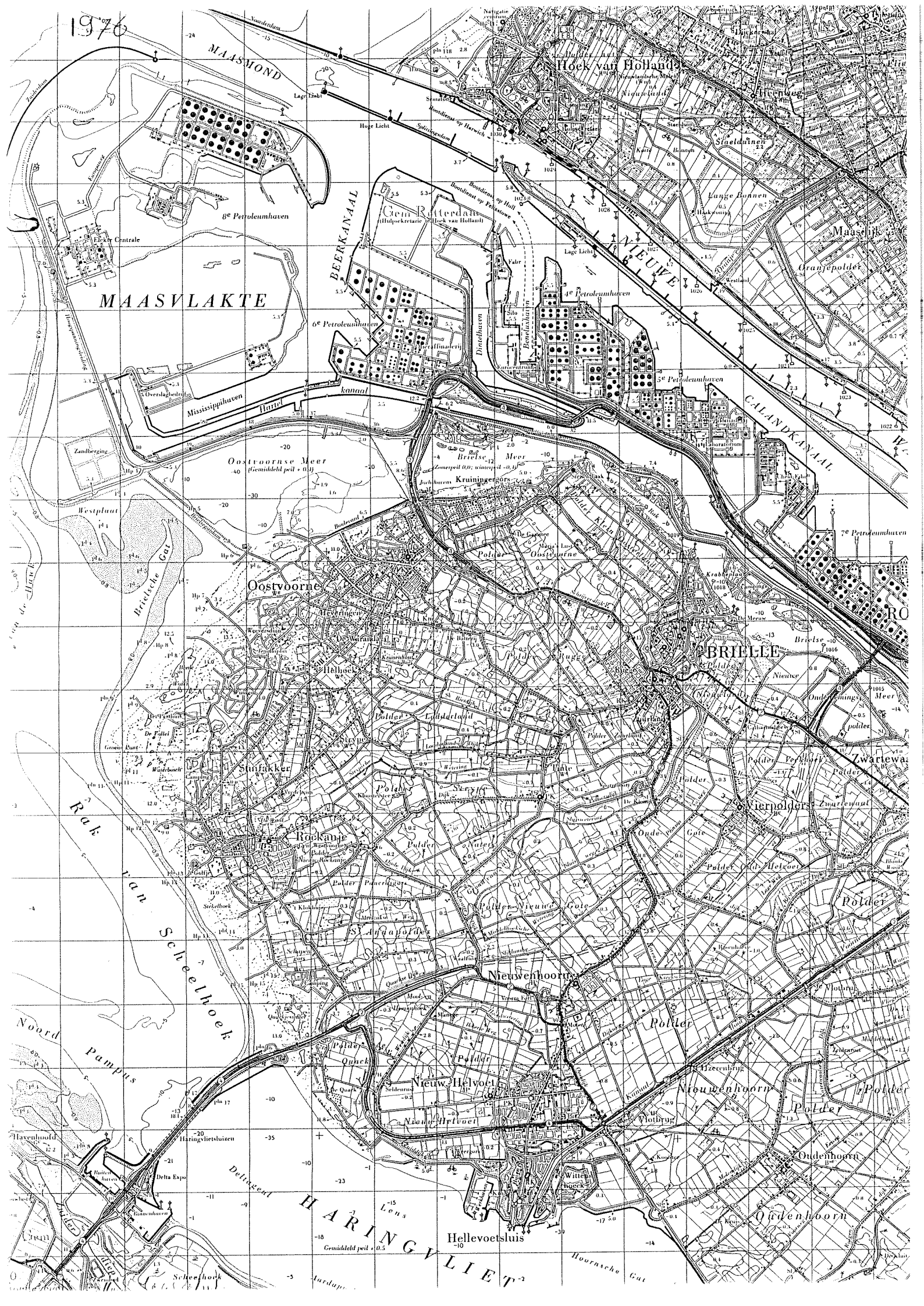








1976



MAASVLAKTE

Hoek van Holland

BEERKANAL

NIEUWE

CALANDKANAL

Oostvoorne

BRIELLE

Nieuwenhoorn

Hellevoetsluis

HARINGVLIET

Rak van Scheelhoek

Noord Pampus

Oudenhoorn

Qudenhoorn

Delta Espe

Scheelhoek

Hoornsche Gat

8<sup>e</sup> Petroleumhaven

6<sup>e</sup> Petroleumhaven

4<sup>e</sup> Petroleumhaven

5<sup>e</sup> Petroleumhaven

7<sup>e</sup> Petroleumhaven

Oostvoornse Meer

Brielse Meer

Zwartewaal

Vierpolders Zwartewaal

Nieuwenhoorn

Nieuwenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Oudenhoorn

Erft Centrale

Zandberging

Westplaat

Bricksche Gat

De Felle

Waarboeck

Sieckboeck

Havenhoofd

Delta Espe

Scheelhoek

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

Gen. R. Aardals

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

5.3

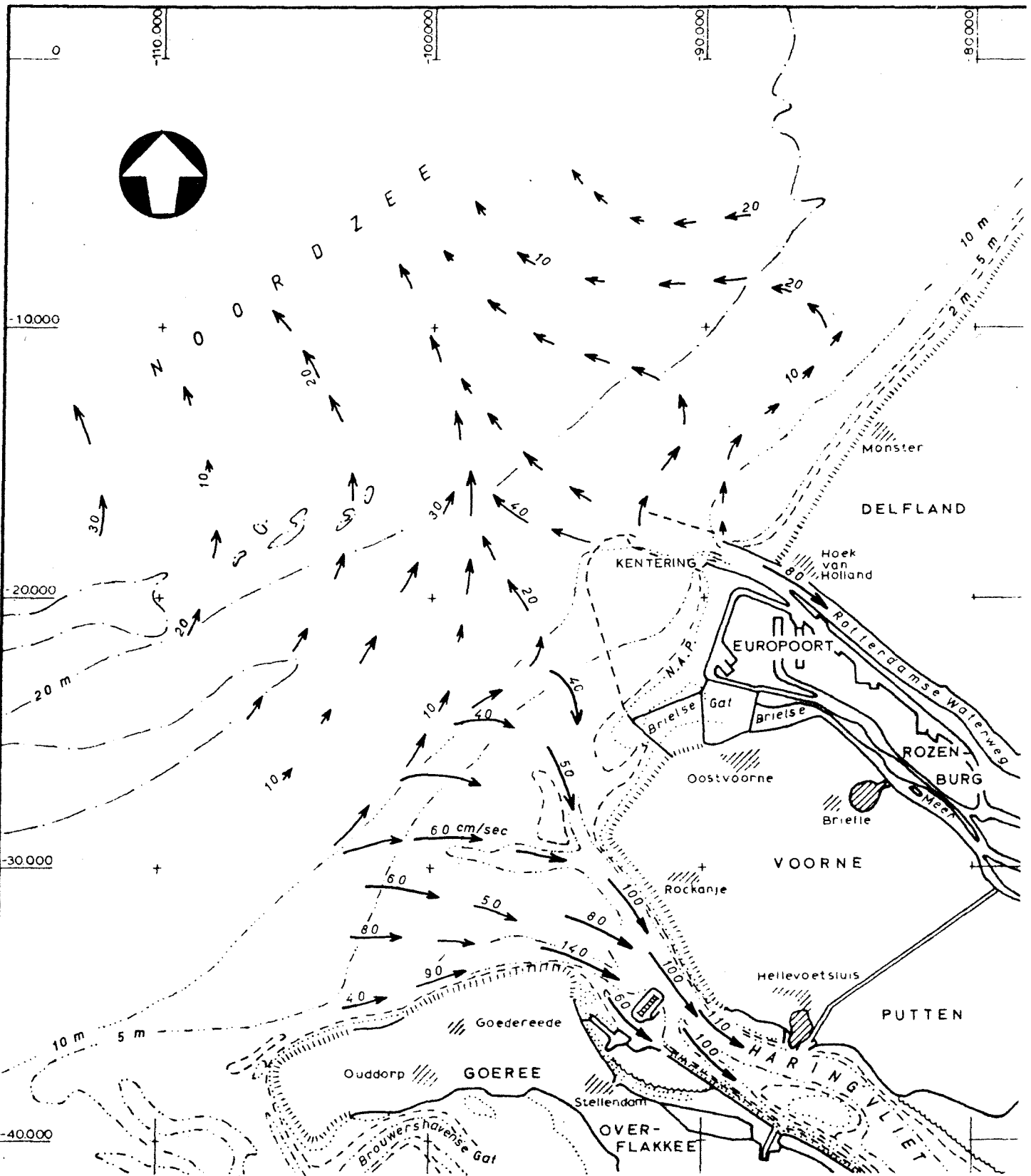
5.3



## **Bijlage B : Figuren uit de stroomatlas van voor en na de afsluiting van het Haringvliet**

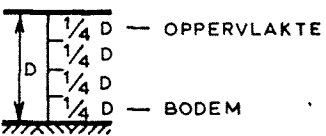
---





SITUATIE  
 schaal 1:200.000

← STROOMSNELHEID en -RICHTING IN UREN VOOR H.W. TE HOEK VAN HOLLAND  
 — gemiddeld getij — NA



GEGEVENS ONTLEEND AAN DE VOLGENDE METINGEN:  
 zeegebied : 2 sept. 1960  
 : 15 juni 1966  
 Mond Haringvliet : 22 mei 1964  
 : 28 en 30 sept. 1965  
 Mond Rotterdamse Waterweg: 16 en 17 april 1966

