



Het gedrag van drempels in de Westerschelde
Parameterisatie

maart 1996

drs F.T.G. Tank

Universiteit Utrecht

Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen

Vakgroep Fysische Geografie

Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek (IMAU)

IMAU Rapport 96-08

Rapport voor Rijkswaterstaat Directie Zeeland en
het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Project DREMPELS & project VERDIEP

Voorwoord

Dit onderzoek valt binnen het kader van het project DREMPELS dat weer onderdeel is van het project MOVE (MOnitoring VERdieping). Het project MOVE is in 1995 door Directie Zeeland opgestart om de gevolgen op het systeem van de in 1996 te beginnen '48/'43-verdieping van de Westerschelde te kunnen monitoren en inschatten en zonodig te kunnen ingrijpen. Binnen het RIKZ valt het project DREMPELS binnen het project VERDIEP.

Een deel van het onderzoek binnen het project DREMPELS is door Directie Zeeland uitbesteed aan de Universiteit Utrecht. De uitvoering van en -deels- de begeleiding van het Utrechtse onderzoek vindt plaats bij het RIKZ.

Het onderzoek naar het gedrag van drempels in de Westerschelde gaat uit van de in het project OOSTWEST verkregen inzichten in het fysische systeem in het algemeen en het in 1994 gerapporteerde onderzoek naar drempels door het Ingenieursbureau Svasek in het bijzonder.

De begeleiders ir. A. Langerak (RIKZ) en dr. J.H. Van den Berg (UU) wil ik, evenals drs. A. Van Kleef, ir. P. Sistermans (beiden Directie Zeeland), dr. ir. J. Van de Graaff (TUD), drs. S. Huijs (UU), drs. C. Storm, drs. L.A. Uit den Bogaard en drs. H. Verbeek (allen RIKZ), bedanken voor hun adviezen, commentaar en prettige samenwerking.

Middelburg, maart 1996

Inhoud

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Lijst van bijlagen

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Resultaten voorgaand onderzoek	1
1.3	Doel parameterisatie	3
2	Empirische relaties tussen de geulparameters en de waterbeweging en de geulparameters onderling: een literatuurstudie	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Morfologische relaties in rivieren	5
2.3	Morfologische relaties in estuaria en getijdebekkens	10
2.4	Morfologische relaties op 'crossings' in rivieren	20
2.5	Conclusies	24
3	Empirische relaties in de Westerschelde	25
3.1	Inleiding	25
3.2	Werkwijze en definities	25
3.3	Resultaten	27
3.4	Conclusies	38
4	Verband tussen geulparameters en getijparameters op en rondom drempels in de periode 1960 - 1992	41
4.1	Inleiding	41
4.2	Definities en methode	42
4.2.1	Geulparameters	42
4.2.2	Getijparameters	43
4.2.3	Methode	45
4.3	Beschrijving en synthese	45
4.3.1	Inleiding	45
4.3.2	Drempel van Bath	45
4.3.2	Drempel van Valkenisse	48
4.4	Discussie	54
4.5	Conclusies	55
5	Conclusies	57
	Literatuur	59

Lijst van figuren

- Figuur 1.1 Westerschelde. Belangrijke drempels
- Figuur 2.1 Definitie geulparameters: horizontale en verticale geometrie
- Figuur 2.2 Relatie tussen meanderlengte en het dominerende debiet voor rivieren (bron: Ackers en Charlton, 1970a)
- Figuur 2.3 Relatie tussen bochtstraal, geuloppervlak en waterdiepte voor rivieren en stroomgoten (bron: Williams, 1986)
- Figuur 2.4 Relatie tussen waterdiepte (h) en geulbreedte (B) en 'bankfull discharge' voor de vlechtende rivier de Jamuna, Bangladesh (bron: Klaassen en Vermeer, 1986)
- Figuur 2.5 Relatie tussen meanderlengte en het dominerende debiet voor de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)
- Figuur 2.6 Relatie tussen meanderlengte en het dominante debiet voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.7 Relatie tussen meanderlengte en geuloppervlak onder NAP 0 m voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.8 Relatie tussen meanderlengte en bochtstraal voor de Waddenzee en de Oosterschelde (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.9 Relatie tussen bochtstraal en maximaal debiet voor de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)
- Figuur 2.10 Relatie tussen bochtstraal en maximaal debiet voor de Ooster- en Westerschelde (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.11 Relatie tussen bochtstraal en geuloppervlak voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.12 Relatie tussen dominant getijvolume en geuloppervlak in de Westerschelde (bron: Blik en Ruijter, 1994)
- Figuur 2.13 Relatie tussen maximale de guldiepte en -breedte en het maximaal debiet in de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)
- Figuur 2.14 Relaties tussen parameters voor rivieren en estuaria
- Figuur 2.15 Optimale bochtstraal/geulbreedte-ratio voor een gegeven geulbreedte in een rivier en een estuariumgeul
- Figuur 2.16 Optimale meandergeometrie van de eb- en de vloedstroming en een mogelijk resultaat
- Figuur 2.17 Meanderlengte en de bijbehorende bochtstraal voor rivieren en estuaria (Oosterschelde en Waddenzee)
- Figuur 2.18 Meandervormen in de Westerschelde en de Oosterschelde/Waddenzee: bochtstraal bij een gegeven meanderlengte (bron: Berben, 1985)
- Figuur 2.19 Invloed van het variëren van het debiet op het gedrag van de drempels via de meanderlengte in de Westerschelde
- Figuur 2.20 Dwarsdoorsnede van een geul in de Oosterschelde en de opeenvolging van secties met eb- en vloeddominanties dan wel indifferente secties (bron: Goedheer en Misdorp, 1985)
- Figuur 2.21 Relaties tussen het gemiddeld debiet en de gemiddelde diepte in een bocht en een 'crossing' in een meanderende rivier (bron: Ackers, 1982)
- Figuur 2.22 Definitie van morfologische variabelen van een 'crossing' (bron: Winkley, 1989)
- Figuur 2.23 Grafieken met de relaties tussen geulparameters en de 'crossing'-diepten (bron: Winkley, 1989)
- Figuur 3.1 Relatie tussen de geulparameters van de hoofdgeul in de Westerschelde
- Figuur 3.2 Relaties tussen de geulparameters per dwarsprofiel in de hoofdgeul van de Westerschelde
- Figuur 3.3 Relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde
- Figuur 3.4 Relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul (zonder de Drempel van Hansweert) in het midden van de Westerschelde
- Figuur 3.5 Relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) met een gedwongen nulpunt in de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde
- Figuur 4.1 Jaren van de opname van de morfologie en de getijvolumina

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	Empirische relaties in meanderende en vlechtende rivieren tijdens 'bankfull' condities
Tabel 2.2	Empirische relaties in estuaria en getijdebekkens
Tabel 3.1	Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen parameters; gemiddelde waarde per meandersectie
Tabel 3.2	Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen parameters: van het geulprofiel met de laagste B/h-ratio in een meandersectie
Tabel 3.3	Correlatie-coëfficiënten van de geulparameters per profiel in de hoofdgeul van de gehele Westerschelde en van het oostelijk deel van de Westerschelde
Tabel 3.4	Correlatie-coëfficiënten van geulparameters per profiel in de hoofdgeul van de gehele Westerschelde en van het oostelijk deel van de Westerschelde
Tabel 3.5	Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul van het midden van de Westerschelde
Tabel 4.1	Veranderingen in de geul- en getijparameters tussen 1960 tot 1992 rondom de Drempel van Bath
Tabel 4.2	Veranderingen in de geul- en getijparameters tussen 1960 tot 1992 rondom de Drempel van Valkenisse
Tabel 4.3	Veranderingen in de geul- en getijparameters tussen 1960 tot 1992 rondom de Drempel van Hansweert

Lijst van bijlagen

Bijlage A	Lokaties van de geulprofielen in de Westerschelde. Bodem 1992
Bijlage B	Waarden van de geulparameters
Bijlage C	Relaties tussen de geulparameters in het dwarsprofiel met de minimale B/h-ratio per geul in de Westerschelde
Bijlage D	Lokatie van de dwarsprofielen op en rond de drempels van Bath en Valkenisse en Hansweert in de jaren 1960-61, 1977-78 en 1992.
Bijlage E	Verloop geulparameters op en rond de drempels van Bath en Valkenisse en Hansweert in de jaren 1960-61, 1977-78 en 1992
Bijlage F	Lokatie van de debietraaien in het oosten van de Westerschelde
Bijlage G	Verloop van karakteristieken van de getijvolumina in 5 debietraaien in het oosten van de Westerschelde in de periode 1960 - 1990
Bijlage H	Uitvoerige beschrijving en synthese van de ontwikkeling tussen 1960/61 en 1992 de van de geul- en getijparameters rondom en op de Drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert in het oosten van de Westerschelde

1 Inleiding

1.1 Kader

In dit rapport worden de relaties onderzocht tussen de geulparameters en getijparameters en tussen de geulparameters onderling van de hoofdgeul in de Westerschelde. De aandacht gaat daarbij vooral uit naar de drempels. Drempels zijn natuurlijke ondiepten in de geul op de overgang tussen twee bochten in estuaria en meanderende rivieren. Ook in de Westerschelde -de vaarweg naar de zeehaven van Antwerpen- komen drempels voor (Figuur 1.1). Zij vormen daar een probleem voor de steeds dieper stekende schepen en dienen daarom gebaggerd te worden. De baggerwerkzaamheden, die vooral in het oosten van de Westerschelde geconcentreerd zijn, hebben jaarlijks een omvang van ongeveer 8 Mm³. Met de 48'/43'-verdieping, die naar verwachting in 1996 start, zal deze omvang aanvankelijk bijna verdubbelen en op de lange termijn stabiliseren op 12 à 15 Mm³ per jaar. Deze toename van het bagger- en stortwerk betekent een vergrote ingreep op de fysische structuur van het estuarium met alle gevolgen van dien voor het ecologisch systeem van de Westerschelde.

In het Beleidsplan Westerschelde (Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991) is een lange termijn visie opgesteld waarin men het natuurlijk karakter van de Westerschelde zoveel mogelijk wil behouden zonder dat daarbij de maatschappelijke functies verloren gaan.

Om de druk op het fysisch systeem van de Westerschelde te reduceren worden door de Directie Zeeland van de Rijkswaterstaat beheersalternatieven, die de diepte van een drempel op een min of meer natuurlijke manier verlagen, onderzocht. Hierbij wordt gedacht aan getijvolumevergroting door ontpolderen, morfologisch baggeren en storten of aan het aanleggen van (onderwater-) leidammen om de stroming over een drempel te concentreren. Om de gevolgen van deze alternatieven op de diepte van de drempel juist te kunnen inschatten is kennis nodig over het gedrag van een drempel.

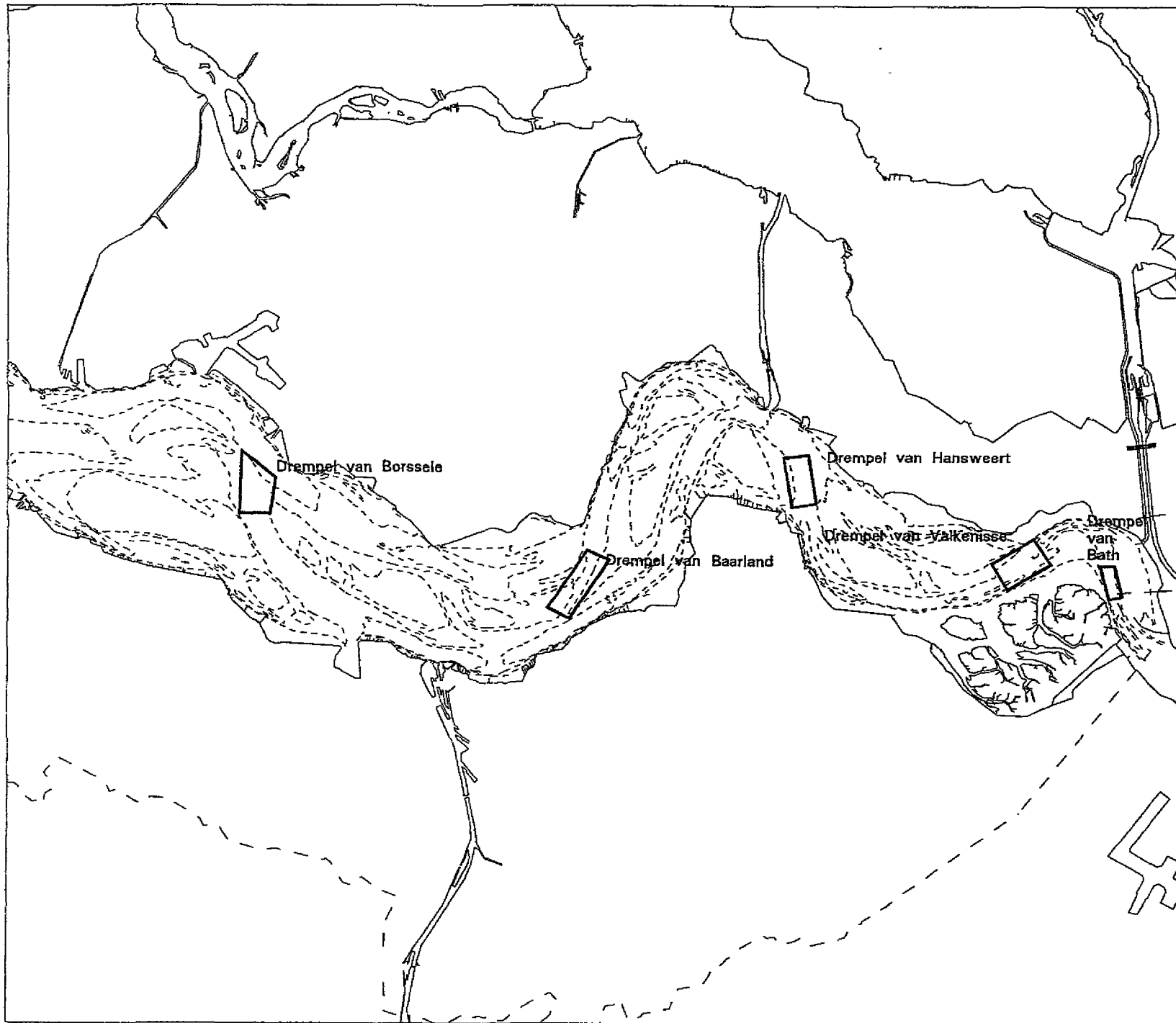
Voorjaar 1995 is Directie Zeeland, in samenwerking met het RIKZ, daarom gestart met een meerjarig onderzoek binnen het project MOVE naar het gedrag van drempels in de Westerschelde.

De doelstelling van het onderzoek naar het gedrag van drempels in de Westerschelde binnen het project MOVE/project DREMPELS luidt:

het verkrijgen van inzicht in de processen die de geometrie van een drempel bepalen, zodanig dat met de verkregen kennis de gevolgen van beheersalternatieven voldoende nauwkeurig afgeschat kunnen worden en nieuwe beheersalternatieven kunnen worden gegenereerd.

1.2 Resultaten voorgaand onderzoek

In de verkennende fase van dit onderzoek, die reeds is afgesloten, is aan de hand van een literatuuronderzoek en beschrijvingen van de morfologische ontwikkeling van een aantal drempels en de waterbeweging over de drempels een drietal drempel-typen in de Westerschelde onderscheiden. Het zijn de volgende typen: 'botsende geulen', 'ontwijkende geulen'- en 'parallele geulen'-drempel (Tank, 1995). Elk der typen wordt gekenmerkt door een karakteristiek geulpatroon en bijbehorende waterbeweging. Alle drempels in de Westerschelde waren in de jaren '50 van deze eeuw van het 'botsende geulen'-type maar zijn sindsdien overgegaan naar een van de andere typen. Verder is in de verkennende fase van het drempelonderzoek een aantal hypothesen opgesteld over het gedrag van drempels. Deze hypothesen zullen met behulp van fysische metingen op de Drempel van



Westerschelde

Belangrijke drempels

Schaal: 1:225.000

Oostwest * MOVE



Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee

Hansweert najaar 1995 en voorjaar 1996 worden getoetst.

1.3 Doel parameterisatie

Het doel van het hier gepresenteerde onderzoek is tot een groter inzicht te komen in het gedrag van drempels in de hoofdgeul van de Westerschelde.

Hiertoe is er een literatuurstudie en een parameterisatie van de geulen rondom drempels uitgevoerd. De literatuurstudie betreft een inventarisatie van de relaties tussen geulparameters en de waterbeweging en tussen geulparameters onderling in rivieren en estuaria. De parameterisatie houdt het opstellen van soortgelijke relaties in de Westerschelde in. Tevens is er een verband gezocht tussen de ontwikkeling tussen 1960 en 1992 van de geulparameters rond de drie oostelijke drempels in de Westerschelde en de ontwikkeling van het getij in dezelfde periode.

Het onderzoek wordt geleid door de volgende onderzoeksvragen:

- Welke relaties tussen de waterbeweging en de morfologie en tussen morfologische variabelen onderling in rivieren en in estuaria zijn er te vinden in de literatuur?
- In hoeverre gaan de relaties uit de rivierkunde op in een estuarium zoals bijvoorbeeld de Westerschelde?
- Hoe zijn die relaties tussen morfologische kenmerken in geulen en hoe op drempels?
- Wat zeggen deze relaties over de processen die spelen?
- Hoe is de geulvorm in de loop van de tijd veranderd op en rondom de drempels? Is er een relatie met de veranderingen van het getijvolume? Wat is bijvoorbeeld de invloed van de veranderende dominantie en de debietverdeling tussen de geulen op de geulparameters?
- Welke processen spelen een rol bij de veranderingen in de geulparameters?
- In hoeverre komen de ontwikkelingen van de morfologie en de waterbeweging overeen met de overgang tussen de verschillende drempeltypen?
- Welke consequenties heeft dit voor het inzicht in het gedrag van de drempels?

In hoofdstuk 2 worden empirische relaties tussen geulparameters en de waterbeweging en tussen geulparameters onderling uit de literatuur geïnventariseerd. Soortgelijke relaties worden vervolgens opgesteld voor de Westerschelde in hoofdstuk 3. Daarna volgt in hoofdstuk 4 de relatie tussen de ontwikkeling in de tijd van de geulparameters rondom de drie oostelijke drempels in de Westerschelde met het getij. In hoofdstuk 5 volgen tenslotte de conclusies.

2 Empirische relaties tussen de geulparameters en de waterbeweging en de geulparameters onderling: een literatuurstudie

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een aantal empirische relaties tussen de waterbeweging en de geulparameters en tussen geulparameters onderling die bekend zijn voor rivieren en estuaria geïnventariseerd en geïnterpreteerd. De empirische relaties voor meanderende rivieren zijn volgens de literatuur grondig onderzocht en er blijken veelal sterke verbanden te zijn. Soortgelijke relaties zijn voor estuaria nauwelijks bekend. Wat er wel bekend is, is beperkt tot slechts enkele estuaria.

De hoofdgeul in de Westerschelde komt het meest overeen met de geul van een meanderende rivier. Op deze hoofdgeul zijn waarschijnlijk de empirische relaties tussen de waterbeweging en geulparameters en tussen de geulparameters onderling uit de rivierkunde van toepassing. De relaties zullen naar alle waarschijnlijkheid minder van toepassing zijn op vloedscharen en drempelgebieden.

In rivieren worden duidelijke relaties gevonden tussen het debiet en geulvorm-parameters, zoals het oppervlak van het dwarsprofiel en meanderlengte. Het debiet in rivieren dat geacht wordt maatgevend te zijn voor deze geulvormparameters is het dominant debiet. Het dominant debiet wordt verondersteld een even groot effect te hebben als een reeks van debieten die de vorm, de omvang en het sedimenttransport in een geul bepalen (Van den Berg, 1995). Een goede benadering van het dominante debiet wordt veelal de 'bankfull discharge' verondersteld te zijn (Ackers en Charlton, 1970a; Ackers, 1982; Van den Berg, 1995). Dit is het debiet dat een rivier verwerkt als de rivier tot de rand toe gevuld is. Tijdens 'bankfull discharge' is de stromingsweerstand minimaal omdat bij deze waterstanden de rivier zijn minimale breedte/diepte-ratio heeft (Van den Berg, 1995) en de rivier het meest effectief water en sediment kan transporteren (Petts en Foster, 1985 in: Van den Berg, 1995). De frequentie waarmee 'bankfull discharge' optreedt kan per rivier sterk verschillen, maar het gemiddelde is één keer in de 1.5 à 2 jaar.

In de Westerschelde is het 'dominant' debiet het debiet dat optreedt bij een getij tussen gemiddeld getij en een gemiddeld springtij in. Dit wordt ook wel het morfologisch maatgevend getij genoemd. Het morfologisch maatgevend getij heeft een getij-factor van 1.08 in de Oosterschelde (Collard, 1985). Omdat de grootschalige morfologie van de Oosterschelde veel op die in de Westerschelde lijkt, is het waarschijnlijk dat het maatgevend morfologisch getij voor de Westerschelde ook een getij-factor heeft van circa 1.08. De getij-factor wordt gerelateerd aan het jaargemiddelde getij van het meest nabijgelegen getijstation. De getijfactor wordt berekend door de ratio te nemen van het opgetreden getijverschil en jaargemiddelde getijverschil.

Hieronder volgt eerst een literatuurinventarisatie van een aantal empirische relaties tussen geulparameters en de waterbeweging en tussen geulparameters onderling. Deze relaties zijn opgesteld voor geulen in rivieren en estuaria. Vervolgens komen empirische relaties op drempels uit de rivierkunde aan de orde.

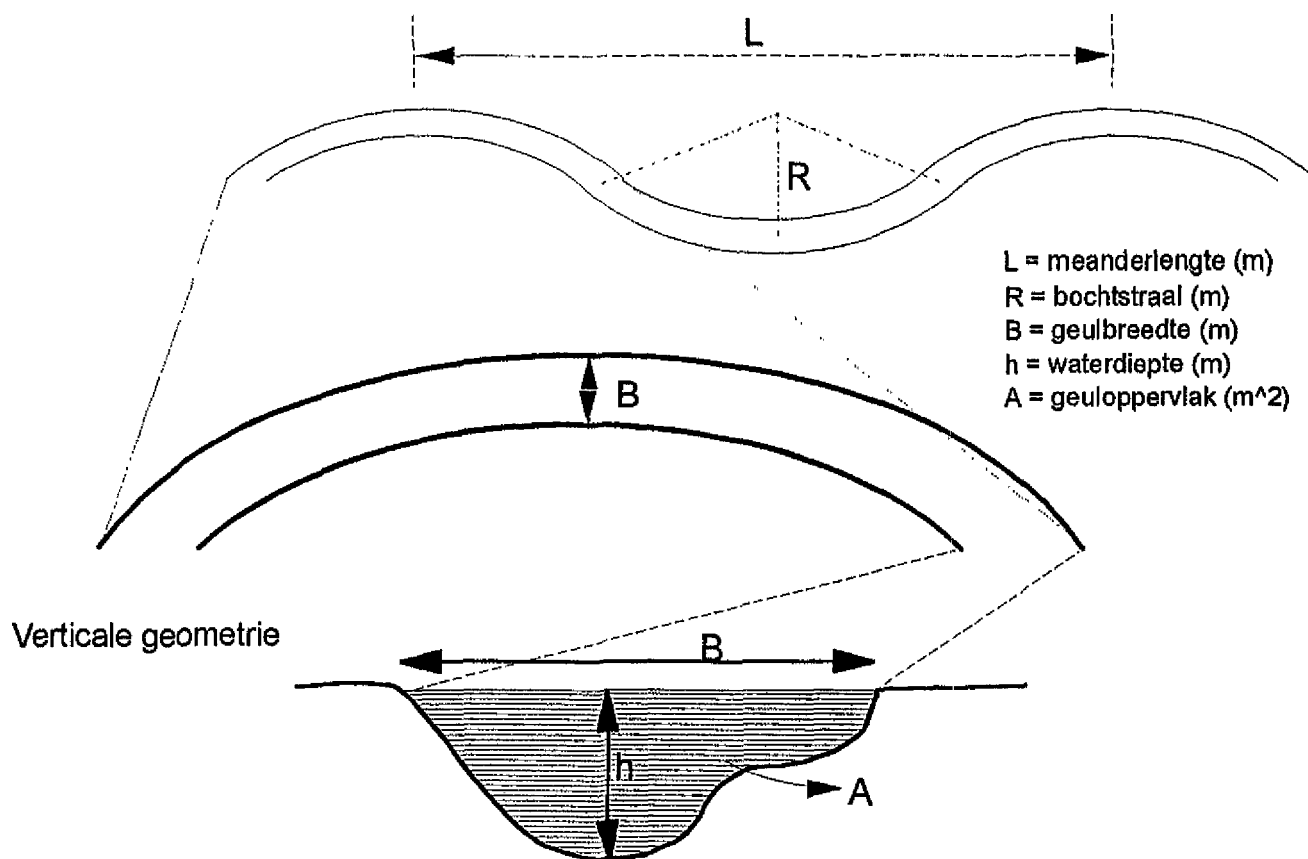
In hoofdstuk 3 worden soortgelijke relaties voor de Westerschelde opgesteld.

2.2 Morfologische relaties in rivieren

Tabel 2.1 geeft een aantal empirische relaties die geldig zijn voor meanderende en vlechtende rivieren. Deze relaties zijn opgesteld voor situaties tijdens 'bankfull discharge', de dominante afvoer in rivieren. Dit betekent dat geulparameters als waterdiepte en geulbreedte gemeten zijn op 'bankfull' niveau. In figuur 2.1 staan de hier

gebruikte geulparameters gedefinieerd.

Horizontale geometrie



Figuur 2.1 Definitie geulparameters

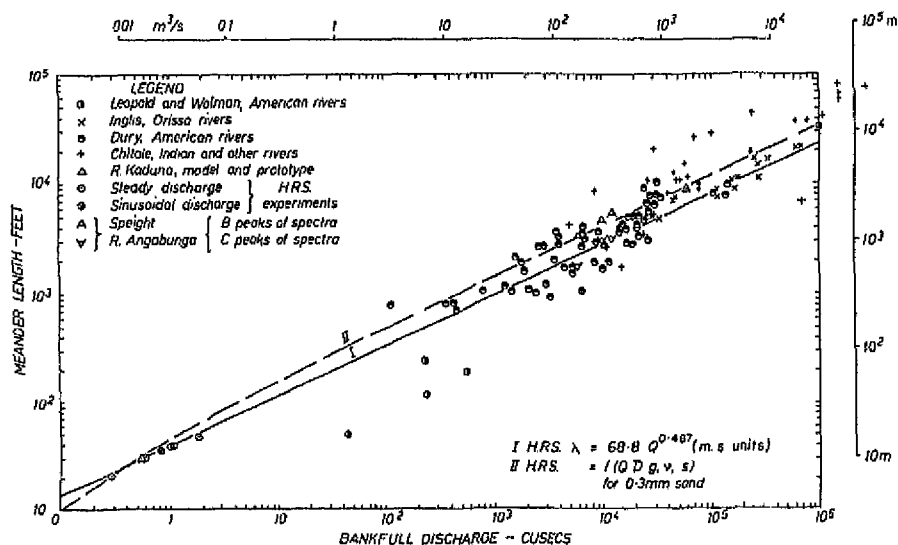
Behalve van het debiet, zoals blijkt uit vergelijking 1 in tabel 2.1, hangt de meanderlengte in een rivier ook af van de korrelgrootte en helling in de lengterichting (Ackers, 1982). De mediane korrelgrootte in de Westerschelde neemt van oost naar west in de Westerschelde toe van circa $150 \mu m$ tot circa $200 \mu m$ en kan lokaal sterk variëren. De langshelling van het wateroppervlak in de Westerschelde wisselt sterk in grootte en, anders dan in rivieren, ook in richting. De gemiddelde waterstand in de Westerschelde tussen de Belgische-Nederlandse grens en Vlissingen is vrijwel 0 en daarmee te verwaarlozen.

In rivieren zijn duidelijke verbanden gevonden tussen het debiet en de diepte van een geul. Daarbij bleek er een aanzienlijk verschil te bestaan tussen meanderende en rechte rivieren: de gemiddelde diepte in een meanderende rivier is circa 70 % groter en de gemiddelde breedte circa 100 % groter dan in een rechte rivier (Ackers, 1982). De relaties in tabel 2.1 zijn gebaseerd op tussen de 28 en de 191 waarnemingen. De relaties zijn -in zoverre bekend- sterk. Alle parameters hebben een groot bereik en variëren van een kleine schaal in stroomgoten tot een grote schaal van grote rivieren. De dimensies van de hoofdgeul in de Westerschelde vallen binnen het bereik van de parameters in tabel 2.1.

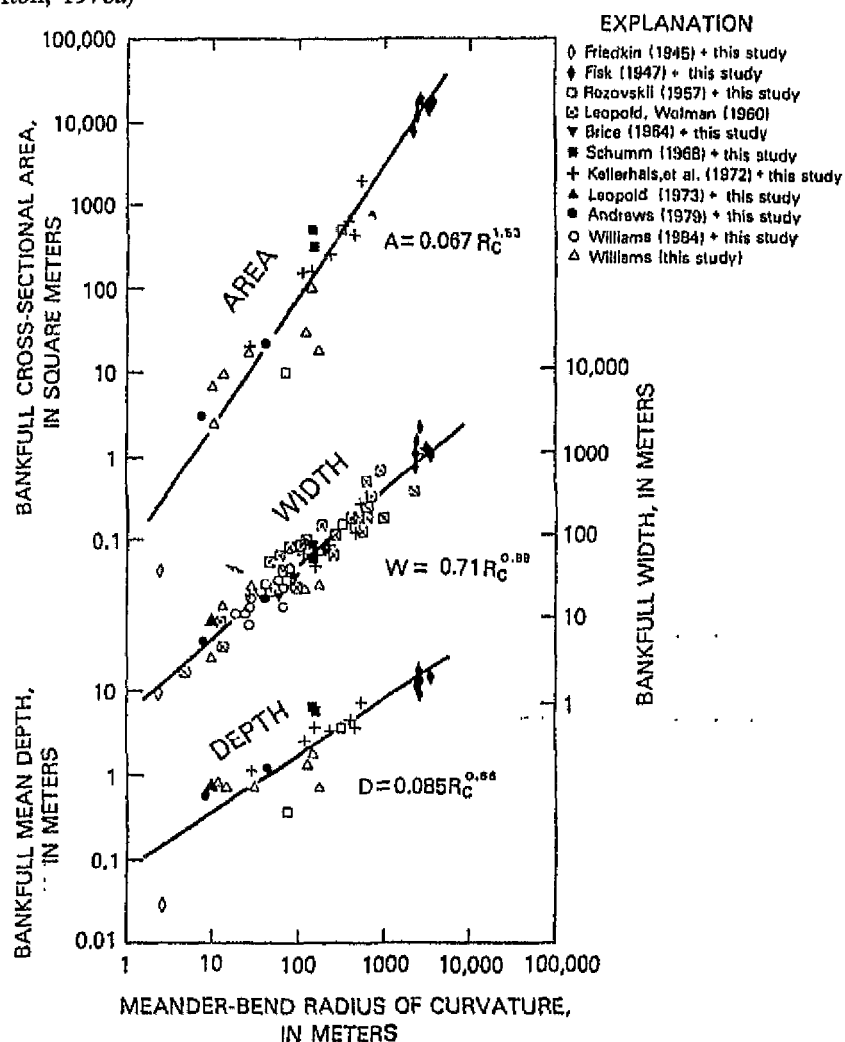
De meeste relaties in tabel 2.1 zijn gebaseerd op meanderende rivieren. Vergelijking 9 en 10 zijn gebaseerd op vlechtende rivieren omdat in de Westerschelde enigszins overeenkomt met een vlechtende rivier.

Nr	Vergelijking	N	Corr.- coëff.	Toepassings- bereik	Waarneming	Bron	Figuur
<i>Meanderende rivieren</i>							
1	$L=68,8 Q_{bf}^{0,467}$	108		$0.0067 < Q_{bf} < 50000 \text{ m}^3/\text{s}$ $1 < L < 50000 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Ackers en Charl- ton, 1970a	2.2
2	$L=30 A^{0,65}$	66	0.96	$0.04 < A < 21000 \text{ m}^2$ $10 < L < 23000 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	
3	$L=7,5 B^{1,12}$	191	0.96	$2 < B < 4000 \text{ m}$ $8 < L < 32200 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	
4	$L=4,59 R^{0,98}$	78	0.99	$10 < L < 16500 \text{ m}$ $2,6 < R < 3600 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	
5	$A=0,067 R^{1,53}$	28	0.97	$2 < A < 12000 \text{ m}^2$ $2 < R < 3600 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	2.3
6	$h=0,085 R^{0,66}$	28	0.90	$0.03 < h < 17,6 \text{ m}$ $2,6 < R < 3600 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	2.3
7	$R=2,5 B$	79	0.97	$2,6 < R < 3600 \text{ m}$ $1,4 < B < 2000 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Leopold en Wol- man, 1960 in: Williams, 1986	
8	$\bar{h}=0,12 B^{0,69}$	67	0.81	$0.03 < h < 18 \text{ m}$ $1,5 < B < 4000 \text{ m}$	stroomgoten en rivieren	Williams, 1986	
<i>Vlechtende rivieren</i>							
9	$\bar{h}=0,23 Q_{bf}^{0,32}$	ca. 70		$1 < h < 12 \text{ m}$ $2000 < Q_{bf} < 45000 \text{ m}^3/\text{s}$	Jamuna, Bangla- desh	Klaassen en Ver- meer, 1988	2.4
10	$B=16,1 Q_{bf}^{0,53}$	ca. 70		$600 < B < 6000 \text{ m}$ $2000 < Q_{bf} < 45000 \text{ m}^3/\text{s}$	Jamuna, Bangla- desh	Klaassen en Ver- meer, 1988	2.4