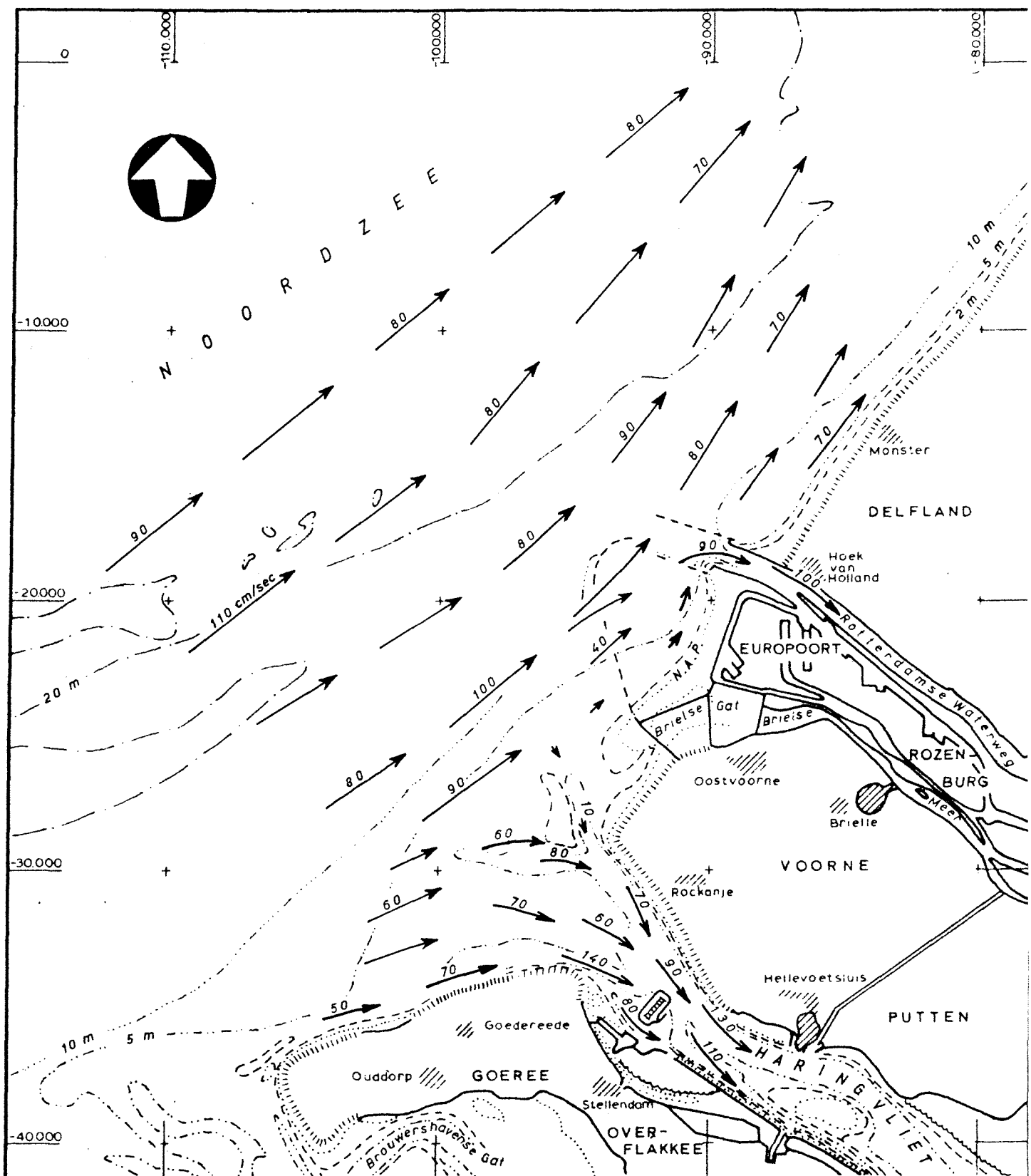
KUSTGEBIED  
 GOEREE - S-GRAVENHAGE  
**STROOMATLAS**  
 1960 - 1966  
 OPPERVLAKTE

2 uur  
 VOOR  
 H.W. te Hoek van Holland

RIJKSWATERSTAAT  
 DELTADIENST  
 Waterloopkundige Afd. Hellevoetsluis

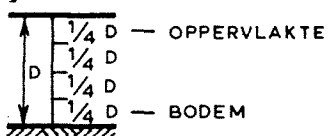
getek	gec.	acc.	gez.
18-02-67	18-02-67	18-02-67	18-02-67
ca. laort			

A1 Nr. 67-7274



SITUATIE  
 schaal 1 : 200.000

← STROOMSNELHEID en -RICHTING IN UREN VOOR H.W. TE HOEK VAN HOLLAND  
 — gemiddeld getij — NA



GEGEVENS ONTLEEND AAN DE VOLGENDE METINGEN :  
 zeegebied : 2 sept. 1960  
 : 15 juni 1966  
 Mond Haringvliet : 22 mei 1964  
 : 28 en 30 sept. 1965  
 Mond Rotterdamse Waterweg: 16 en 17 april 1966

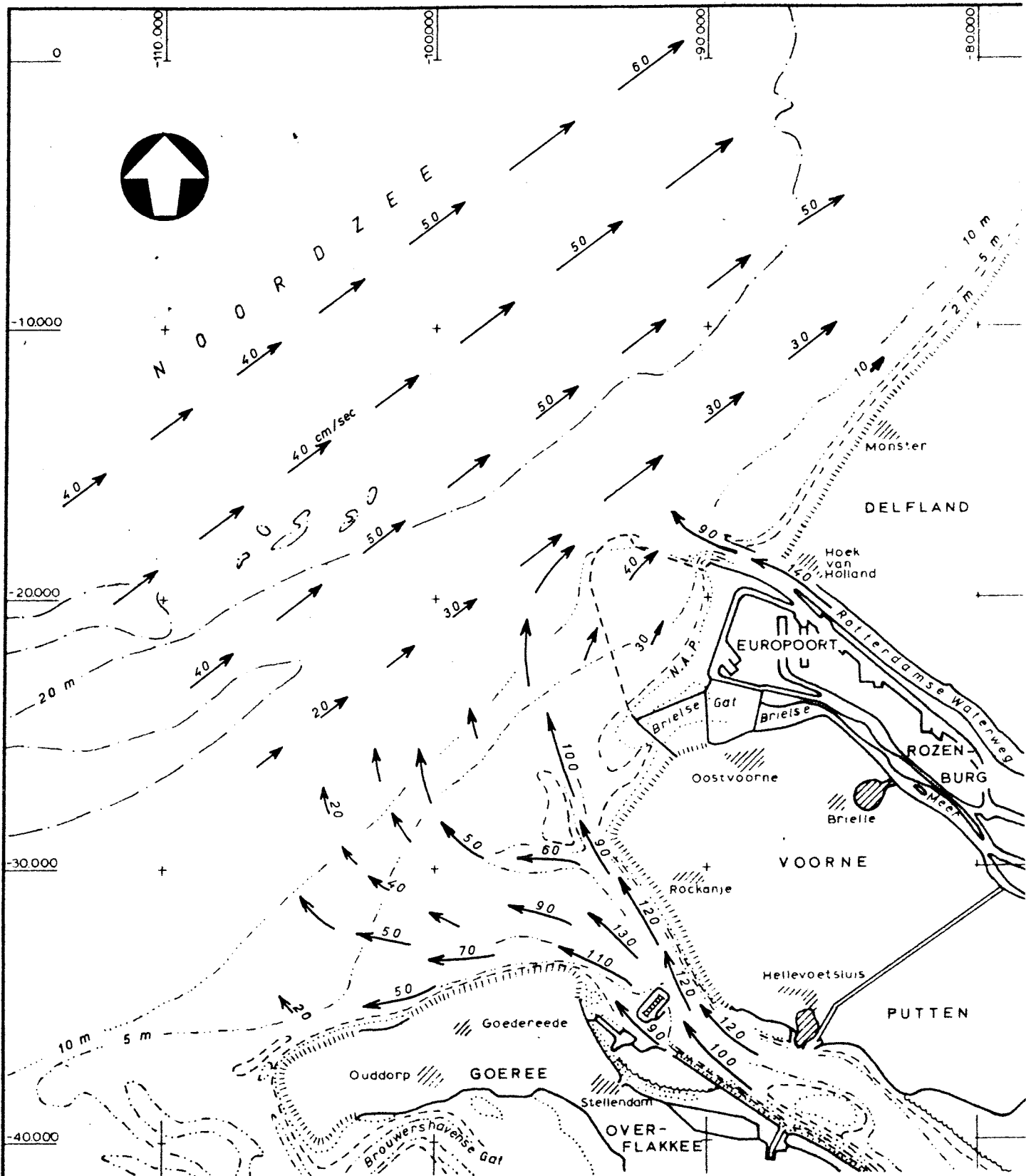
KUSTGEBIED  
 GOEREE - 'S- GRAVENHAGE  
**STROOMATLAS**  
 1960 - 1966  
 OPPERVLAKTE

H.W.  
 H.W. te Hoek van Holland

RIJKSWATERSTAAT  
 DELTADIENST  
 Waterloopkundige Afd. Hellevoetsluis

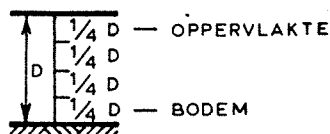
getek	gec.	acc.	gez.
1960/1966	1960/1966	1960/1966	1960/1966
Valoer	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

A1 Nr. 67-7276



SITUATIE  
 schaal 1 : 200.000

← STROOMSNELHEID en -RICHTING IN UREN VOOR H.W. TE HOEK VAN HOLLAND  
 — gemiddeld getij — NA



GEGEVENS ONTLEEND AAN DE VOLGENDE METINGEN :  
 zeegebied : 2 sept. 1960  
 : 15 juni 1966  
 Mond Haringvliet : 22 mei 1964  
 : 28 en 30 sept. 1965  
 Mond Rotterdamse Waterweg: 16 en 17 april 1966

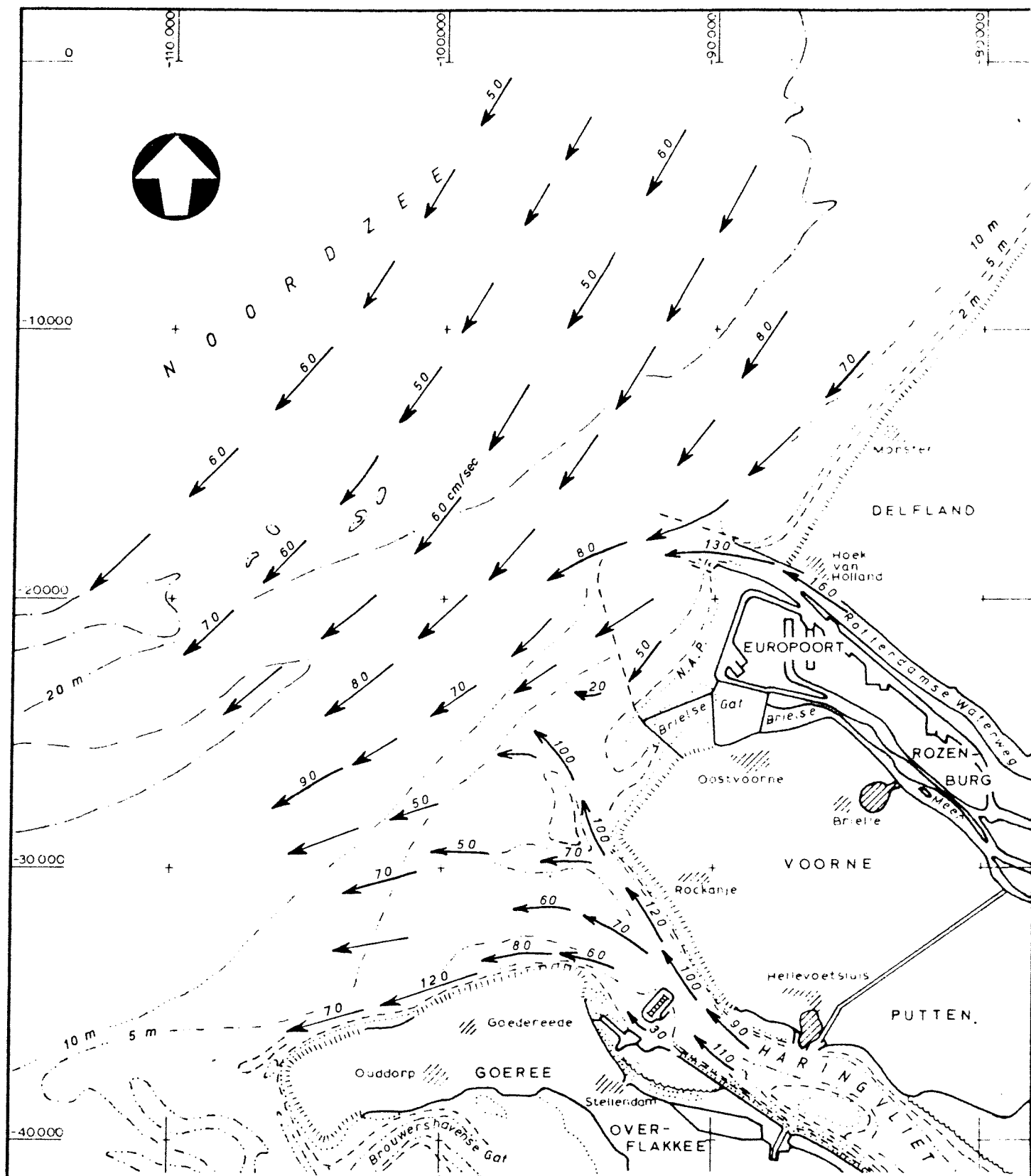
KUSTGEBIED  
 GOEREE — 'S- GRAVENHAGE  
 STROOMATLAS  
 1960 — 1966  
 OPPERVLAKTE

3 uur  
 NA  
 H.W. te Hoek van Holland

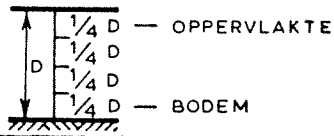
RIJKSWATERSTAAT  
 DELTADIENST  
 Waterloopkundige Afd. Hellevoetsluis

getek	gec	acc	gez
2000/67	2000/67	2000/67	2000/67

A1 Nr. 67-7279



← STROOMSNELHEID en -RICHTING IN UREN VOOR H.W. TE HOEK VAN HOLLAND  
 — gemiddeld getij — NA



GEGEVENS ONTLEEND AAN DE VOLGENDE METINGEN:  
 zeegebied : 2 sept. 1960  
 : 15 juni 1966  
 Mond Haringvliet : 22 mei 1964  
 : 28 en 30 sept. 1965  
 Mond Rotterdamse Waterweg: 16 en 17 april 1966