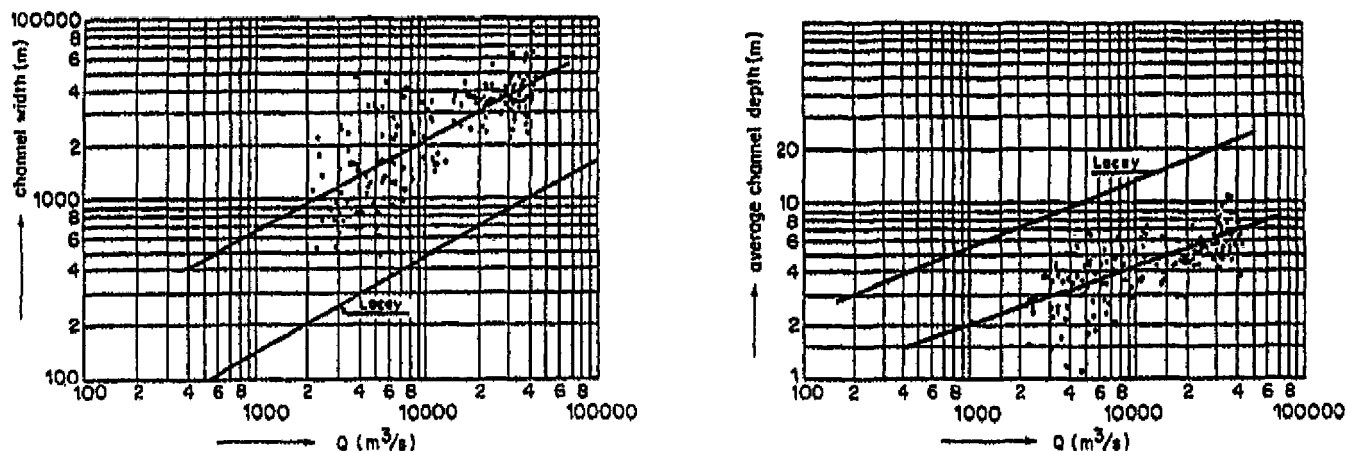
Tabel 2.1 Empirische relaties in meanderende en vlechtende rivieren tijdens 'bankfull' condities. Waarin: L = meanderlengte; Q_{bf} = 'bankfull' debiet; A = geuloppervlak onder 'bankfull' niveau; R = bochtstraal; h = gemiddelde waterdiepte; B = geulbreedte



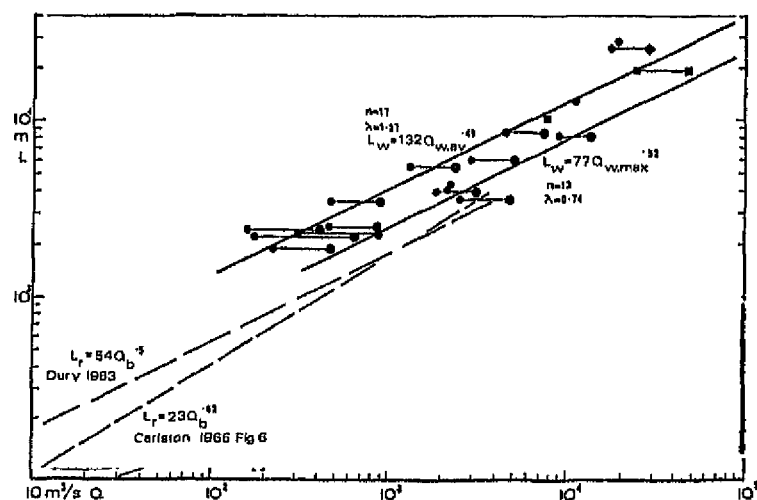
Figuur 2.2 Relatie tussen meanderlengte en het dominerende debiet voor rivieren (bron: Ackers en Charlton, 1970a)



Figuur 2.3 Relatie tussen bochtstraal, geuloppervlak en waterdiepte voor rivieren en stroomgoten (bron: Williams, 1986)



Figuur 2.4 Relatie tussen waterdiepte (h) en geulbreedte (B) en 'bankfull discharge' voor de vlechtende rivier de Jamuna, Bangladesh (bron: Klaassen en Vermeer, 1986)



Figuur 2.5 Relatie tussen meanderlengte en het dominerende debiet voor de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)

Uit tabel 2.1 zijn de volgende zaken naar voren gekomen:

1. Alle relaties in tabel 2.1 zijn positief en dat houdt in dat een toename van de ene parameter een toename van de andere parameter inhoudt. Een toename in rivieren van het 'bankfull' debiet houdt een toename in van het geuloppervlak -en dus ook de geulbreedte en de waterdiepte- en ook van de meanderlengte en de bochtstraal.
2. Het debiet bepaalt primair de grootte van het geuloppervlak in een rivier (Richards, 1982). Daarnaast bepaalt het oevermateriaal weer van invloed op de verhouding tussen de waterdiepte en de geulbreedte: in kleiig materiaal is de geul over het algemeen dieper en smaller dan in zandig materiaal. De invloed van het sediment wordt hier niet verder behandeld omdat in de Westerschelde de korrelgrootte van het

sediment min of meer uniform is. Uit vergelijking 9 en 10 is vast te stellen dat bij een toename van het 'bankfull' debiet de geulbreedte sterker toeneemt dan de waterdiepte.

3. De geulbreedte is via de secundaire stroming van invloed op de horizontale geometrie van de geulen doordat de geulbreedte de lengte van de secundaire stroming bepaalt (Yalin, 1971 in: Richards, 1982) en daardoor de afstand tussen drempels en de grootte van de meanderbochten (Richards, 1982). Een toename van de geulbreedte leidt tot een secundaire stroming met een langere lengte en dat heeft een grotere meanderlengte tot gevolg (vergelijking 3). Het debiet is dus indirect, via de geulbreedte, van invloed op de meanderlengte (vergelijking 1).
4. De schaal van een meander is gekoppeld aan de vorm (vergelijking 4): een toename van de bochtstraal leidt tot een grotere meanderlengte en vice versa.
5. De bochtstraal is sterk gekoppeld aan de geulbreedte (vergelijking 7). De minimale ratio tussen R en B die in rivieren voorkomt is 2. Het blijkt als $R/B = 2$ à 3 de weerstand en het energieverlies door de kromming van de bocht geminimaliseerd wordt en de bocht de meest efficiënte vorm heeft (Bagnold, 1960b in: Richards, 1982). Bij een $R/B < 2$ ontstaan tegen de oever neren die als gevolg hebben dat de erosieve kracht tegen de oever van de buitenbocht afneemt. Bij hogere waarden van de R/B-ratio (> 6) is de erosie hoog, en dat heeft weer een afname van de R/B-ratio tot gevolg en bij uiteindelijk een R/B-ratio van circa 2 à 3 stopt de erosie. De R/B-ratio bepaalt dus de erosie-snelheid van riviermeanders (Knighton, 1984).

De relaties tussen geuloppervlak en meanderlengte en bochtstraal (vergelijking 2 en 5) kunnen indirect, via het debiet, verklaard worden. Toename van het debiet leidt tot een groter geuloppervlak en dus tot een toename van de geulbreedte. En de geulbreedte bepaalt weer, zoals al eerder genoemd, de meanderlengte en de bochtstraal.

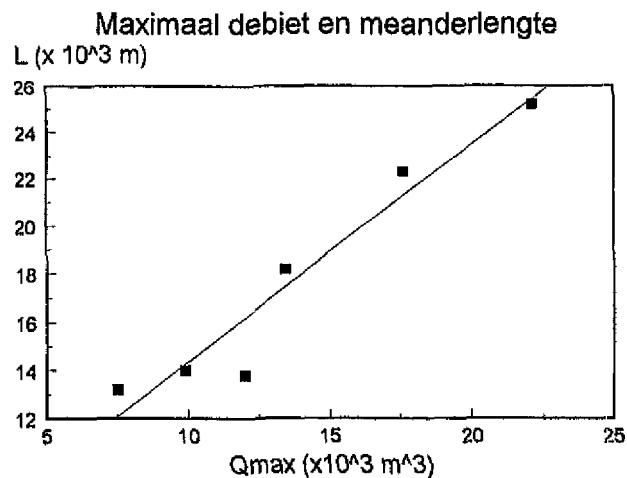
De relatie tussen de waterdiepte en de bochtstraal (vergelijking 8) is relatief zwak. Dit komt omdat de waterdiepte niet zo sterk als de geulbreedte de secundaire stroming beïnvloedt. Ook het verband tussen waterdiepte en geulbreedte is mede daardoor relatief zwak. De geulbreedte, die direct afhankelijk is van het debiet en ook het oevermateriaal, is niet van grote invloed op de waterdiepte.

2.3 Morfologische relaties in estuaria en getijdebekkens

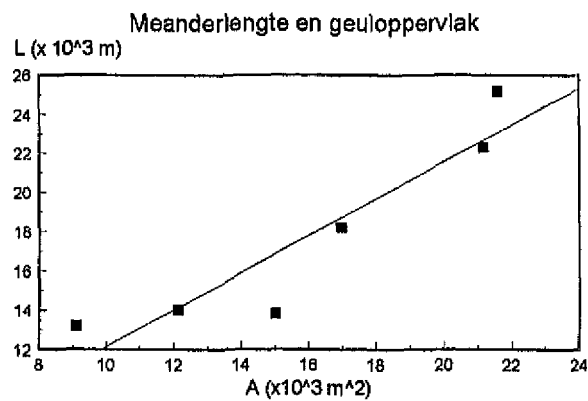
Soortgelijke relaties als voor rivieren in tabel 2.1 zijn ook opgesteld voor estuaria. Ofschoon sommige van deze relaties sterk zijn, is de algemene geldigheid ervan gering. De relaties voor estuaria zijn namelijk gebaseerd op enkele waarnemingen in estuaria en getijgebieden in Nederland. Verder speelt ook een rol dat er debieten gebruikt zijn die onder verschillende omstandigheden (gemiddeld getij, gemiddeld springtij) gemeten zijn (vergelijking 12, 15, 16, 17). Ook is niet altijd geheel duidelijk onder welke getijomstandigheden de debietmetingen zijn verricht. Geen enkele van deze debieten is gemeten tijdens of omgerekend naar het morfologisch maatgevend getij. De invloed hiervan blijkt mogelijk uit vergelijking 16 en 17: de correlatie-coëfficiënt in vergelijking 16 is hoger dan in vergelijking 17. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat vergelijking 16 opgesteld is met debietgegevens die dichter bij het morfologisch maatgevend getij liggen dan vergelijking 17.

Nr	Vergelijking	N	Corr.- coëff.	Toepassings- bereik	Waarneming	Bron	Figuur
11	$L = 77 Q_{\max}^{0.52}$	13		$1000 < L < 12000 \text{ m}$ $100 < Q_{\max} < 13000 \text{ m}^3/\text{s}$	Waddenzee	Geyl, 1976	2.5
12	$L = 0.9 Q_{\max} + 5200$	6	0.97	$13000 < L < 22000 \text{ m}$ $8000 < Q_{\max} < 22000 \text{ m}^3/\text{s}$	Westerschelde, hoofdgeul, gem. springtij	Berben, 1985	2.6
13	$L = 0.93A + 3490$	6	0.97	$13000 < L < 25000 \text{ m}$ $9000 < A < 22000 \text{ m}^2$	Westerschelde, hoofdgeul	Berben, 1985	2.7
14	$L = 3R$	13		$2500 < L < 19000 \text{ m}$ $2300 < R < 11000 \text{ m}$	Waddenzee en Oosterschelde	Berben, 1985	2.8
15	$R = Q_{\max} \cdot 10^{-4} + 1800$	11		$600 < R < 4000 \text{ m}$ $200 < Q_{\max} < 10000 \text{ m}^3/\text{s}$	Waddenzee; springtij	Geyl, 1976 in: Berben, 1985	2.9
16	$R = 14 \cdot 10^{-5} Q_{\max} + 3010$	6	0.73	$2000 < R < 7500 \text{ m}$ $10000 < Q_{\max} < 30000 \text{ m}^3/\text{s}$	Oosterschelde, springtij	Berben, 1985	2.10
17	$R = 22 \cdot 10^{-5} Q_{\max} + 1850$	6	0.64	$2000 < R < 7500 \text{ m}$ $10000 < Q_{\max} < 30000 \text{ m}^3/\text{s}$	Westerschelde, hoofdgeul, gem. getij	Berben, 1985	2.10
18	$R = 0.2A + 1320$	6	0.61	$1700 < R < 7000 \text{ m}$ $9000 < A < 22000 \text{ m}^2$	Westerschelde, hoofdgeul	Berben, 1985	2.11
19	$R = 10B$				Waddenzee, Ooster- & Westerschelde	Allersma, 1994	
20	$DV = 16632A$	ca. 40	0.95	$80 \cdot 10^6 < DV < 540 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ $7000 < A < 38000 \text{ m}^2$	Westerschelde	Blik en Ru- ijter, 1994	2.12
21	$h_{\max} = 0.54 Q_{\max}^{0.35}$	24		$3 < h_{\max} < 35 \text{ m}$ $100 < Q_{\max} < 80000 \text{ m}^3/\text{s}$	Waddenzee	Geyl, 1976	2.13
22	$B_{lw} = 5 Q_{\max}^{0.62}$	23		$100 < B_{lw} < 3000 \text{ m}$ $100 < Q_{\max} < 80000 \text{ m}^3/\text{s}$	Waddenzee	Geyl, 1976	2.13
23	$h = 0.042B^{0.92}$				een estuarium- geul	Boon en Byr- ne, 1981	
24	$B = 2.5h^2$				Westerschelde	Gerritsen, '90 in: Aller- sma, 1994	

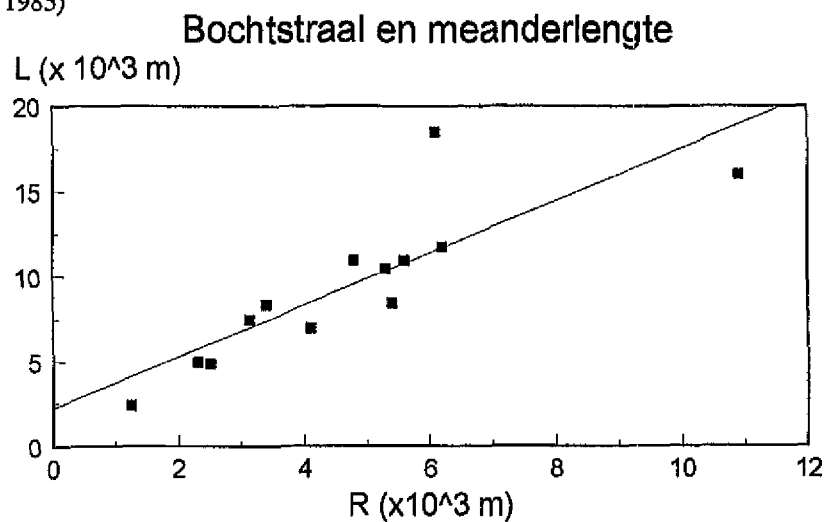
Tabel 2.2 Empirische relaties in estuaria en getijdebekkens. Waarin: L = meanderlengte; $Q_{\max}$ = maximaal debiet; A = geuloppervlak onder NAP 0 m; R = bochtstraal; h = gemiddelde waterdiepte; $h_{\max}$ = maximale waterdiepte; B = geulbreedte; B_{lw} = geulbreedte op laagwaterniveau



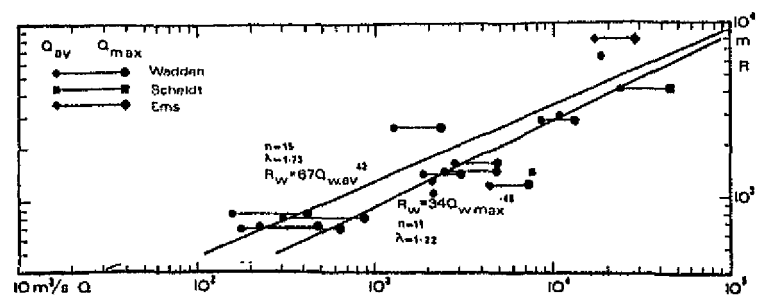
Figuur 2.6 Relatie tussen meanderlengte en het maximale debiet voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)



Figuur 2.7 Relatie tussen meanderlengte en geuloppervlak onder NAP 0 m voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)



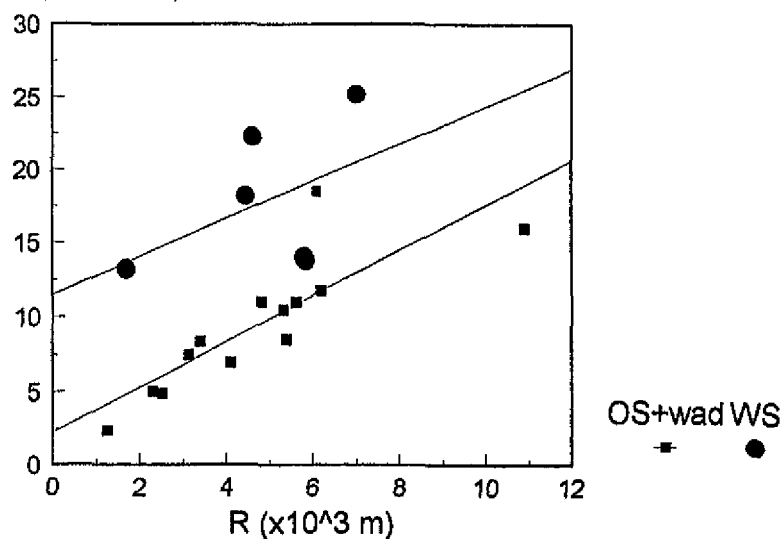
Figuur 2.8 Relatie tussen meanderlengte en bochtstraal voor de Waddenzee en de Oosterschelde (bron: Berben, 1976)



Figuur 2.9 Relatie tussen bochtstraal en maximaal debiet voor de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)