KUSTGEBIED  
 GOEREE — S-GRAVENHAGE  
**STROOMATLAS**  
 1960 — 1966  
 OPPERVLAKTE

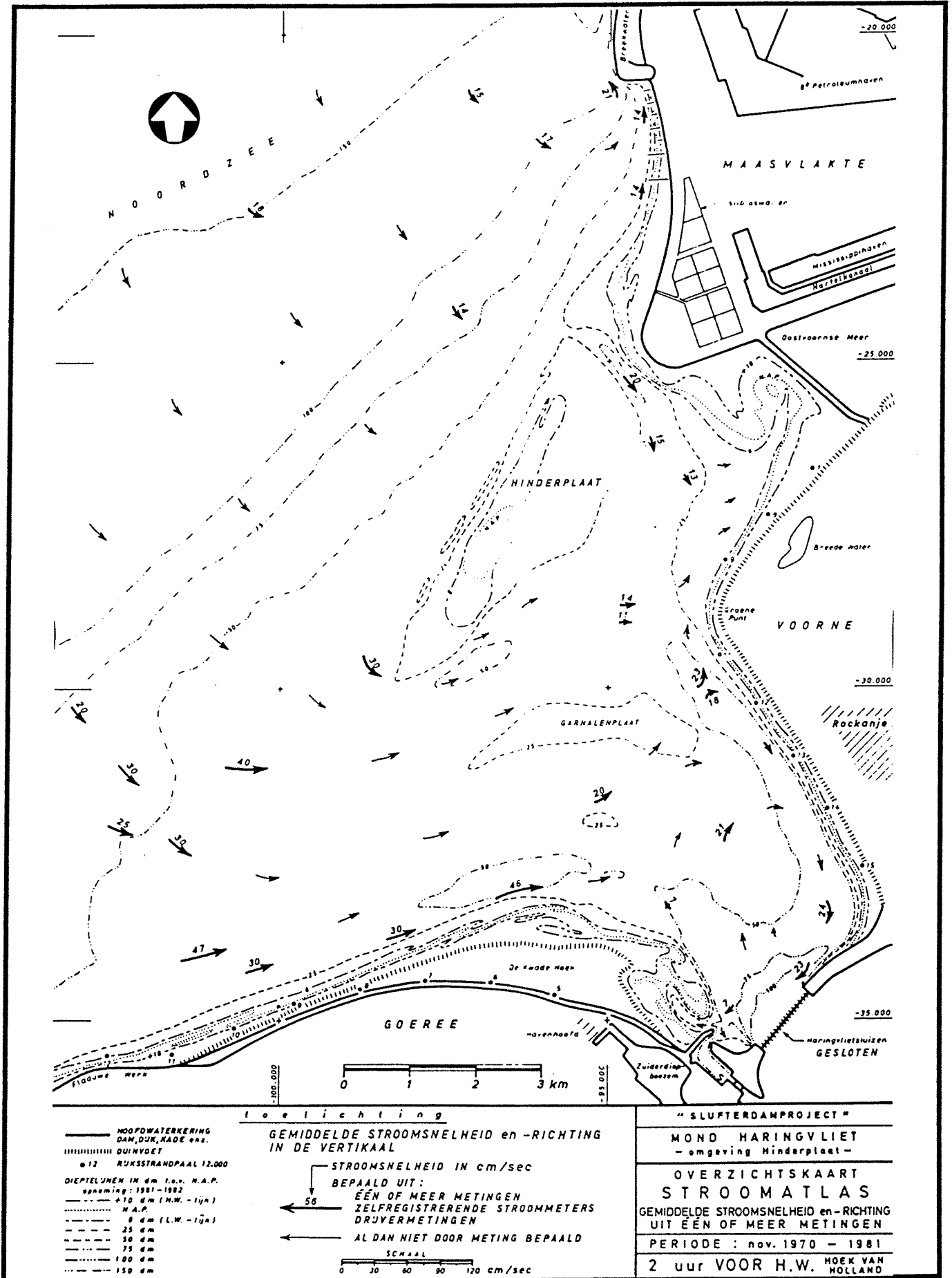
6 uur  
 NA  
 H.W. te Hoek van Holland

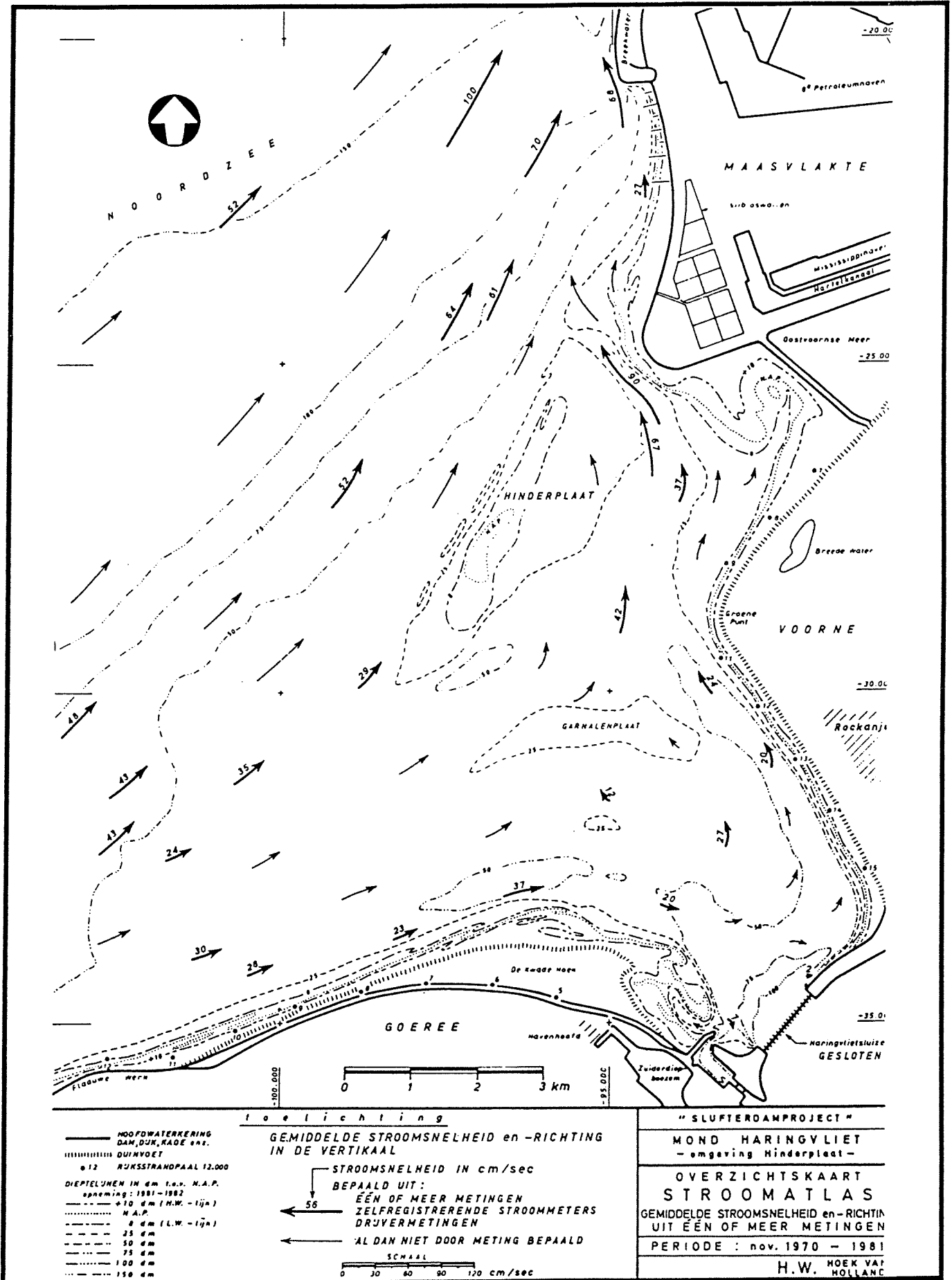
RIJKSWATERSTAAT  
 DELTADIENST  
 Waterloopkundige Afd. Hellevoetsluis

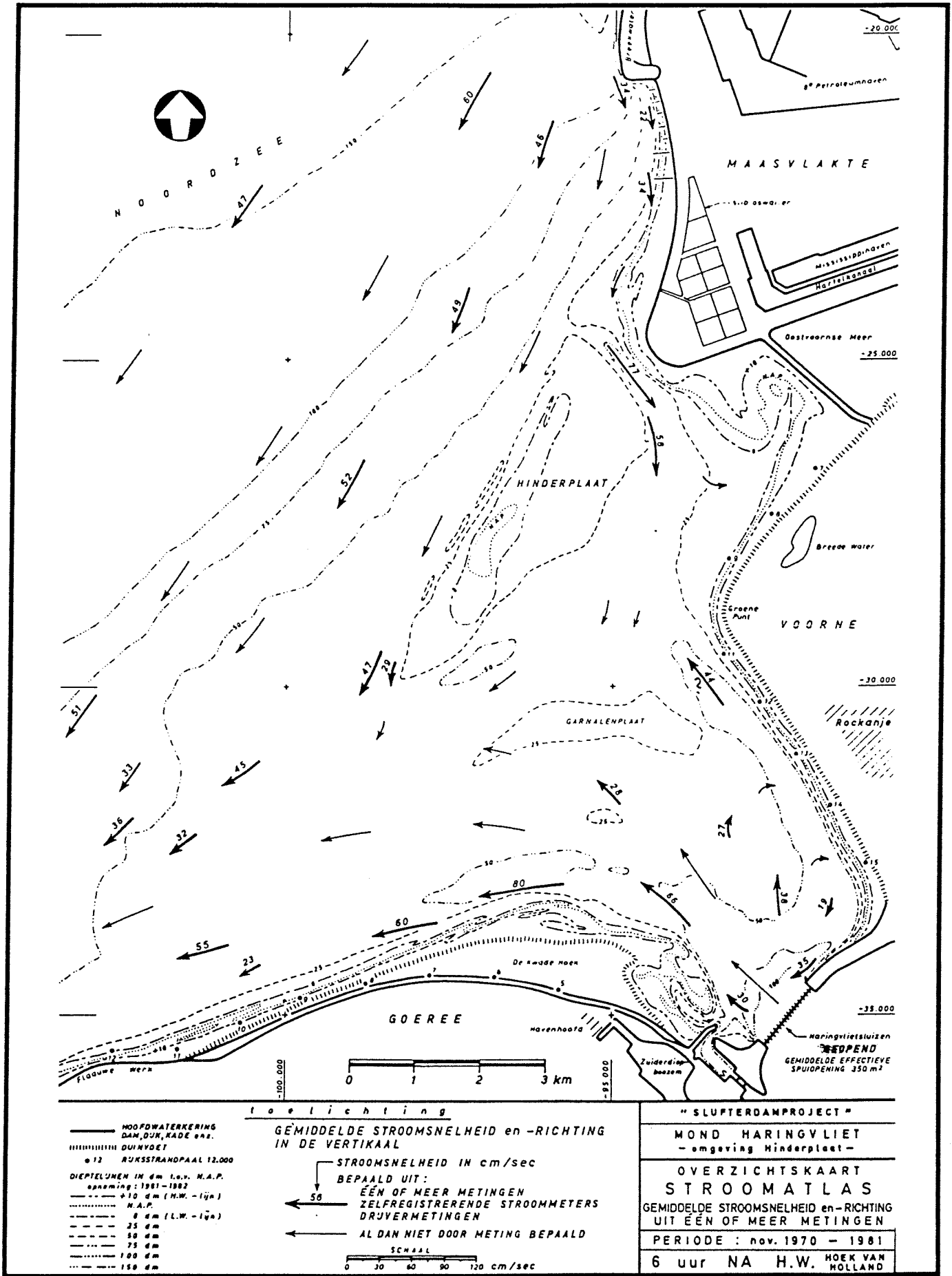
getek. gec. acc. gez.  
 1966-07-28  
 1966-07-28  
 1966-07-28

A1 Nr. 67-7282





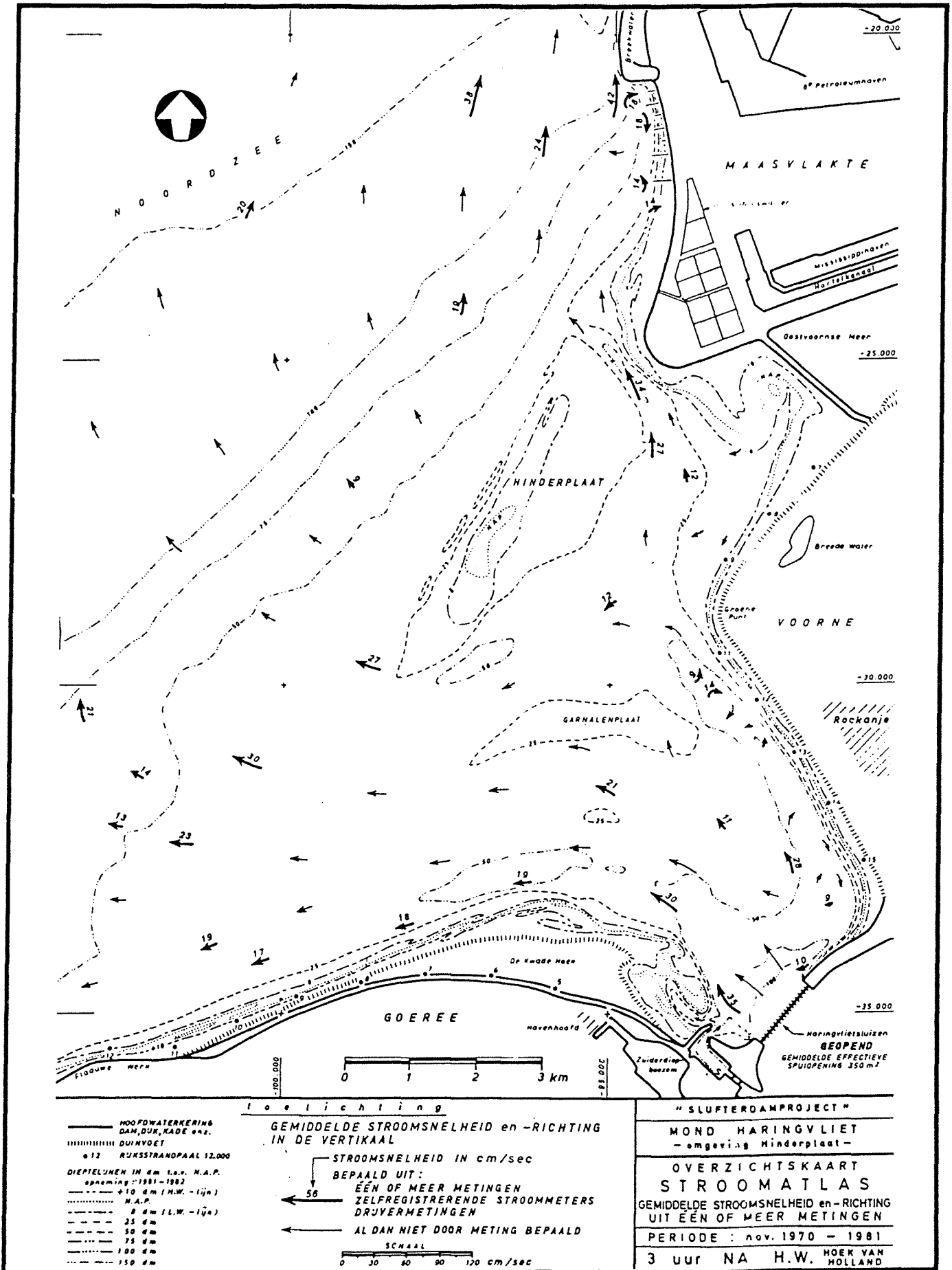




HOOFDWATERKERING  
DAM, DUK, KADE enz.  
DUINVOET  
1:2 RUKSTRANOPAAL 12.000  
DIEPTELIJNEN IN dm t.o.v. N.A.P.  
opneming: 1961-1982  
- - - - - +10 dm (H.W. - lijn)  
..... N.A.P.  
- - - - - 0 dm (L.W. - lijn)  
- - - - - 25 dm  
- - - - - 50 dm  
- - - - - 75 dm  
- - - - - 100 dm  
- - - - - 150 dm

**toelichting**  
**GEMIDDELTE STROOMSNELHEID en -RICHTING IN DE VERTIKAAL**  
STROOMSNELHEID IN cm/sec  
BEPaald UIT:  
← 56 ← EÉN OF MEER METINGEN ZELFREGISTRERENDE STROOMMETERS DRUVERMETINGEN  
← AL DAN NIET DOOR METING BEPAALD  
SCHAAL 0 30 60 90 120 cm/sec

**"SLUPTERDANPROJECT"**  
MOND HARINGVLIET  
- omgeving Hinderplaat -  
**OVERZICHTSKAART**  
**STROOMATLAS**  
GEMIDDELTE STROOMSNELHEID en -RICHTING  
UIT EÉN OF MEER METINGEN  
PERIODE : nov. 1970 - 1981  
6 uur NA H.W. HOEK VAN HOLLAND



## Bijlage C : Coördinaten van de raaien

---

Raai	x	y
1	60533	437867
	62622	435778
2	60000	437511
	61733	434267
3	59200	437556
	58657	429451
4	61644	434000
	58000	428448
5	62978	432267
	58896	428806
6	63689	430889
	60000	427731
7	61644	434000
	60444	432978
8	59689	432000
	59689	429556
9	56000	432000
	56000	428444
Ha2	63000	432343
	59763	429000
r1	62069	433746
	60374	432716
r2	62069	434194
	61611	432269
s2	57534	428866
	57687	431373



## Bijlage D : Resultaten van empirische relaties tussen getijprisma en geuldoorsnede

tabel D.1 : Brielse Gat

raai	jaar	P	TV	Ac	Haring	v.d Kreeke en Haring	Gerritsen en de Jong	v.d. Berg
Raai 1	1970			5252				
	1990	3347675	6695350	2663	272	275	-296	111
	1991	3461500	6923000	2620	282	284	-287	120
	1992	3494625	6989250	2421	284	287	-285	123
	1993	3538825	7077650	2645	288	290	-281	126
	1994	3419400	6838800	1964	278	280	-291	116
	1995	3359800	6719600	2081	273	276	-295	112
Raai 2	1970			8973				
	1990	9718775	19437550	5364	791	797	199	633
	1991	9818800	19637600	5126	799	805	207	641
	1992	10424300	20848600	4803	848	855	254	691
	1993	10525450	21050900	4689	856	863	262	699
	1994	9879150	19758300	4194	804	810	212	646
	1995	9772250	19544500	3935	795	801	204	637
r2 20	1970			3166				
	1990	3449400	6898800	2703	281	283	-288	119
	1991	3526725	7053450	2686	287	289	-282	125
	1992	3578275	7156550	2520	291	293	-278	129
	1993	3574975	7149950	2747	291	293	-278	129
	1994	3541375	7082750	2246	288	290	-281	126
	1995	3445325	6890650	2316	280	283	-289	119

tabel D.2 : Gebied voor de sluizen

raai	jaar	P	DV	TV	doorsnede	Haring	v.d Kreeke en Haring	Gerritsen de Jong	v.d. Berg
Raai 4	1970	2,8E+08	2,8E+08	5,6E+08	23031	22781	22960	21222	22796
Totale dr	1990	55930425	66430425	1,12E+08	15365	4550	4586	3794	5283
	1991	55798450	66298450	1,12E+08	14862	4540	4575	3784	5272
	1992	55817650	66317650	1,12E+08	14338	4541	4577	3785	5274
	1993	55747525	66247525	1,11E+08	14184	4536	4571	3780	5268
	1994	55760100	66260100	1,12E+08	14214	4537	4572	3781	5269
	1995	55928412	66428412	1,12E+08	14754	4550	4586	3794	5283
Raai 5	1970	2,65E+08	2,65E+08	5,3E+08	21290	21560	21730	20056	21566
Totale dr	1990	42107475	52607475	84214950	11844	3426	3453	2719	4150
	1991	42014150	52514150	84028300	11377	3418	3445	2711	4142
	1992	42120075	52620075	84240150	10881	3427	3454	2720	4151
	1993	42101575	52601575	84203150	10824	3425	3452	2718	4149
	1994	42034825	52534825	84069650	11006	3420	3447	2713	4144
	1995	42167837	52667837	84335674	11596	3431	3458	2723	4155
Raai 6	1970	2,4E+08	2,4E+08	4,8E+08	19143	19526	19680	18111	19516
Totale dr	1990	29807850	40307850	59615700	11536	2425	2444	1762	3141
	1991	29779825	40279825	59559650	11251	2423	2442	1760	3139
	1992	29830000	40330000	59660000	11020	2427	2446	1764	3143
	1993	29856575	40356575	59713150	10661	2429	2448	1766	3145
	1994	29844975	40344975	59689950	10872	2428	2447	1765	3144
	1995	29894050	40394050	59788100	11226	2432	2451	1769	3148
Ha2 17	1970	2,65E+08	2,65E+08	5,3E+08	19751	21560	21730	20056	21566
Totale dr	1990	40468975	50968975	80937950	11840	3293	3318	2591	4015
	1991	40395425	50895425	80790850	11372	3287	3312	2586	4009
	1992	40523325	51023325	81046650	10646	3297	3323	2595	4020
	1993	40541200	51041200	81082400	10723	3298	3324	2597	4021
	1994	40495850	50995850	80991700	10976	3295	3321	2593	4018
	1995	40613750	51113750	81227500	11805	3304	3330	2602	4027
Haring r1	1959	2,8E+08	2,8E+08	5,6E+08	23143	22781		21222	
r2	1959	2,65E+08	2,65E+08	5,3E+08	21000	21560		20056	
r3	1959	2,4E+08	2,4E+08	4,8E+08	17429	19526		18111	



tabel D.3 : Slijkgat en Rak van Sheelhoek.

raai	jaar	P	DV	TV	doorsnede	Haring	v.d kreeke Haring	Gerritsen de Jong	v.d. Berg
Raai 11	1970	0	0		6455				
Slijkgat	1990	39566725	54566725	79133450	4970	3219	3244	2521	4310
	1991	39441350	54441350	78882700		3209	3234	2511	4300
	1992	39390813	54390813	78781626	4815	3205	3230	2507	4296
	1993	39266325	54266325	78532650	4732	3195	3220	2498	4286
	1994	39243925	54243925	78487850	4397	3193	3218	2496	4284
	1995	39111925	54111925	78223850	4704	3182	3207	2486	4273
r1	1970								
RvScheelh.	1990	19552700	24052700	39105400	4565	1591	1603	964	1808
	1991	19627575	24127575	39255150	4503	1597	1609	970	1814
	1992	19663850	24163850	39327700	4328	1600	1612	973	1817
	1993	19695275	24195275	39390550	4273	1602	1615	975	1820
	1994	19687350	24187350	39374700	4065	1602	1614	975	1819
	1995	19696425	24196425	39392850	4196	1603	1615	975	1820
s2	1970								
Slijkgat	1990	40678200	55675200	81356400	6496	3310	3336	2608	4401
	1991	40456300	55456300	80912600	6493	3292	3317	2590	4383
	1992	40510400	55510400	81020800	6670	3296	3322	2594	4388
	1993	40417800	55417800	80835600	6343	3288	3314	2587	4380
	1994	40367675	55367675	80735350	5945	3284	3310	2583	4376
	1995	40421700	55421700	80843400	5929	3289	3315	2588	4381
S2 Eysink	198*	70000000	70000000	1,4E+08	9000	5695	5740	4888	5576
r1 Eysink	198*	16750000	16750000	33500000	7000	1363	1374	746	1210
s2 Eysink	1970	1,55E+08	1,55E+08	3,1E+08	10000	12611	12710	11500	12546
r1 Eysink	1970	1,2E+08	1,2E+08	2,4E+08	8000	9763	9840	8777	9676



## Bijlage E : Gebruikte randvoorwaarden voor ASMITA berekeningen

tabel E.1 : model van het Brielse Gat.

Alternatief	getijslag (m)
huidige situatie	2,23
Maasvlakte 2 zuid	2,58
Maasvlakte 2 noord	2,43
Maasvlakte 2 noord + getemd getij	2,32
Maasvlakte 2 zuid + getemd getij	2,38

tabel E.2 : model van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam.