Bochtstraal en meanderlengte

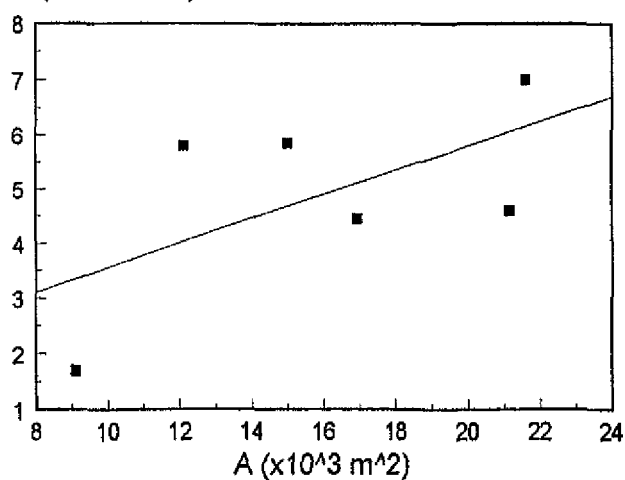
L ($\times 10^3$ m)



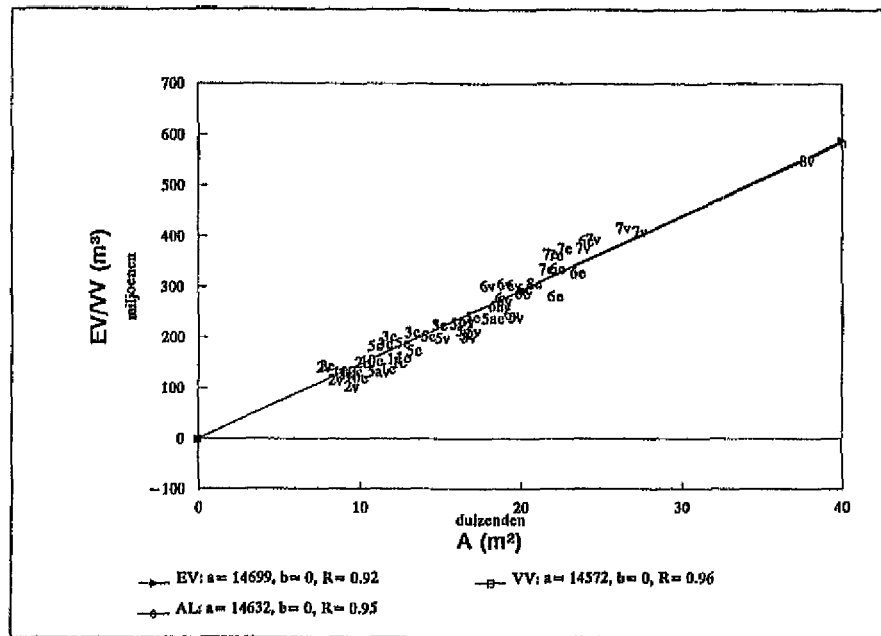
Figuur 2.10 Relatie tussen bochtstraal en maximaal debiet voor de Ooster- en Westerschelde (bron: Berben, 1985)

Bochtstraal en geuloppervlak

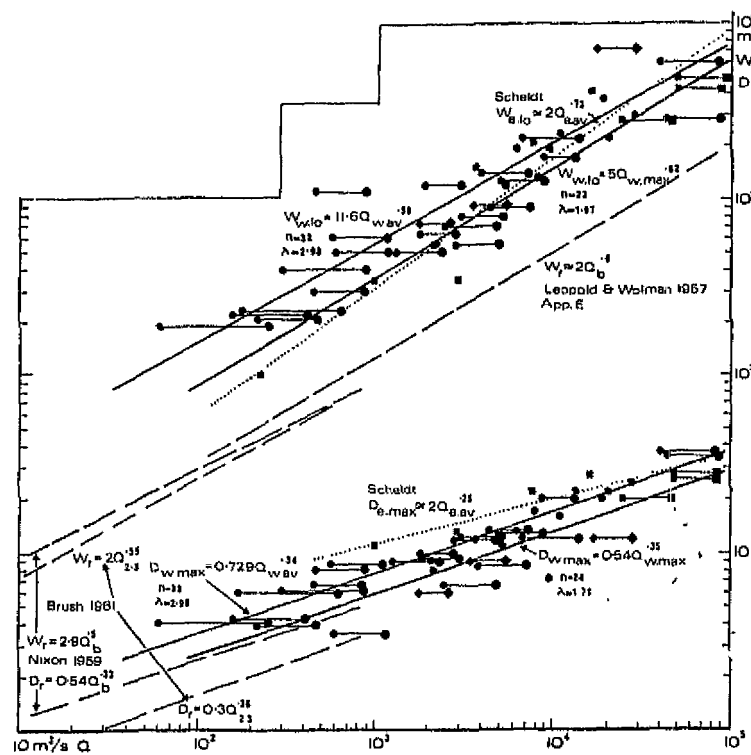
R ($\times 10^3$ m²)



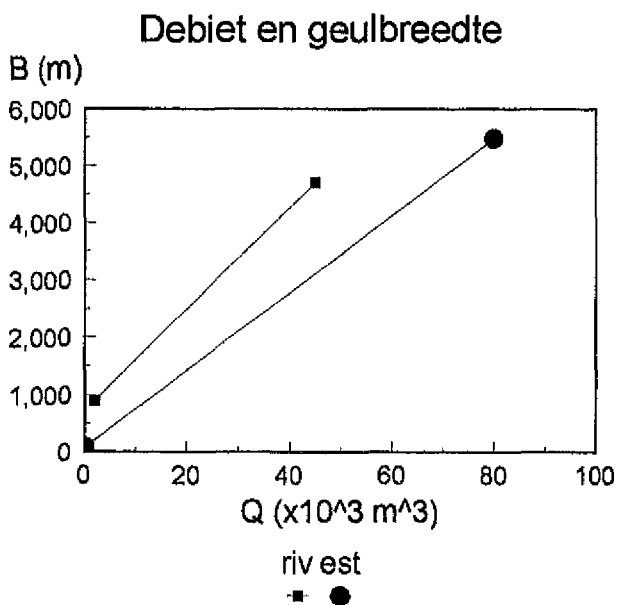
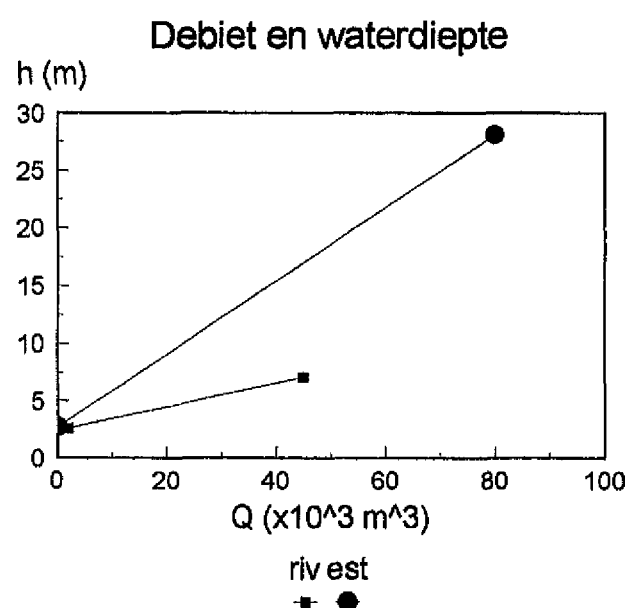
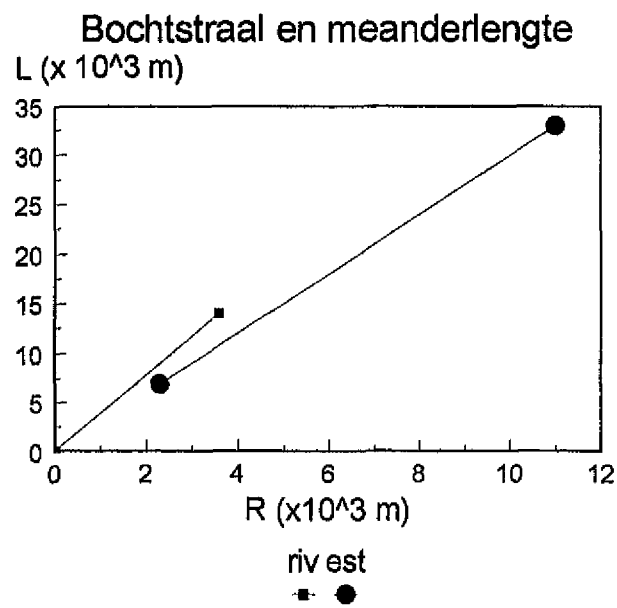
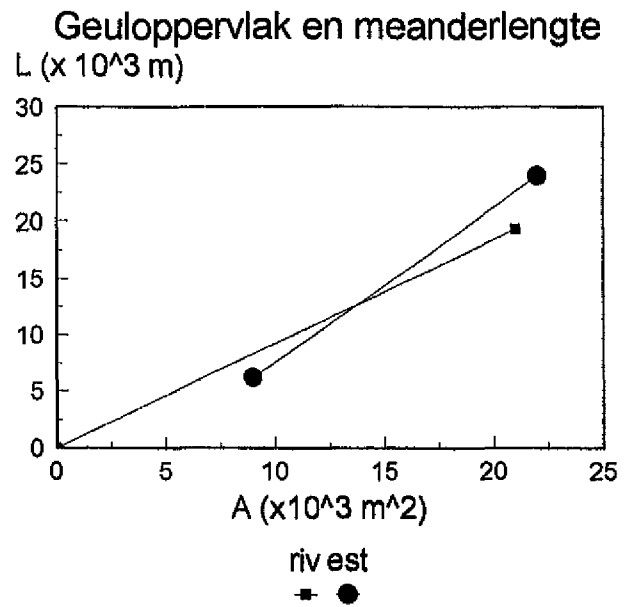
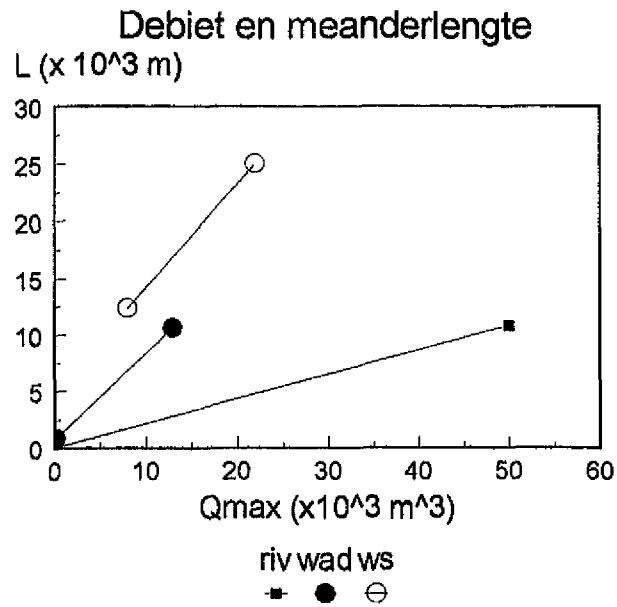
Figuur 2.11 Relatie tussen bochtstraal en geuloppervlak voor de Westerschelde (bron: Berben, 1985)



Figuur 2.12 Relatie tussen dominant getijvolume en geuloppervlak in de Westerschelde (bron: Blik en Ruijter, 1994)



Figuur 2.13 Relatie tussen maximale waterdiepte en de geulbreedte en het maximaal debiet in de Waddenzee (bron: Geyl, 1976)



Figuur 2.14 Relaties tussen parameters in rivieren en estuaria

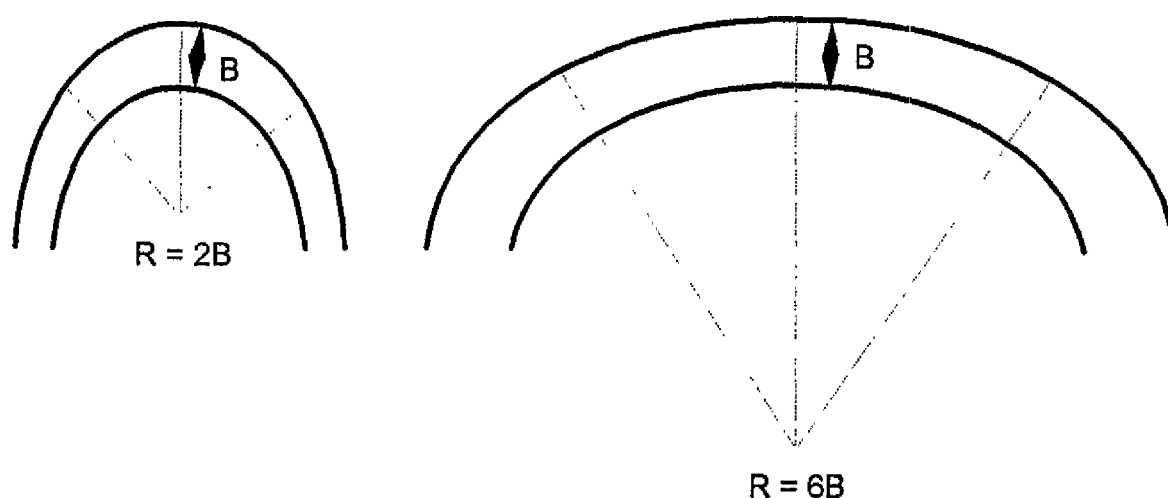
Een andere factor die een rol speelt is het feit dat door Berben (1985) debieten voor geulen in de Waddenzee afgeleid zijn van het geuloppervlak (vergelijking 14 en 15). Er mogen dus geen harde conclusies uit deze relaties getrokken worden. Een uitzondering is vergelijking 20, dat wel op relatief veel waarnemingen gebaseerd is.

In figuur 2.14 de zijn overeenkomstige relaties voor rivieren en estuaria uit tabel 2.1 en 2.2 grafisch weergegeven. De relaties zijn gepresenteerd voor het bereik waarvoor ze geldig zijn. Het betreft de volgende vergelijkingen: 1-11/12, 2-13, 4-14, 9-21 en 10-22. Uit de grafieken in figuur 2.14 blijkt dat de geometrie van een rivier afwijkt van een estuariumgeul. Over het algemeen geldt dat in rivieren en estuariumgeulen van gelijke dimensies rivieren bochtiger en -bij een gelijk geuloppervlak- ondieper en breder dan estuariumgeulen zijn.

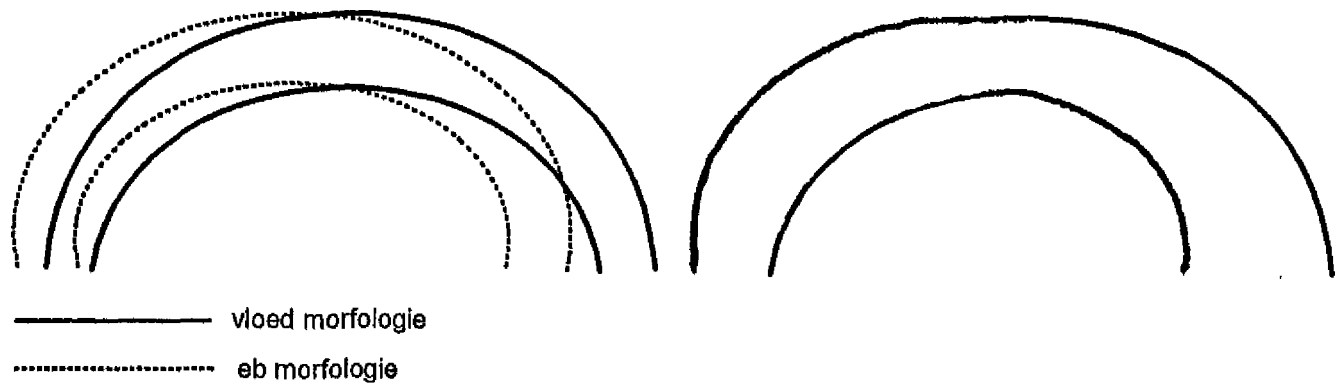
Hieronder worden de relaties uit tabel 2.2 besproken.