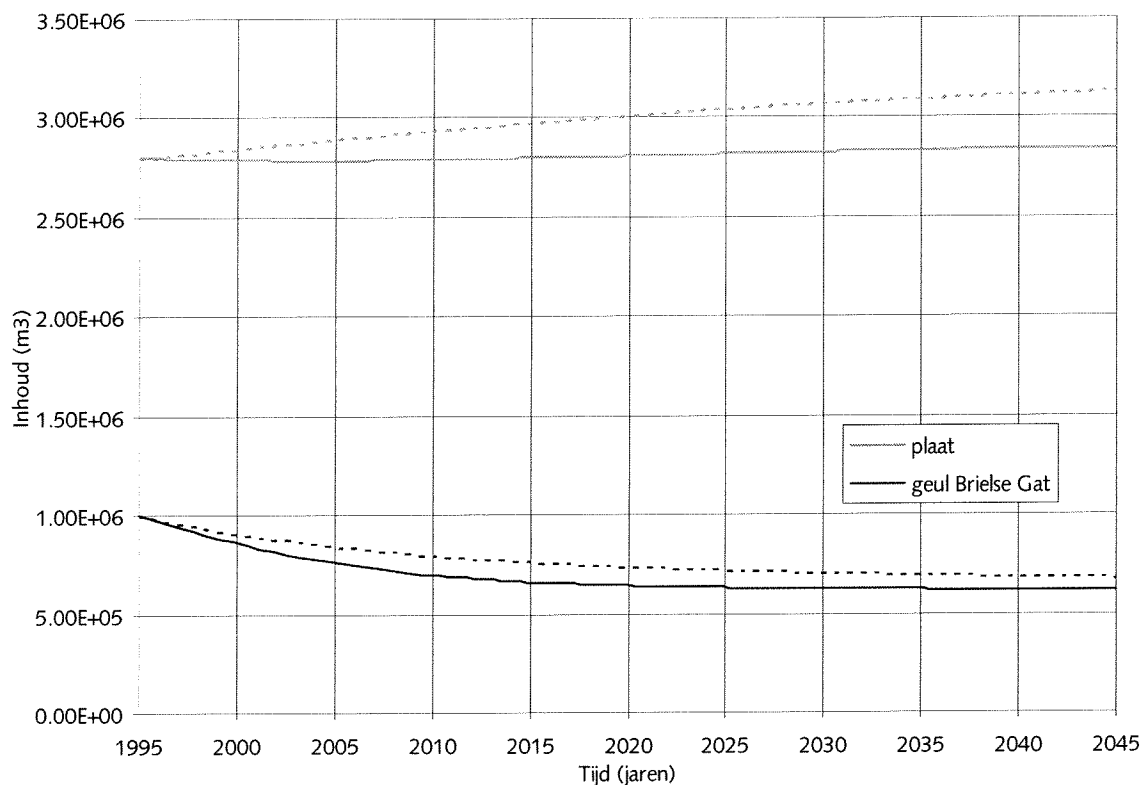
Alternatief	getijslag (m)
huidige situatie	2,23
Maasvlakte 2 zuid	2,58
Maasvlakte 2 noord	2,43
Maasvlakte 2 noord + getemd getij	2,32
Maasvlakte 2 zuid + getemd getij	2,38

tabel E.3 : model van het gebied voor de sluisen.

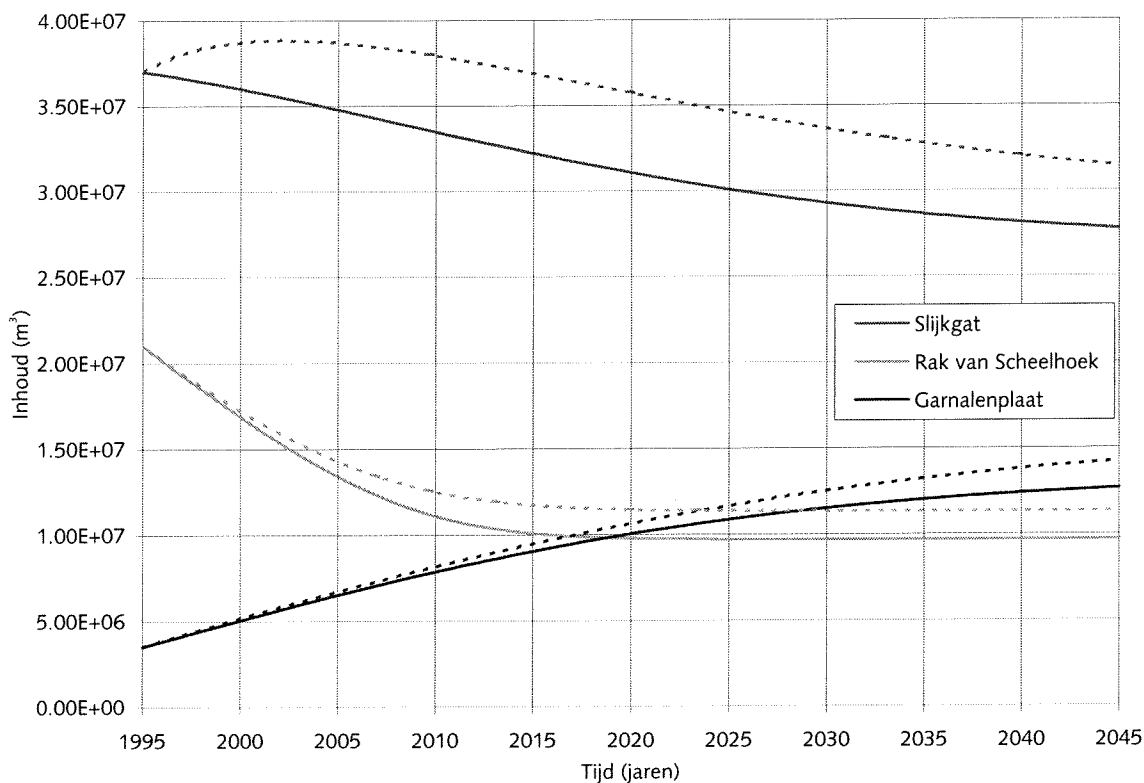
Alternatief	getijslag (m)	Afvoer door Slijkgat (mln m <sup>3</sup> )	Afvoer door Rak van Scheelhoek (mln m <sup>3</sup> )
huidige situatie	2,30	30	9
Maasvlakte 2 zuid	2,50	30	9
Maasvlakte 2 noord	2,50	30	9
gebroken getij	2,03	51	33
getemd getij	1,44	110	68
stormvloedkering	1,75	170	100
Maasvlakte 2 noord + getemd getij	1,35	110	68
Maasvlakte 2 zuid + getemd getij	1,40	110	68



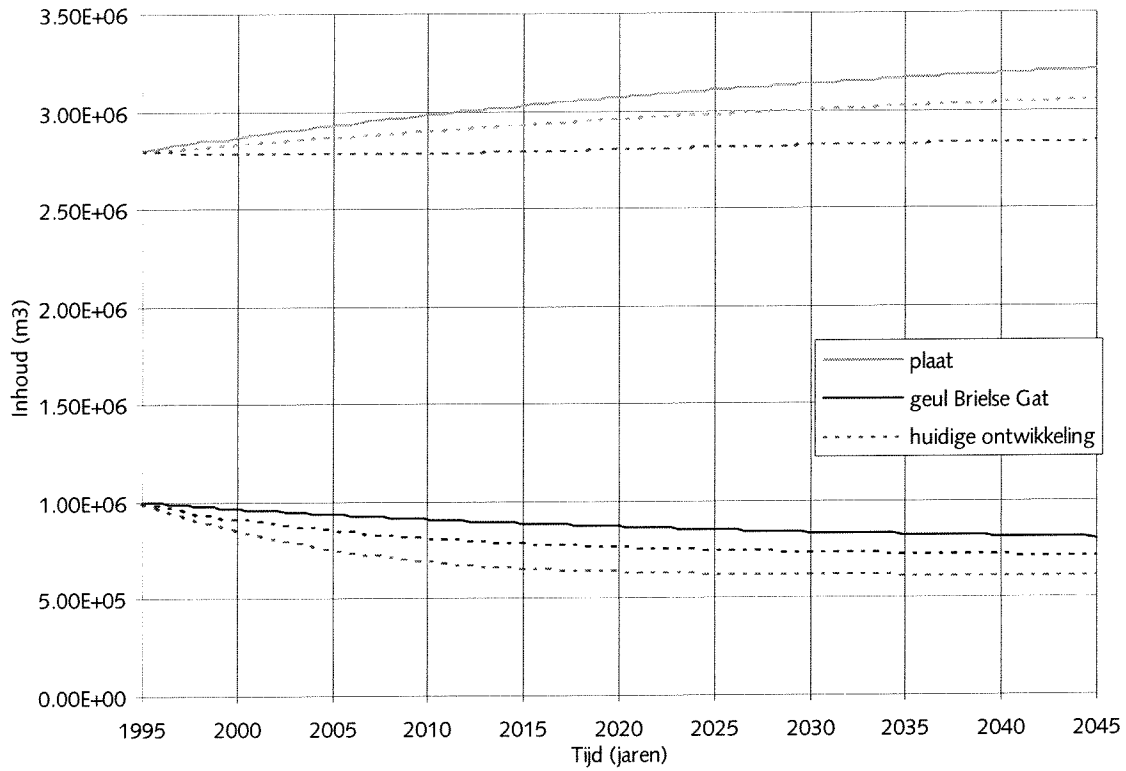
figuur 8.4 : Ontwikkeling van het Brielse Gat zonder ingrepen, volgens de gemeten getijslag (—) en volgens de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----).



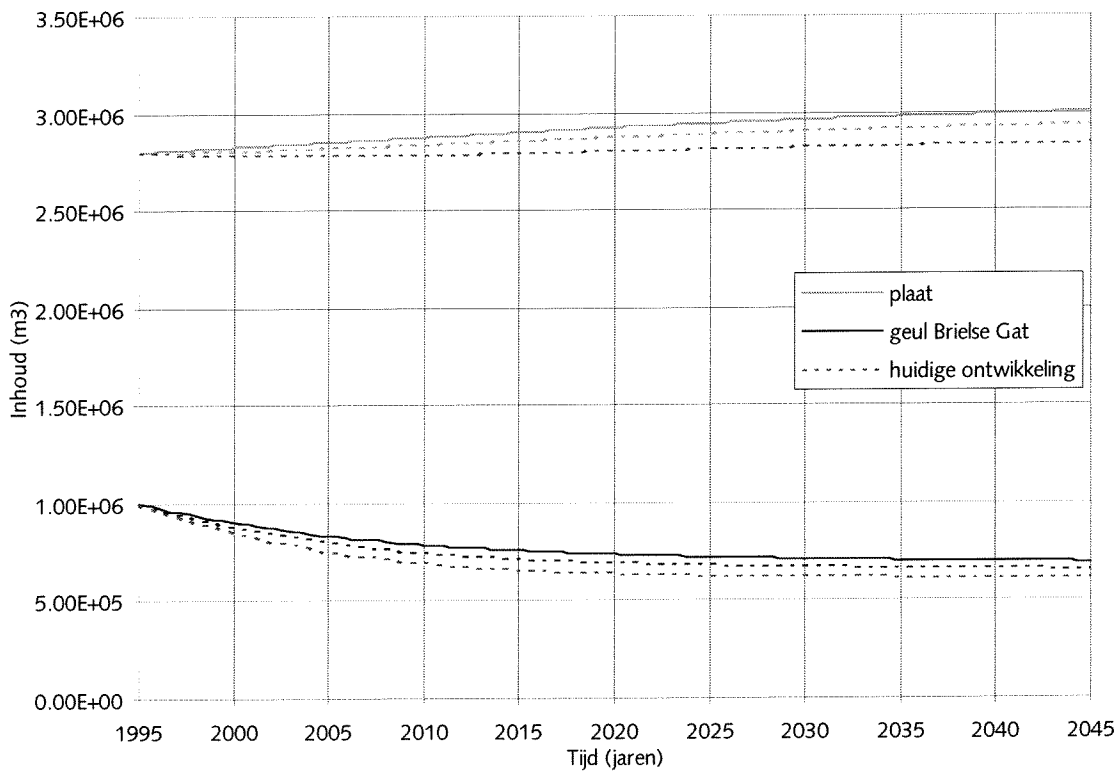
figuur 8.5 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek zonder ingrepen bij de gemeten getijslag(—) en de getijslag berekend in de Maasvlakte 2 studie (----).



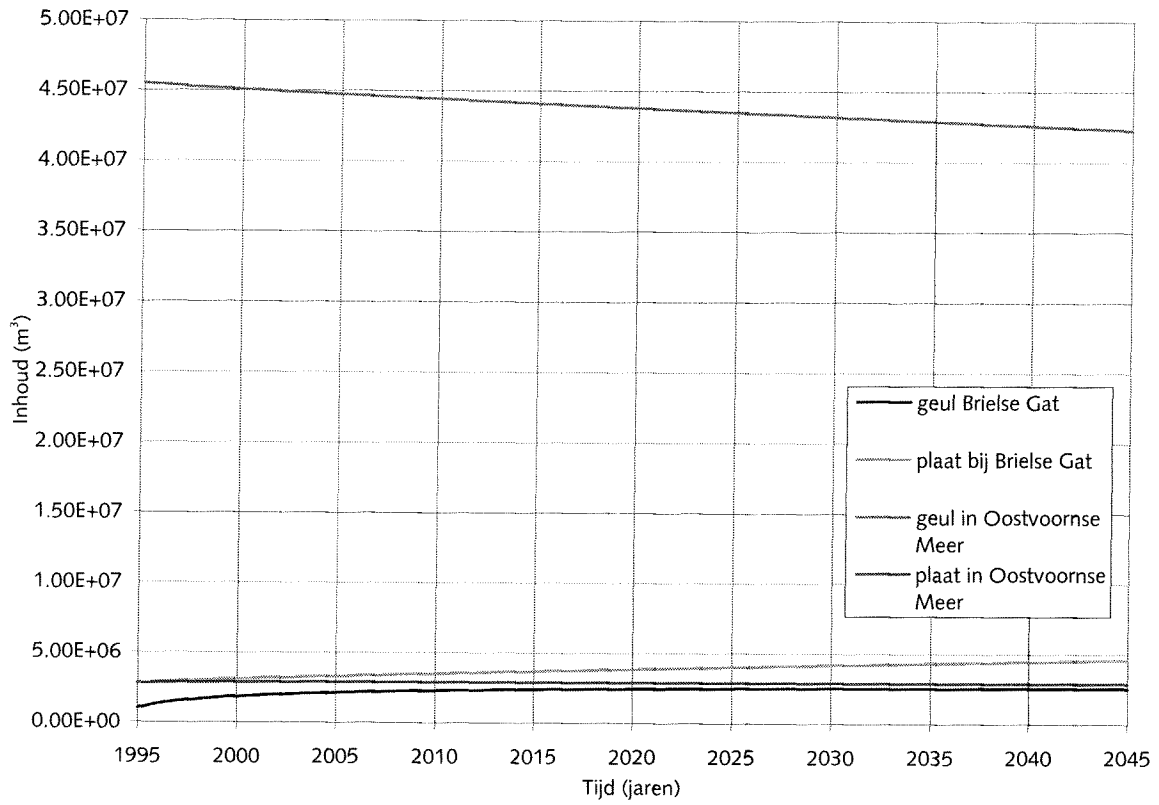
figuur 8.6 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij noordelijke (---) en zuidelijke (\_\_\_) uitbreidingsvariant van de Maasvlakte.



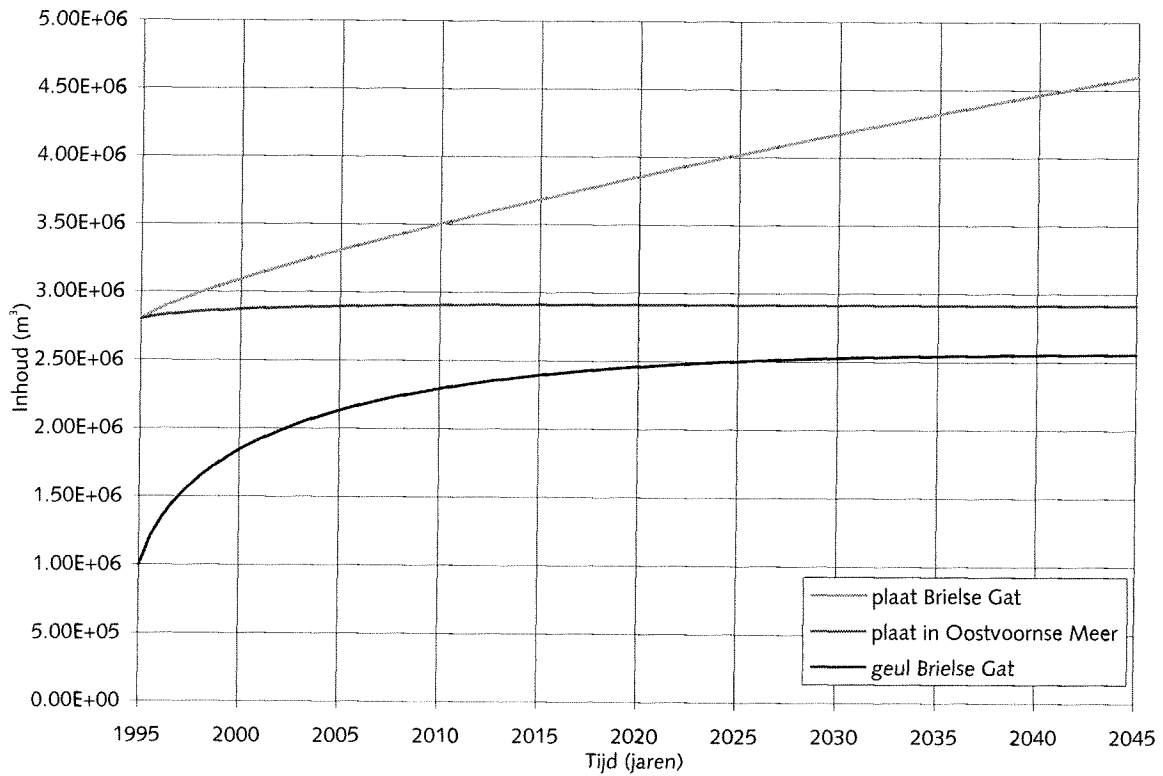
figuur 8.7 : Ontwikkeling van het Brielse Gat bij een noordelijke (---) en een zuidelijke (\_\_\_) uitbreiding van de Maasvlakte in combinatie met het getemd getij alternatief.



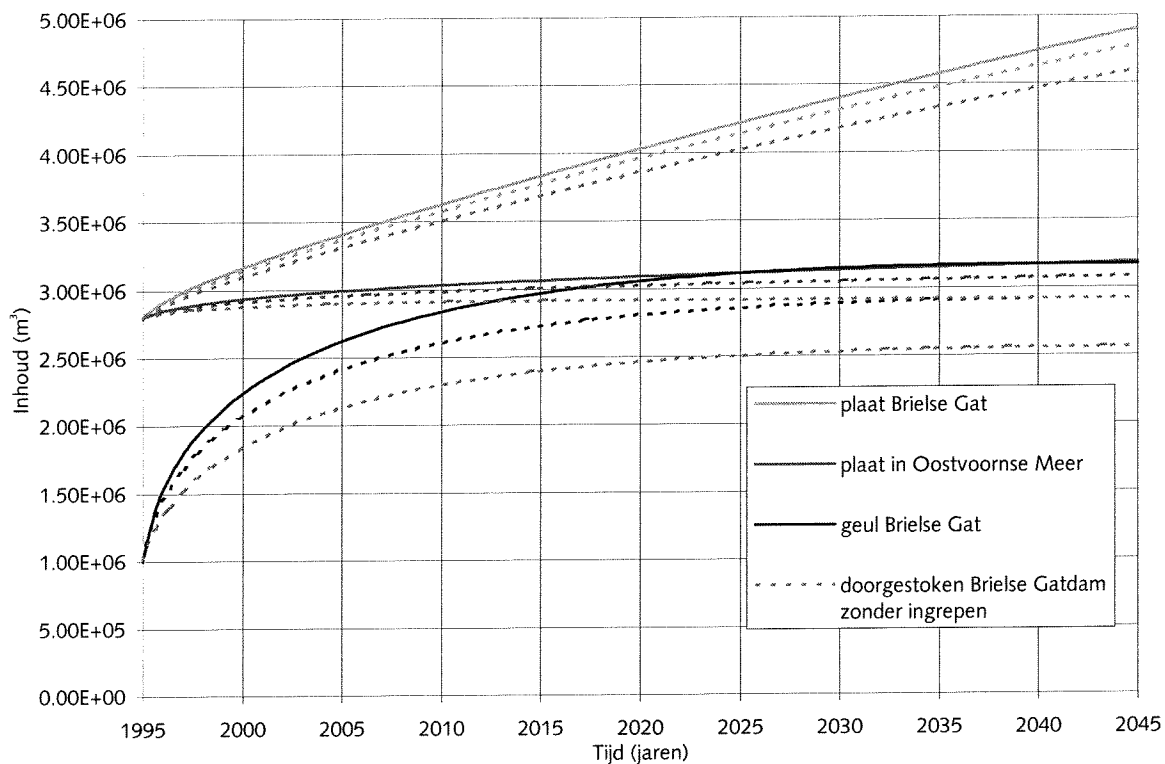
figuur 8.8 : Ontwikkeling van het Brielse Gat en Oostvoornse Meer met doorgestoken Brielse Gatdam.