De waterbeweging bepaalt in estuaria het geuloppervlak en daarmee de waterdiepte en de geulbreedte van een geul. Analooq aan rivieren is vervolgens de geulbreedte van grootte invloed op de horizontale meandergeometrie. De relatie tussen meanderlengte en geulbreedte is niet opgesteld voor estuaria. Het is niet bekend waarom. Wel is de relatie tussen bochtstraal en geulbreedte bekend. Deze wijkt af van die in rivieren. De R/B-ratio in estuaria is gemiddeld 10 en de kleinste ratio die voorkomt is 6 (Allersma, 1994). Hieruit valt af te leiden dat in estuaria de meanderbochten, bij een gegeven geulbreedte, minder scherp zijn dan in rivieren (figuur 2.15). De meanders in estuaria zijn het gevolg van de gecombineerde invloed van de eb- en de vloedstroming. De optimale horizontale geometrie van een meander is voor elke getijfase verschillend qua bochtstraal en qua meanderlengte. Dit leidt tot een ruimtelijke scheiding in de optimale meandergeometrie van eb en vloed. Dit heeft relatief flauwe bochten in estuaria tot gevolg (figuur 2.16). De gemiddelde R/B-ratio van de geulen is 10. Deze ratio is ruim boven de optimale waarde van 6. De horizontale geometrie heeft dus nog niet haar optimale configuratie bereikt. De oorzaak hiervan is tweeledig:

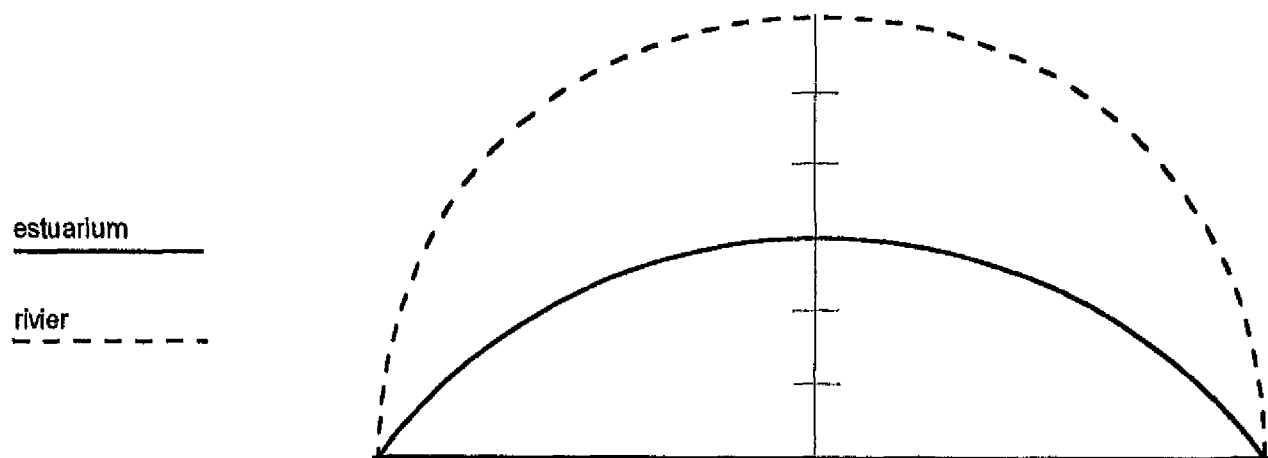
1. de horizontale meandergeometrie is nog niet in evenwicht met de waterbeweging en
2. de ligging van de dijken en bestortingen van de geuloever belemmeren erosie en dus een optimale meandergeometrie. Dit laatste speelt in de Oosterschelde en met name in de Westerschelde een rol.



Figuur 2.15 Optimale bochtstraal/geulbreedte-ratio voor een gegeven geulbreedte in een rivier en een estuarium



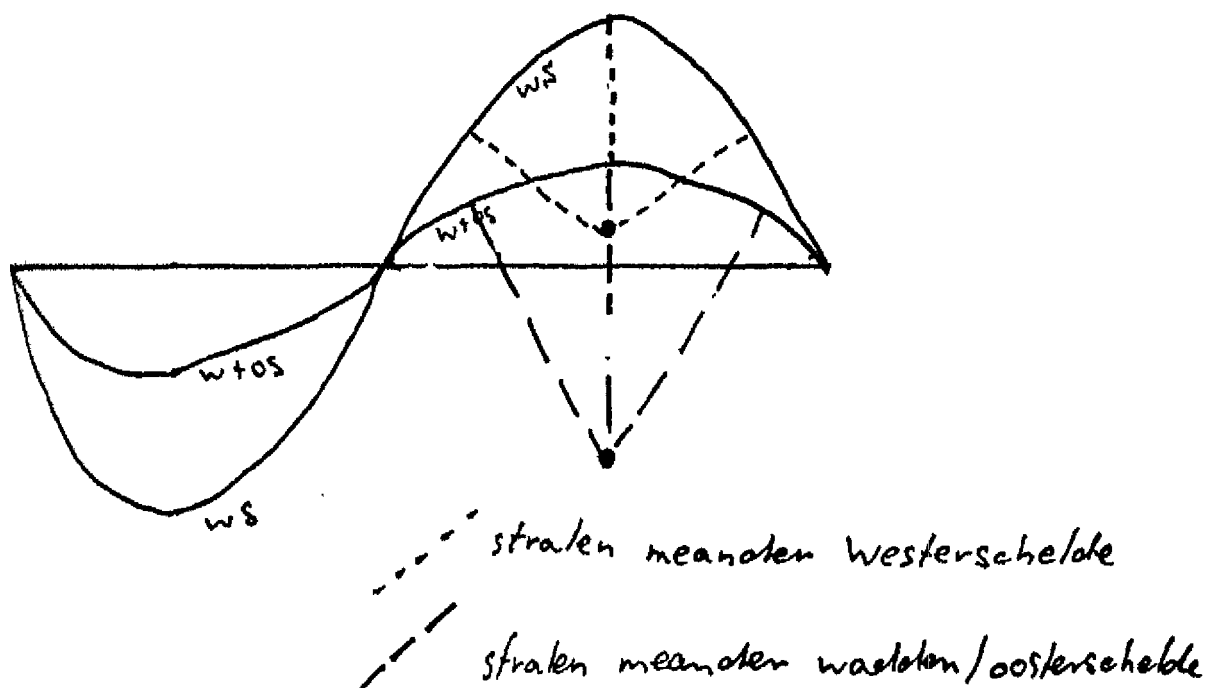
Figuur 2.16 Optimale meandergeometrie van de eb- en de vloedstroming en een mogelijk resultaat



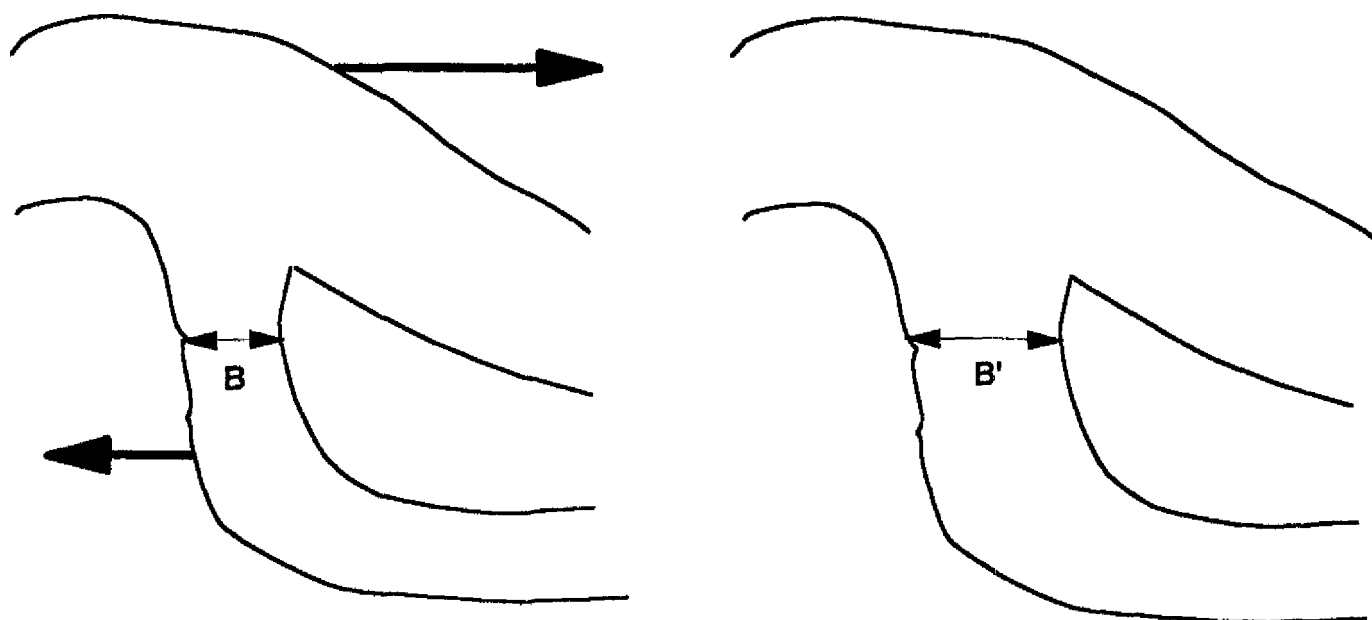
Figuur 2.17 Meanderlengte en de bijbehorende bochtstraal voor rivieren en estuaria (Oosterschelde en Waddenzee)

De verschillen in de horizontale geometrie tussen rivieren en estuariungeulen blijkt ook uit de vergelijkingen 4 en 14. Voor een gegeven meanderlengte is de bochtstraal in estuaria groter dan in rivieren; rivierbochten zijn scherper (figuur 2.17). Vergelijking 14 is opgesteld met gegevens uit de Oosterschelde en de Waddenzee. De L/R-ratio in de Westerschelde wijkt hiervan af en is groter dan 3 (Berben, 1985). Dit houdt in dat de meanders in de Westerschelde scherper zijn dan die in de Oosterschelde en de Waddenzee (figuur 2.18). Verklaringen voor dit verschil zijn de al eerder genoemde twee factoren dat de morfologie is niet in evenwicht met de waterbeweging en dat bedijkingen en bestortingen in de Westerschelde een optimale meandergeometrie verhinderen.

De relatie tussen meanderlengte en debiet in vergelijking 11 kan voor een deel de werking van drempels in de Westerschelde verklaren. Doordat in de Westerschelde veelvuldig geulen van de hoofdgeul aftakken of weer samenkomen, kan over korte afstand het debiet in een geul vrij aanzienlijk verspringen. Hierdoor wordt, volgens bovenstaande relatie, de meanderlengte van de geul beïnvloed. Op de plaats tussen twee bochten, waar de geulen samenkomen, is ook de plaats waar nevengeulen aftakken. Op deze plaats sluiten de geulen door de verschillende meanderlengte niet goed op elkaar aan. Dit speelt mogelijk ook een rol bij het gedrag van drempels in de Westerschelde bij verandering van de waterverdeling. Op een drempel leidt een toename van het debiet door een



Figuur 2.18 Meandervormen in de Westerschelde en de Oosterschelde/Waddenzee: bochtstraal bij een gegeven meanderlengte (bron: Berben, 1985)



Figuur 2.19 Invloed via de meanderlengte van het variëren van het debiet op het gedrag van de drempels in de Westerschelde

binnen het dwarsprofiel gepaard ging met een knik in de dwarshelling.

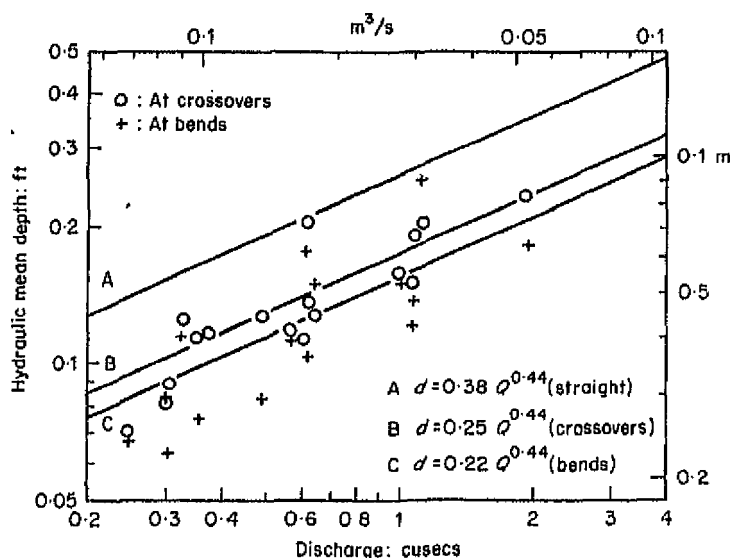
Bij een toename van het debiet neemt de geulbreedte sterker toe dan de waterdiepte in een estuariumgeul (vergelijking 21 en 22). Dit is ook in rivieren het geval, zij het dat voor een gegeven debiet in estuaria de geulbreedte in verhouding tot de waterdiepte sterker toeneemt dan in rivieren. Een estuariumgeul is breder en ondieper (hogere breedte/diepte-ratio) dan een rivier (vergelijking 8 en 23).

2.4 Morfologische relaties op 'crossings' in rivieren

'Crossings' in rivieren zijn de relatief ondiepe en rechte overgangen tussen twee bochten. Op deze plaatsen steekt de stroomdraad uit de stroomopwaartse buitenbocht over naar de andere oever van de stroomafwaartse bocht. De ondiepe drempels in de hoofdgeul van de Westerschelde, de 'crossing', bevinden zich ook op de rechte overgang tussen twee bochten. Op een drempel steken de stroomdraden van de eb- en de vloedstroom over van de ene naar de andere oever (Tank, 1996).

Relatie debiet en diepte 'crossing'

Ackers en Charlton (1970b) vonden in een meanderende rivier dat er verschillen waren tussen bochten en 'crossings' bij de relaties tussen de gemiddelde diepte (h) en het gemiddeld debiet (Q). Het gemiddeld debiet is niet het dominante debiet. Uit figuur 2.21 blijkt dat de gemiddelde diepte in een meanderende rivier bij een gegeven gemiddeld debiet voor een 'crossing' groter is dan in een bocht. De maximale diepte in een bocht is weliswaar groter dan die van een 'crossing' door de asymmetrie van het dwarsprofiel in een bocht, maar de gemiddelde diepte is geringer dan van een 'crossing'.



Figuur 2.21 Relaties tussen het gemiddeld debiet en de gemiddelde diepte in een bocht en een 'crossing' in een meanderende rivier (bron: Ackers, 1982)

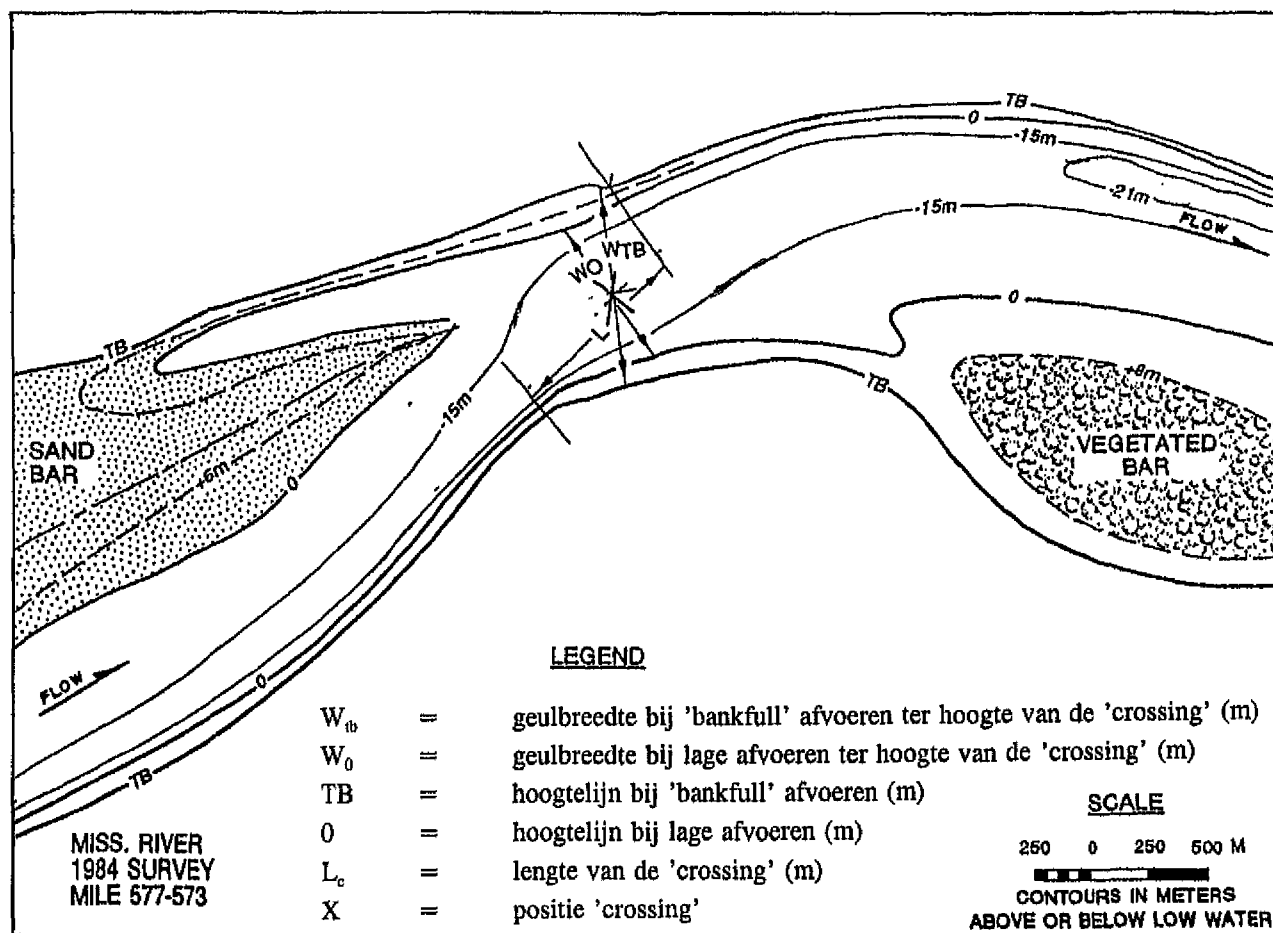
Relatie debiet en breedte 'crossing'

Uit de literatuur zijn verschillen bekend in de relaties tussen debiet en breedte ter plaatse van 'pools' en ter plaatse van 'riffles'. Door Richards (1976 in: Knighton, 1984) zijn voor een rivier empirische relaties opgesteld tussen het debiet (Q) en de breedte van de 'pool' (B) en van de 'riffle'. Richards (1976 in: Knighton, 1984) vond

dat de breedte van de 'riffle' ongeveer 12 % groter was dan de breedte van de 'pool' bij een gegeven debiet.

Relatie tussen diepte van de 'crossing' en geulparameters

Gebaseerd op dieptegegevens van metingen in negen verschillende jaren van 140 à 180 'crossings' in het benedenstroomse deel van de Mississippi zijn door Winkley (1989) een aantal empirische relaties opgesteld tussen de diepte van de 'crossing' en andere morfologische variabelen van de rivier. In figuur 2.22 worden de morfologische variabelen gedefinieerd. In figuur 2.23 worden de verbanden gelegd.



Figuur 2.22 Definitie van de morfologische variabelen van een 'crossing' (bron: Winkley, 1989)

Onderstaande tekst is gebaseerd op Winkley (1989).

Uit de figuren 2.23a tot 2.23c blijkt dat de minimale diepte van de 'crossing' (D_x) dieper wordt als er een afname is van:

1. de geulbreedte bij 'bankfull' afvoeren ter hoogte van de 'crossing' (W_{tb}),
2. de geulbreedte bij lage afvoeren ter hoogte van de 'crossing' (W_0) en
3. de lengte van de 'crossing' (L_c).

De gemiddelde diepte van de 'crossing' neemt toe met een toename van de:

1. de gemiddelde meanderlengte (L) (figuur 2.23d) en

2. de sinusoiditeit (Σ) (figuur 2.23e).

Verder is de lengte van de 'pool' (L_p) negatief gecorreleerd met de bochtstraal (R) van de bovenstroomse bocht (figuur 2.23f).

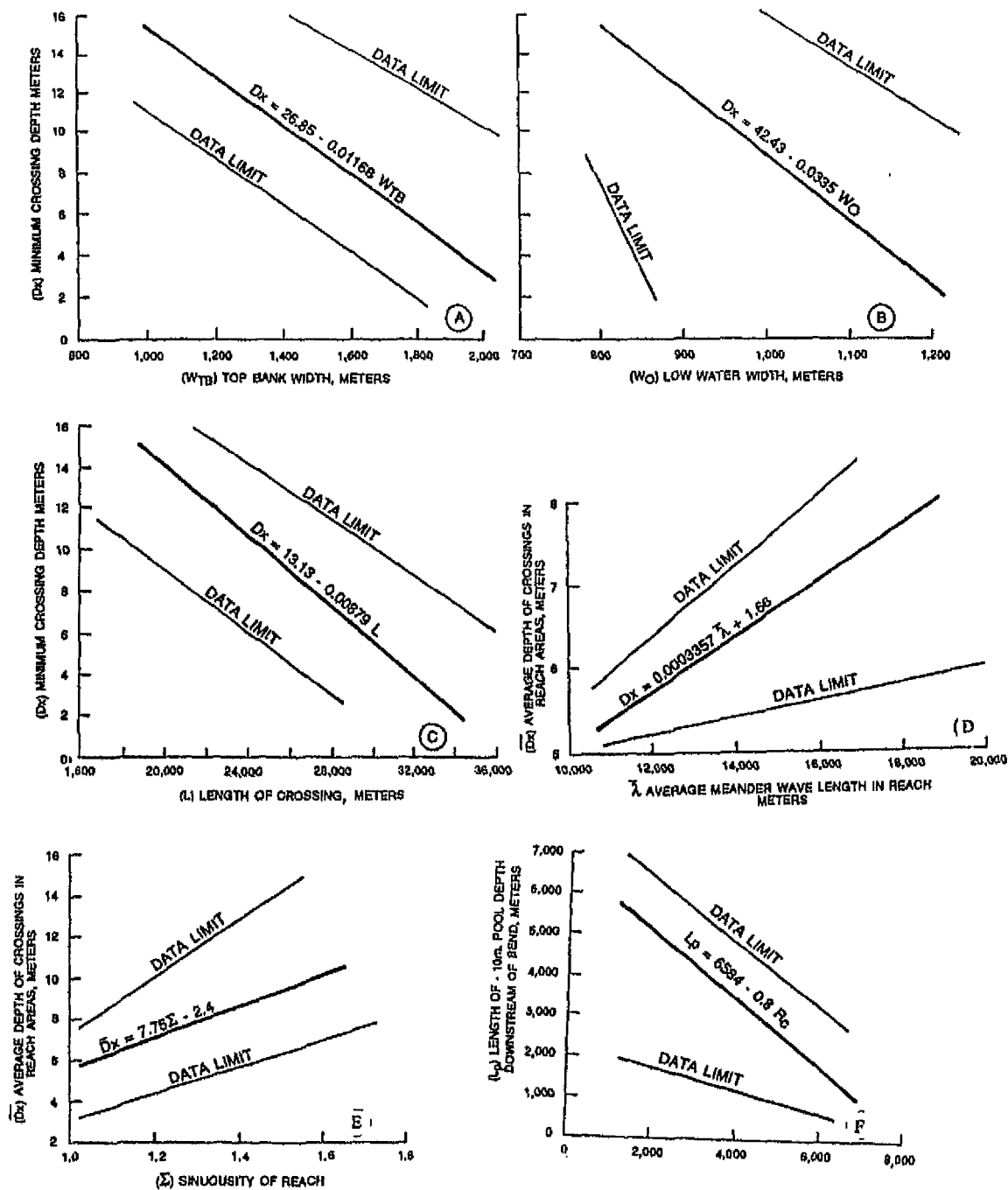
Het verband tussen de diepte van de 'crossing' en de geulbreedte bij 'bankfull' afvoeren (W_b) en de breedte bij lage afvoeren (W_0) is met name sterk bij W_0 . Beide variabelen zijn vooral van invloed op de concentratie van de energie van de rivier over de 'crossing'. Bij een kleine W_b of W_0 divergeert de stroming minder op de 'crossing'. In feite gaat het hier om een vorm van de relatie tussen debiet en geuloppervlak: een kleinere breedte heeft bij een constant debiet een grotere diepte tot gevolg.

Een soortgelijke relatie tussen de geulbreedte en de diepte bestaat waarschijnlijk ook op de drempels in de Westerschelde: een -al dan niet kunstmatig veroorzaakte- afname van de geulbreedte leidt tot diepere drempels. In de Westerschelde is de beïnvloeding veel directer. Er is niet zoals in Mississippi sprake van maatgevende afvoeren met een cyclus van circa 1 à 2 jaar. De cyclusduur van het getij is 12.5 uur. De afvoer varieert per getijfase. Er zijn twee maatgevende situaties mogelijk tijdens eb en vloed. Een toename van de maatgevende situaties voor de eb treedt op op NAP 0 m, wanneer maximum ebstroom optreedt (Jeuken, 1992). Tijdens vloed is de maatgevend afvoer op NAP 2 à 2.5 m, wanneer maximum vloedstroom optreedt (Jeuken, 1992). Dit houdt in dat de voor de morfologie van de drempel dominante afvoeren -een drempel is gedeeltelijk eb- en gedeeltelijk vloed gedomineerd- voor een gegeven geuloppervlak een diepere drempel veroorzaken.

De lengte van de 'crossing' (L_c) in de Mississippi is gecorreleerd met de diepte van de 'crossing'. Een lange 'crossing' is ondieper. Dit hangt samen met de hoeveelheid sediment die moet worden opgeruimd om de 'crossing' op diepte te krijgen. Deze is bij een kleine 'crossing'-lengte geringer. Daarnaast speelt ook een rol dat bij een relatief lange 'crossing' de secundaire stroming, die een relatief diep profiel veroorzaakt, over een langere geullengte afwezig is en de 'crossing' over een grotere lengte relatief ondiep is. In een rivier als de Mississippi vindt over het algemeen tijdens hoge afvoeren sedimentatie plaats op een 'crossing' en erosie tijdens lage afvoeren. Dit is overigens niet te vergelijken met een estuarium omdat daar dagelijks een sterke variatie in debieten optreedt. Naar verwachting is in de Westerschelde een soortgelijk verband te vinden tussen lengte en diepte van de 'crossing', mede omdat de secundaire stroming op een lange drempel geen of een kleine rol speelt.

De gemiddelde meanderlengte (L) wordt sterk beïnvloed door debiet, sedimentgrootte en in mindere mate het langsverhang. Indien nu, door welke reden dan ook, een van deze variabelen verandert heeft een rivier de neiging zijn meanderlengte aan te passen. Hierdoor kunnen op de meest onverwachte plaatsen 'crossings' ontstaan. Een rivier als de Mississippi is gebaat bij een uniforme verdeling van het debiet en de sedimentgrootte, waardoor lange meanders ontstaan die optimaal het sediment kunnen transporteren. Dit leidt ook tot over het algemeen tot diepere 'crossings'. In de Westerschelde is door de vele kortsluitgeulen de meanderlengte variabel. Doordat de kortsluitgeulen veranderen in lokatie en de hoeveelheid water die ze trekken verandert de meanderlengte van de hoofdgeul en kunnen nieuwe drempels ontstaan of sluiten verschillende meanders ter hoogte van de drempels slechter op elkaar aan.

De sinusoiditeit (Σ) is van invloed op de diepte van de 'crossing' omdat een sinusvormige geul over het algemeen smaller en dieper is dan een rechte geul. Een rivier streeft naar een regelmatige sinusoiditeit omdat een rivier dan optimaal de verschillende variaties in afvoer en sedimentlast kan verwerken. Het is goed mogelijk dat deze relatie ook in de Westerschelde opgeld doet. Dit is echter moeilijk aantoonbaar omdat er nog andere factoren, zoals aftapping van water door nevengeulen, van invloed zijn op de diepte van een 'crossing'.



- a minimale diepte 'crossing' vs breedte 'bankfull' afvoeren
- b minimale diepte 'crossing' vs breedte bij lage afvoeren
- c minimale diepte 'crossing' vs lengte van de 'crossing'
- d gemiddelde diepte 'crossing' vs meanderlengte
- e gemiddelde diepte 'crossing' vs sinusoiditeit
- f bochtstraal vs lengte van de 'pool'

Figuur 2.23 Grafieken met de relaties tussen geulparameters en 'crossing'-diepten (bron: Winkley, 1989)

De relatie tussen lengte van de 'pool' (L_p) en bochtstraal (R) kan verklaard worden doordat scherpere bochten (kleine R) sterkere secundaire stromingen opwekken, die de 'pool' uitdiepen. Hierdoor vindt er, bij een gegeven meander, uitbreiding van de 'pool' plaats ten kostte van de 'crossing'. Het is waarschijnlijk dat in de Westerschelde de bochten ook uitbreidden ten kostte van de drempels als de bochtstraal toeneemt. Deze relatie lijkt veel op die tussen de sinusoïteit en de diepte van de 'crossing' omdat een toename van de sinusoïteit overeenkomt met een afname van de bochtstraal.

Toepassing op drempels in de Westerschelde

Gebaseerd op kennis over 'crossings' in rivieren lijken de volgende factoren de een diepere drempel in de hoofdgeul van de Westerschelde te kunnen veroorzaken:

- een afname van de breedte van de 'crossing' op niveau's waarbij maatgevende getijomstandigheden optreden: tijdens eb is dit op NAP 0 m -wanneer maximum ebstroom optreedt- en bij vloed is dit op NAP 2.5 m -wanneer maximum vloedstroom optreedt-;
- een constante meanderlengte omdat dan het transport van water en sediment optimaal is;
- een kleine lengte van de 'crossing' omdat deze over het algemeen ondieper zijn;
- een hoge sinusoïteit dan wel een kleine bochtstraal omdat dan een uitbreiding plaats vindt van de diepe bochten ten koste van de ondiepe drempels.

2.5 Conclusies

De belangrijkste conclusies uit bovenstaande literatuurstudie zijn:

- * Uit de rivierkunde zijn sterke verbanden tussen de waterbeweging en de verticale en de horizontale geometrie van meanderende rivieren bekend.
- * De geulbreedte van een meanderende rivier is van grote invloed op de horizontale geometrie van een meanderende rivier omdat deze de grootte van de secundaire stroming bepaalt.
- * De relaties tussen de diverse geulparameters in estuaria lijken sterk op die in de rivieren; deze zijn echter minder betrouwbaar.
- * Een afname van de geulbreedte van de drempel, een afname van de lengte van de 'crossing', een toename van de gemiddelde meanderlengte, een toename van de meanderlengte, een toename van de sinusoïteit en een afname van de bochtstraal hebben een diepere drempel tot gevolg.
- * De drempelvorming in de Westerschelde wordt sterk beïnvloed door de verschillen in meanderlengtes van de opeenvolgende elementaire geulen. De meanderlengte van de elementaire geulen vertoont daarbij een sterke relatie met het dominante getijvolume. Door de sterke variatie van het getijvolume tussen elementaire geulen ten gevolge van aftapping van water door nevengeulen sluiten de elementaire geulen ter hoogte van de overgang tussen twee geulen niet goed op elkaar aan en beïnvloeden daarmee de omvang van de drempel die zich op die overgang bevindt.

3 Empirische relaties in de Westerschelde

3.1 Inleiding

Voor de Westerschelde zijn in dit onderzoek soortgelijke empirische relaties opgesteld als in hoofdstuk 2.2 en 2.3. Een deel van de relaties is nieuw. Een ander deel van de relaties is al eerder voorgesteld door Berben (1985). Deze relaties worden hier opnieuw opgesteld met meer consistentere gegevens dan waarover Berben (1985) beschikte. De relaties van Berben (1985) zijn namelijk gebaseerd op debieten die gemeten zijn tijdens verschillende getijomstandigheden en op maar één geulprofiel per meandersectie. In de huidige analyse zijn de debieten omgerekend naar één bepaald maatgevend getij en zijn meerdere geulprofielen per meandersectie gebruikt.

De soortgelijke empirische relaties als voor 'crossings' in rivieren (hoofdstuk 2.4) zijn niet voor de drempels in de Westerschelde opgesteld omdat de drempels door baggerwerkzaamheden uit evenwicht zijn.

Hieronder volgt eerst de methode en de definities van de parameters. Vervolgens komen de resultaten aan de orde.

3.2 Werkwijze en definities

De empirische relaties voor geulen in de Westerschelde zijn opgesteld voor de afzonderlijke geuldelen die samen de hoofdgeul in de Westerschelde vormen. Dit is gedaan omdat de hoofdgeul in de Westerschelde een meanderend karakter heeft en daardoor, meer dan de nevengeulen, lijkt op een meanderende rivier. Het is dan ook de verwachting dat relaties voor rivieren min of meer ook gelden voor de hoofdgeul in de Westerschelde. Voor de nevengeulen zijn om de eerder genoemde reden geen aparte relaties opgesteld. De volgende geulen met een min of meer uitgesproken meandervorm zijn in de analyse betrokken:

- Vaarwater boven Bath
- Nauw van Bath
- Overloop van Valkenisse/Zuidergat
- Bocht bij Hansweert/Overloop van Hansweert
- Middelgat
- Pas van Terneuzen
- Honte.

Achtereenvolgens zijn de volgende analyses op de gegevens uit de natuur toegepast:

- 1 relaties tussen de parameters per geul waarbij:
 - a. de waarden van de verticale geulgeometrie gemiddeld zijn per geul
 - b. de waarden van de verticale geulgeometrie van het geulprofiel met de laagste B/h-ratio per geul zijn gebruikt
- 2 relaties tussen de parameters van de verticale geulgeometrie per dwarsprofiel in:
 - a. de hoofdgeul van de Westerschelde
 - b. de hoofdgeul in het oosten van de Westerschelde
 - c. de hoofdgeul (zonder drempels) van de Westerschelde
 - d. de hoofdgeul (zonder drempels) in het oosten van de Westerschelde

- 3 relaties tussen geulparameters uit de natuur en in het 2D waterbewegingsmodel Scaldis100 berekende getijvolumina en debieten per geulprofiel voor midden deel van de Westerschelde

Geulparameters

De geulparameters in de Westerschelde zijn afkomstig van dieptegegevens van de bodem uit 1992. Deze parameters zijn berekend met de GIS-applicatie ProfielGIS (Uit den Bogaard, 1993). De lokaties van de gebruikte dwarsprofielen zijn in bijlage A weergegeven; in bijlage B zijn de waarden van de geulparameters per dwarsprofiel en de waarden per meandersectie te vinden.

De geulparameters die gebruikt zijn in de relatie tussen de waterbeweging zoals berekend met Scaldis100 zijn berekend aan de hand van dieptegegevens uit 1988. De reden hiervoor is dat de berekening van de waterbeweging ook uitgevoerd is met de bodem van 1988. In bijlage B zijn de waarden van de parameters per profiel opgesomd.

Bij de berekening van de parameters is uitgegaan van de stroomvoerende breedte die weer afgeleid is van het stroomvoerend oppervlak. Het stroomvoerend vermogen van een geul is door Blik en Ruijter (1994) als volgt gedefinieerd:

$$Qq = \int_0^b h(y)^{\frac{5}{3}} dy \quad (25)$$

waarin:

- Qq = stroomvoerend vermogen ($m^{8/3}$)
- b = geulbreedte van waterscheiding tot waterscheiding (m)
- h = lokale waterdiepte (m)
- y = afstand dwars op geulrichting (m)

Hierbij zijn zij ervan uitgegaan dat rond maximum stroom in een geul een min of meer constante en uniforme stroomsituatie geldt en dus 'Chézy' toegepast kan worden.