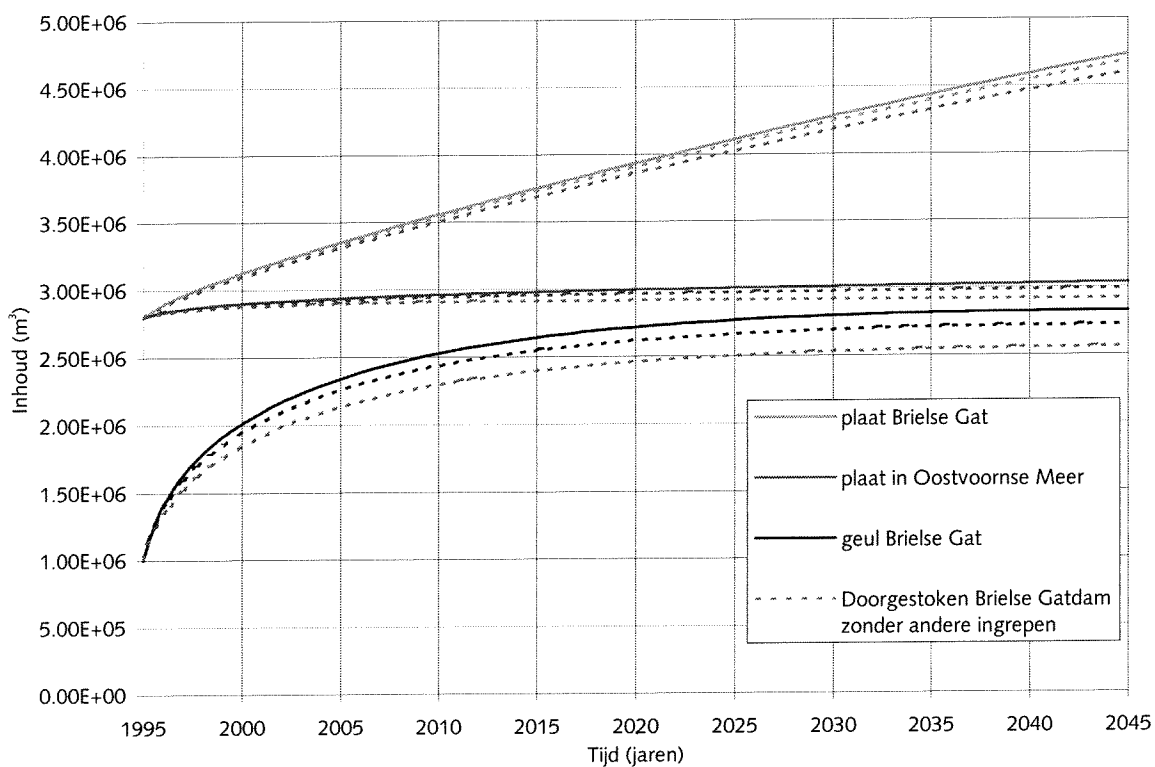
figuur 8.9 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam.



figuur 8.10 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam en een zuidelijke (\_\_\_\_) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte.

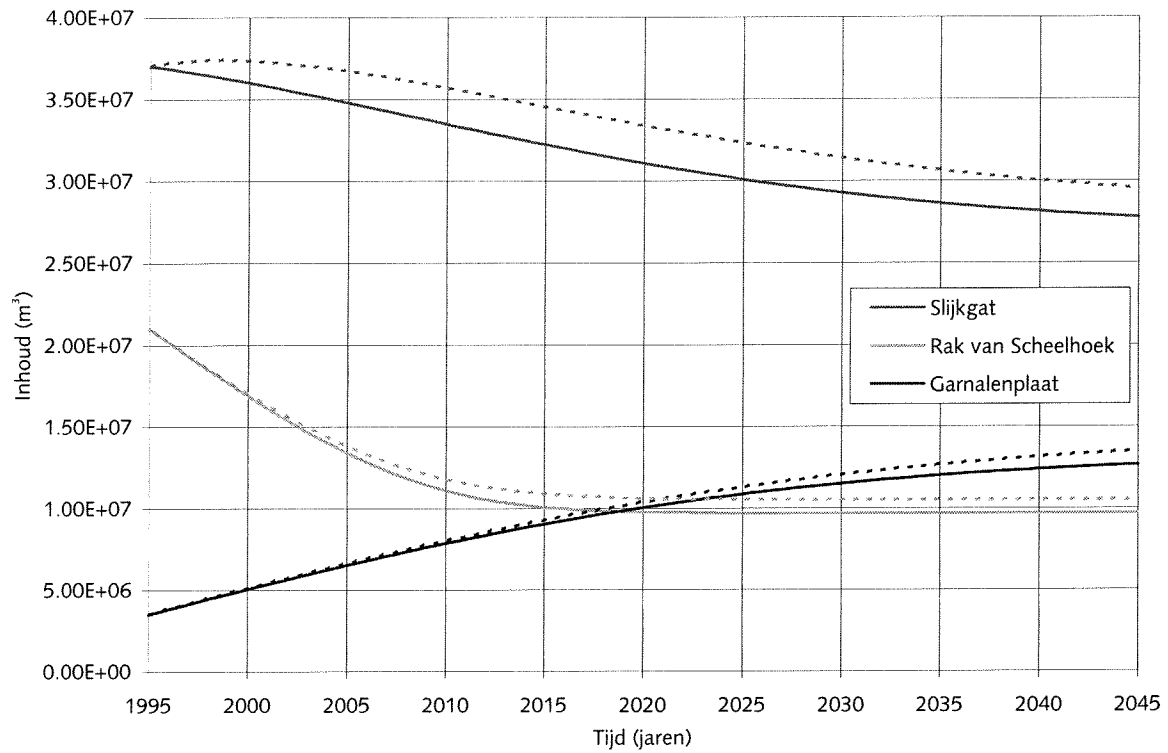


figuur 8.11 : Ontwikkeling van het Brielse Gat met doorgestoken Brielse Gatdam met een combinatie van een zuidelijke (\_\_\_\_) of noordelijke (----) uitbreiding van de Maasvlakte en het getemd getij alternatief van de Haringvlietssluisen.

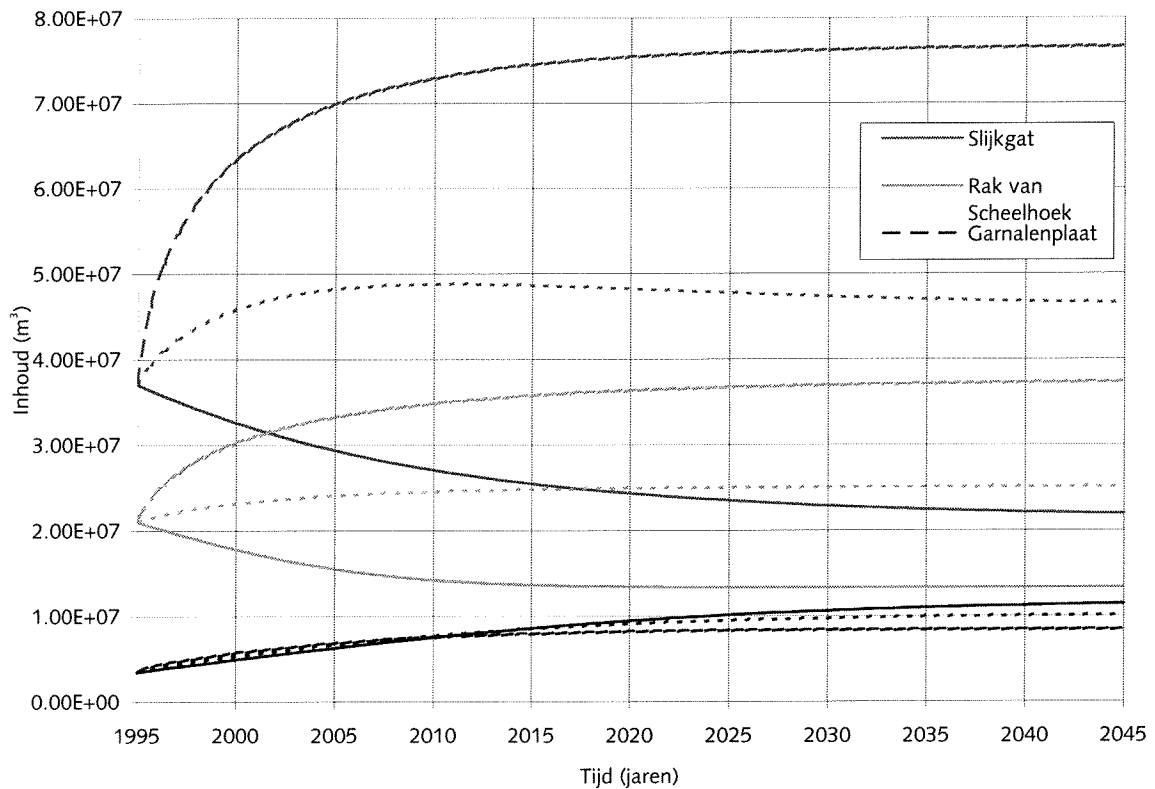




figuur 8.12 : Huidige ontwikkeling van het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat (—) en de ontwikkelingen als gevolg van een zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte (-----).



figuur 8.13 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek als gevolg van de drie alternatieven : stormvloedkering (— — —), getemd getij (---) en gebroken getij (—).



figuur 8.14 : Ontwikkeling van het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek bij zuidelijke uitbreiding van de Maasvlakte en het alternatief getemd getij.