Het stroomvoerend vermogen is gevoeliger voor de diepte dan voor de breedte: bij gelijk blijvend oppervlak wordt het stroomvoerend vermogen groter als het profiel dieper en nauwer wordt (Termaat, 1994).

Op basis van het stroomvoerend vermogen is de breedte van de geul bepaald waarbinnen 90 % van het debiet wordt afgevoerd. Op basis van deze breedte zijn ook alle andere parameters berekend. Een voordeel van het gebruik van zo afgeleide parameters ten opzichte van conventionele parameters is dat ze minder gevoelig zijn voor onregelmatigheden in het dwarsprofiel, zoals bijvoorbeeld zijgeulen (Van Kester, 1995). Het gebied binnen deze 90 % wordt aangeduid als het stroomvoerend dwarsprofiel.

Van de hoofdgeul zijn de volgende parameters berekend (figuur 2.1):

- L = de meanderlengte (m), is bepaald aan de hand van de hemelsbrede afstand van een halve meander tussen twee drempels in de hoofdgeul (m)
- R = de bochtstraal (m) is voor elk dwarsprofiel bepaald door de bochtstraal van een stroomop- en

		stroomafwaarts gelegen dwarsprofiel en de bochtstraal van het dwarsprofiel zelf te middelen.
A	=	stroomvoerend dwarsoppervlak van een geul onder NAP (m ²)
Hg	=	stroomvoerende gemiddelde diepte onder NAP (m)
B	=	stroomvoerende breedte van een geul op NAP (m)

Voor de berekeningswijze van geulparameters die betrekking hebben op het stroomvoerend vermogen wordt verwezen naar Blik en Ruijter (1994) en Uit den Bogaard (1993).

Debietparameters

De debietgegevens zijn afkomstig van de debietmetingen die bij voorkeur in 1992 of in het meest nabij gelegen jaar uitgevoerd zijn. De debieten zijn met behulp van de getijfactor lineair herleid tot naar het morfologisch maatgevende getij (getijfactor 1,08), het dominante debiet.

De debietgegevens van de Scaldis100-berekening zijn afkomstig van een gemiddeld springtij met een getijfactor van 1,16. Deze debietgegevens zijn niet omgerekend naar het morfologisch maatgevend getij.

De volgende debietparameters zijn gebruikt:

$Q_{\max}$	=	maximale debiet (m ³ /s)
DV	=	dominant getijvolume (m ³)

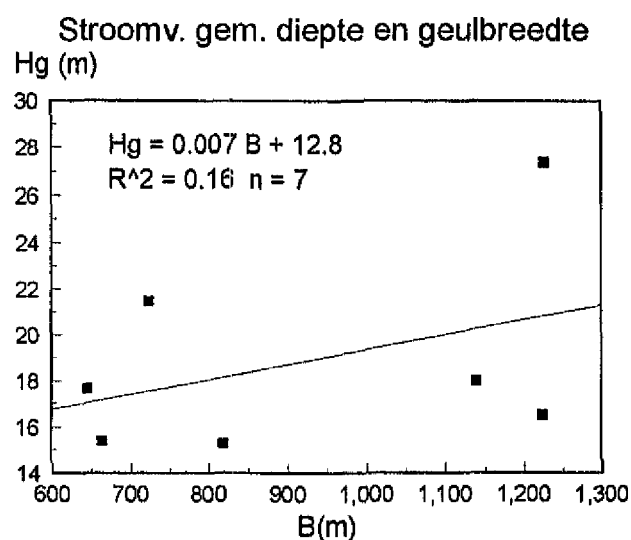
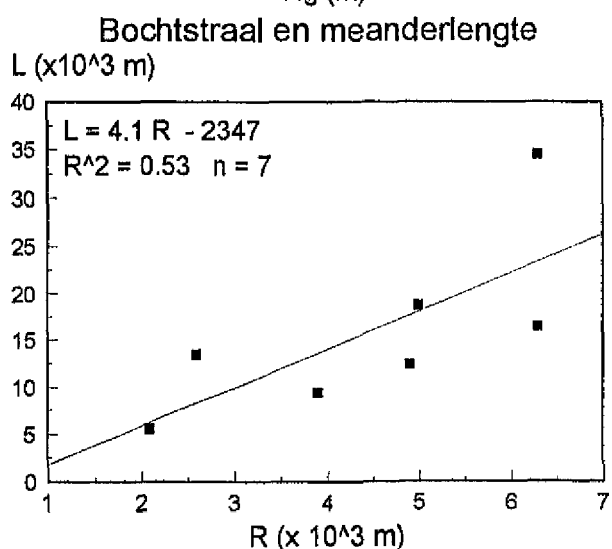
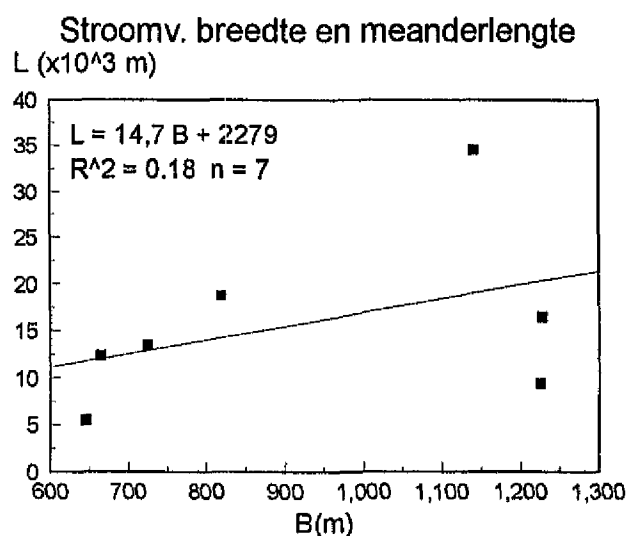
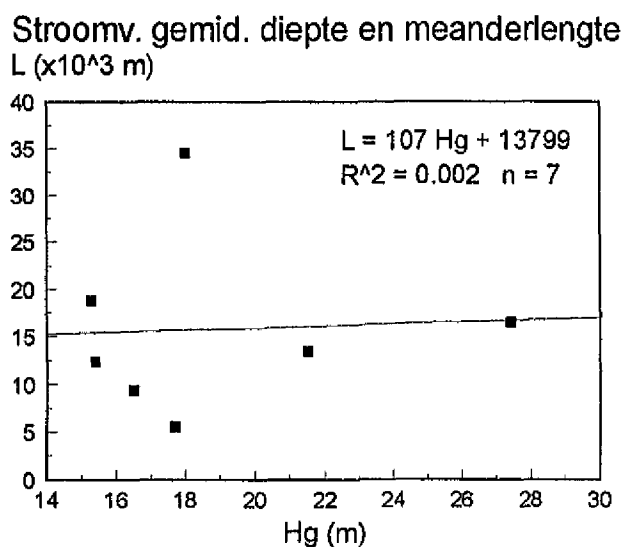
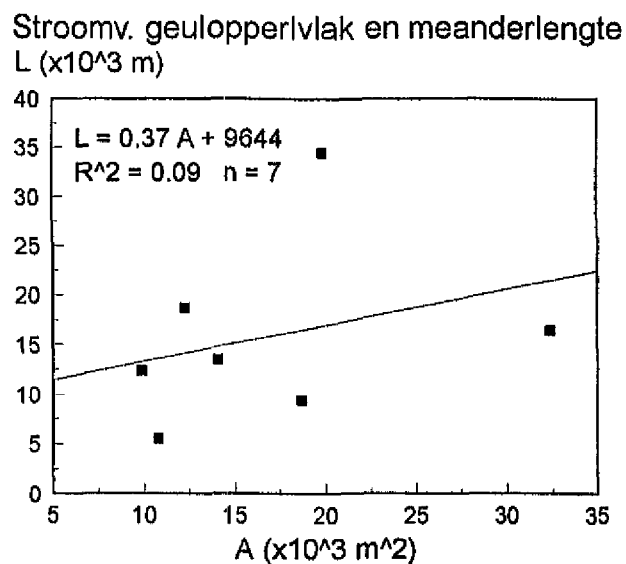
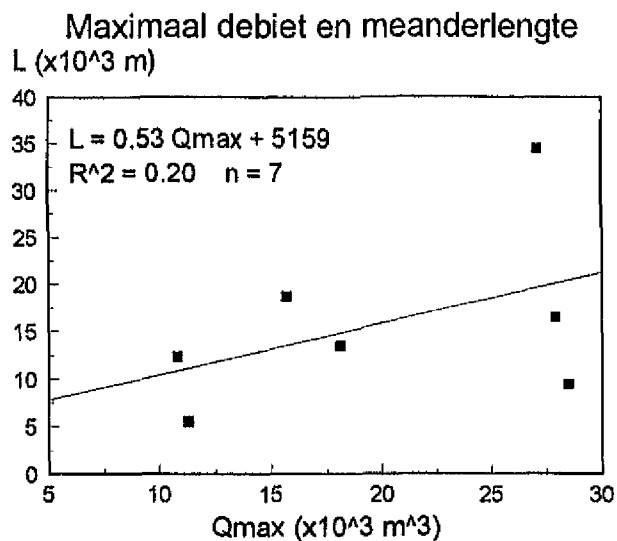
3.3 Resultaten

In tabel 3.1 staan de correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen de debieten en de geulparameters en de geulparameters opgesomd. Alle gegevens zijn gebaseerd op de natuur. Het betreft hier de gemiddelde waarde per meandersectie in de hoofdgeul. In figuur 3.1 zijn de bijbehorende grafieken te vinden.

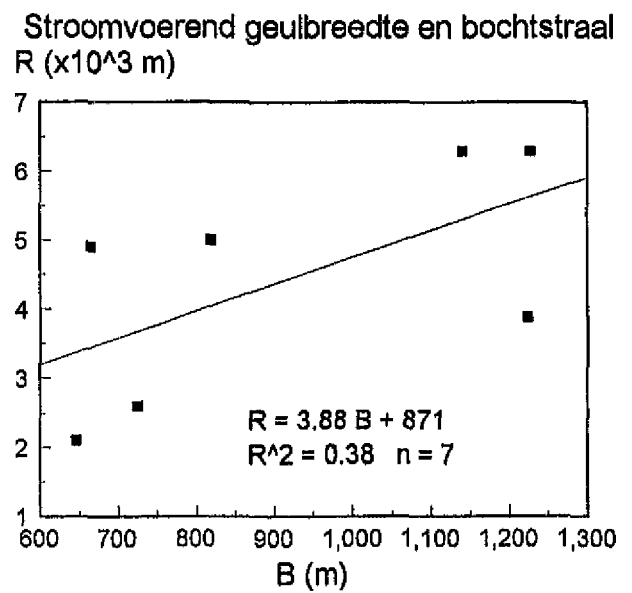
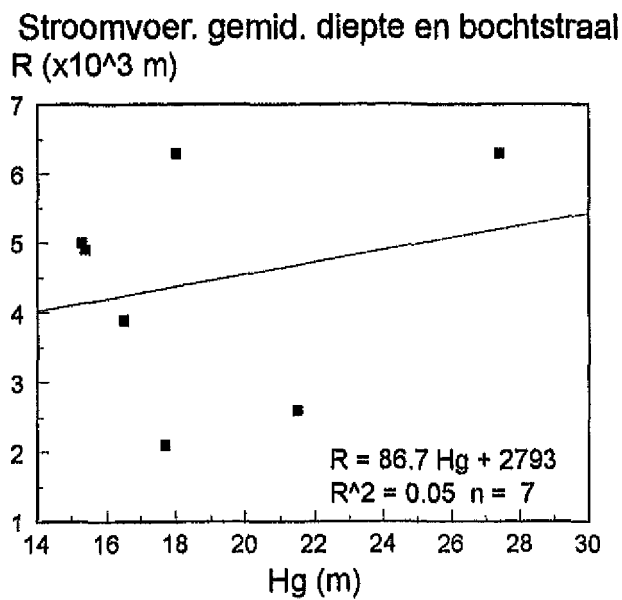
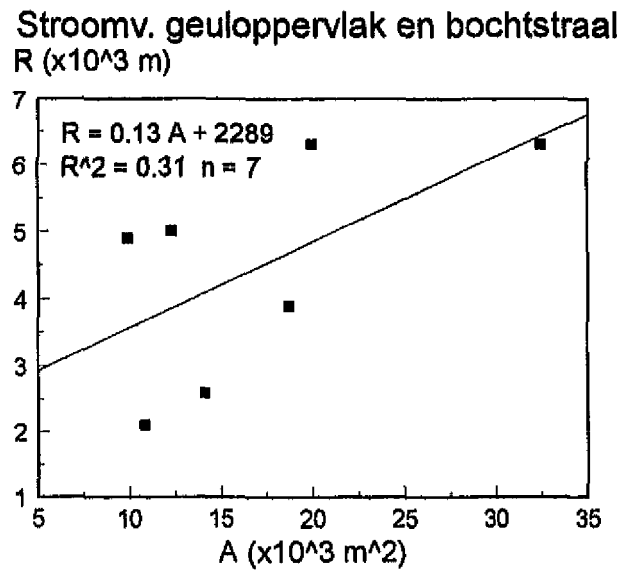
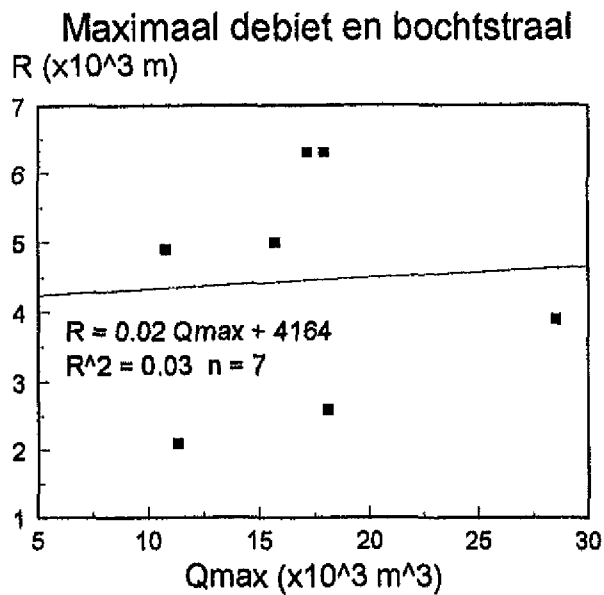
	$Q_{\max}$	R	A	Hg	B
L	0.20 (0.97) 0.05	0.53	0.09 (0.97) 0.11	0.002 0.07	0.18 0.05
R	0.03 (0.64) 0.52	-	0.31 (0.61)	0.05	0.38
Hg	0.01 0.01	-	0.67	-	0.16 0.22
B	0.53	-	0.70	-	-

Tabel 3.1 Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen parameters; gemiddelde waarden per meandersectie van de hoofdgeul; tussen haakjes correlatie-coëfficiënt van Berben (1985) voor Westerscheldegeulen; correlatie-coëfficiënten zonder uitbijters in vet

De correlaties tussen de verschillende parameters zijn zeer zwak of matig. De relaties tussen parameters van de horizontale geometrie (meanderlengte en bochtstraal) en andere parameters zijn zeer zwak. Alleen de correlaties tussen A en Hg, tussen A en B en tussen $Q_{\max}$ en B zijn redelijk. De uitbijters in de grafieken in figuur 3.1 worden gevormd door de Pas van Terneuzen en de Honte. De correlaties verbeteren echter niet aanzienlijk als deze uitbijters worden weggelaten.

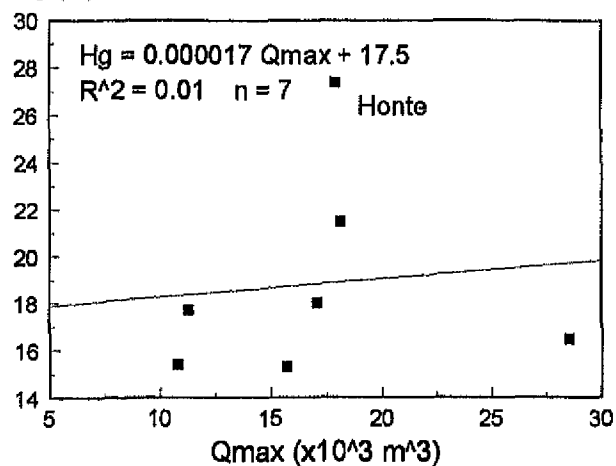


Figuur 3.1 Relaties tussen de (gemiddelde) geulparameters in de hoofdgeul van de Westerschelde

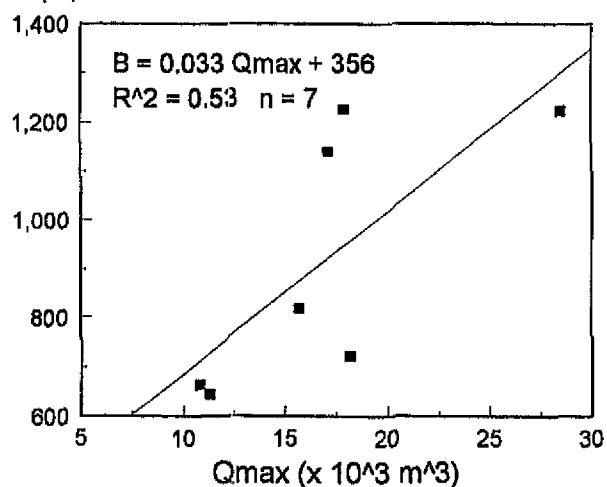


Figuur 3.1 (vervolg) Relaties tussen de (gemiddelde) geulparameters in de hoofdgeul van de Westerschelde

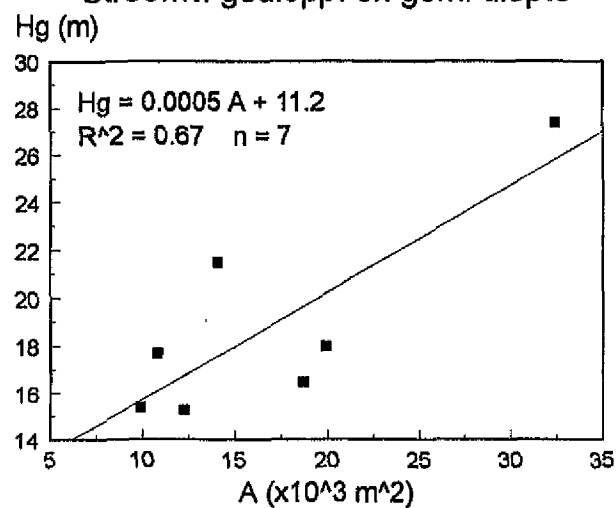
Maximaal debiet en stroomv. gemid. diepte
Hg (m)



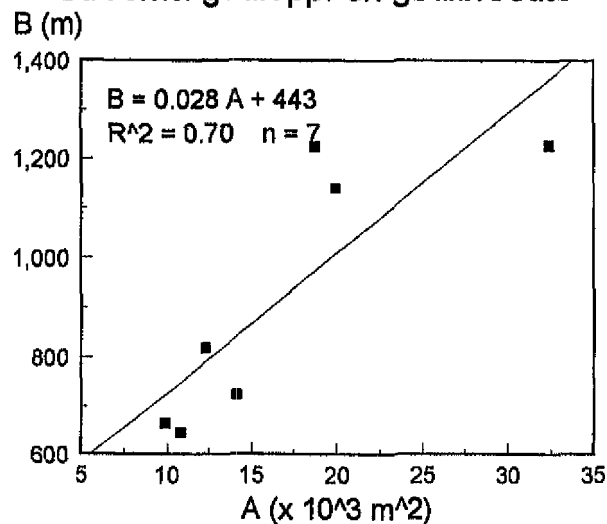
Maximaal debiet en stroomv. geulbreedte
B (m)



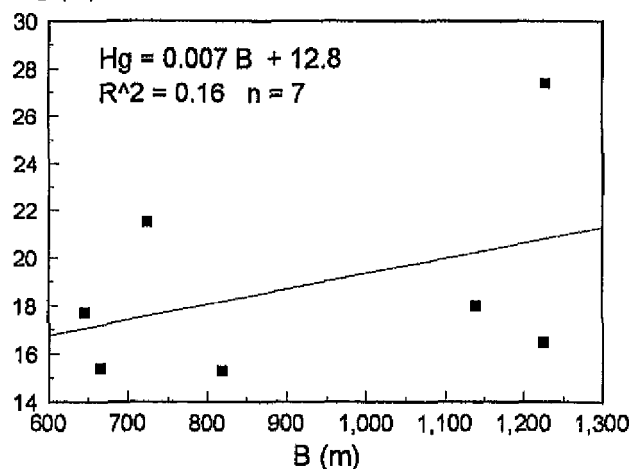
Stroomv. geulopp. en gem. diepte



Stroomv. geulopp. en geulbreedte



Stroomv. breedte en stroomv. gemid. diepte
Hg (m)



Figuur 3.1 Relaties tussen de (gemiddelde) geulparameters in de hoofdgeul van de Westerschelde

De relaties zijn alle minder sterk dan die gevonden in rivieren (zie hoofdstuk 2.2). Het verschil in de sterkte van de relaties met rivieren kan verklaard worden doordat in de Westerschelde de geulmorfologie een reflectie is van de eb- en vloedbeweging die op verschillende manieren van de geul gebruik maken. Een andere factor is dat het geuldebiet niet constant is, zoals in een meanderende rivier. Ook valt op dat de relaties voor de Westerschelde van Berben (1985) beter zijn. Het verschil in de sterkte met de relaties die Berben (1985) heeft gevonden voor de Westerschelde kan verklaard worden doordat:

1. de definities van de geulparameters en het dominante debiet van elkaar verschillen;
2. het verschil in het aantal waarnemingen: Berben (1985) heeft waarschijnlijk zijn analyse alleen toegepast op de meest ideale meanders in de Westerschelde.

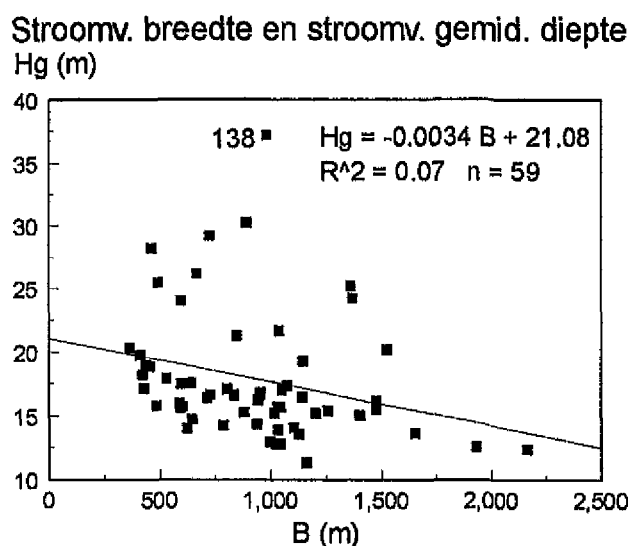
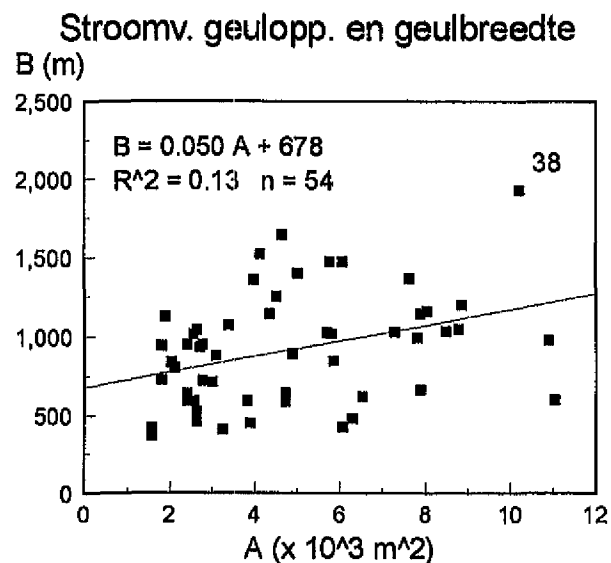
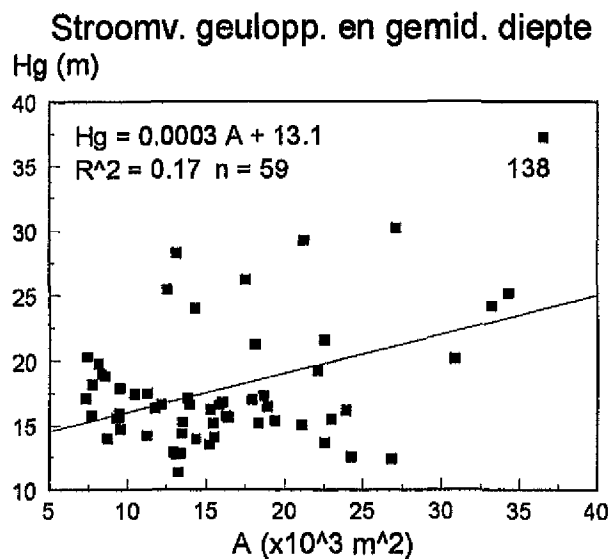
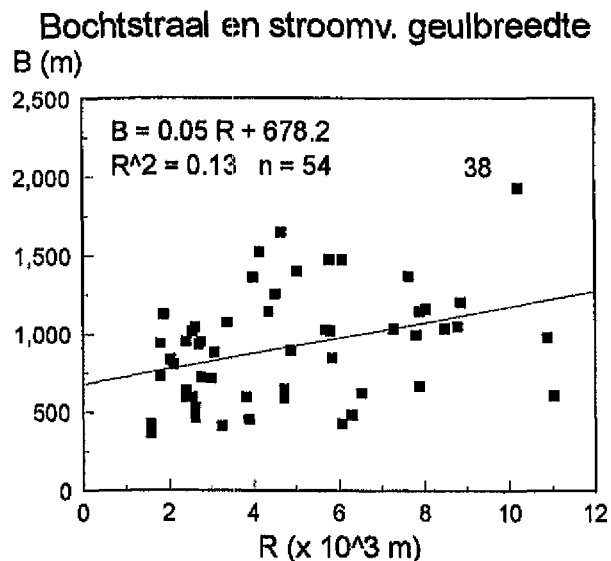
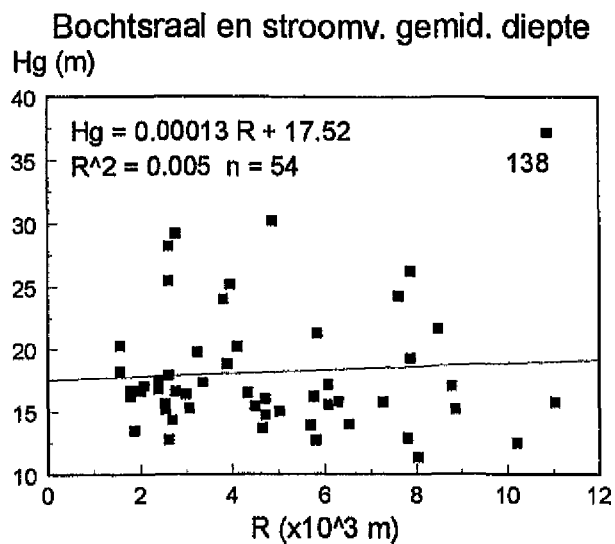
Bovenstaande relaties zijn ook herberekend met het profiel dat in de meandersectie de laagste breedte/diepte-ratio heeft in plaats van net de gemiddelde waarde van alle parameters van alle profielen in een meandersectie. De vorm van deze profielen met de laagste breedte/diepte-ratio sluit het meest aan bij de profielvorm van rivieren. Het dwarsprofiel van rivieren wordt gekenmerkt door een relatieve lage breedte/diepte-ratio vergeleken met geulen in estuaria. De profielen met de laagste breedte/diepte-ratio zijn te vinden in de bochten van de Westerschelde. De correlatie-coëfficiënten zijn te vinden in tabel 3.2. De grafieken staan in bijlage C.

	$Q_{\max}$	R	A	Hg	B
L	0.20 0.05	0.32 0.31	0.04 0.08	0.02 0.03	0.09 0.10
R	0.24	-	0.49	0.26	0.55 0.82
Hg	0.25	-	0.88	-	0.78
B	0.78	-	0.96	-	-

Tabel 3.2 Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen parameters; bepaald uit het geulprofiel met de laagste B/h-ratio in een meandersectie; correlatie-coëfficiënten zonder uitbijters in **vet**

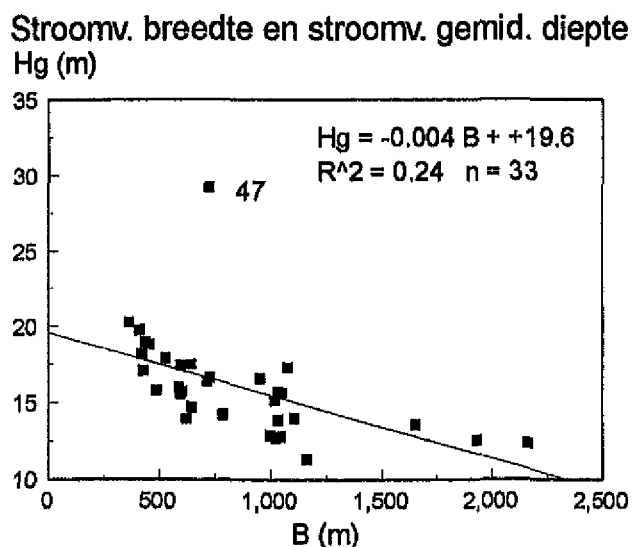
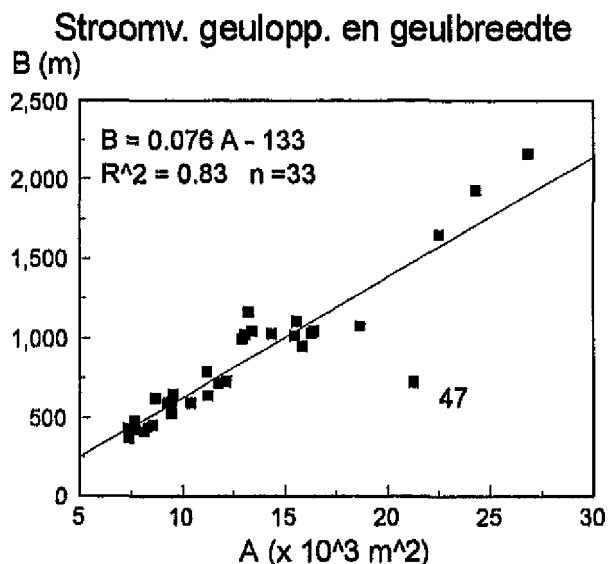
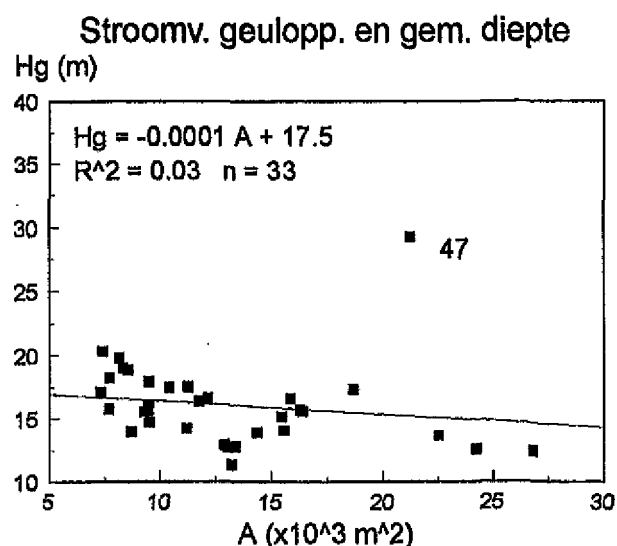
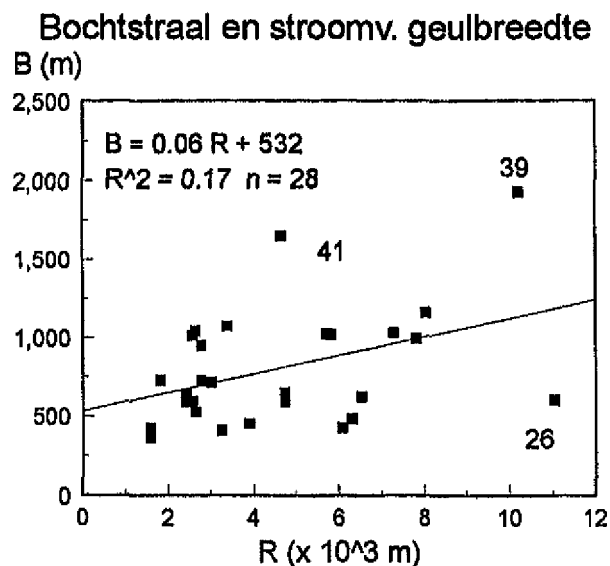
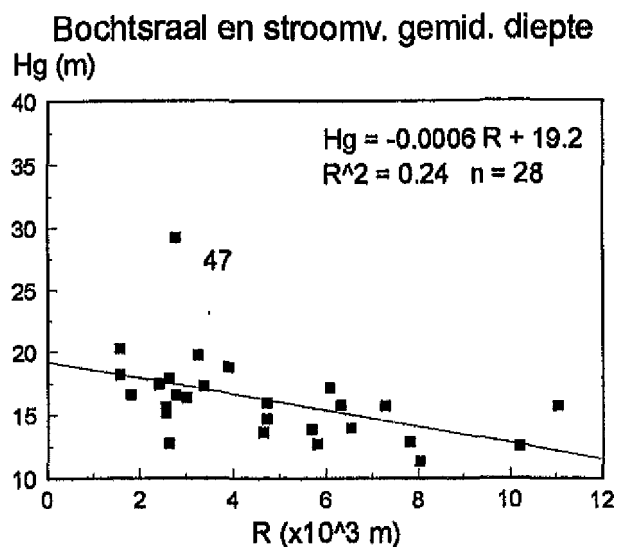
Vrijwel alle correlatie-coëfficiënten verbeteren in vergelijking met die van de gemiddelde waarden per meandersectie. De relaties met de meanderlengte en de bochtstraal blijven laag vergeleken met de relaties die betrekking hebben op de verticale geometrie. De relatie tussen R en B is matig en geeft aan dat, net als in rivieren, de geulbreedte via de secundaire stroming de meandervorm, c.q. de mate van kromming, beïnvloedt. Ook als uitbijters, de Pas van Terneuzen en de Bocht bij Hansweert, verwijderd worden, worden de correlaties niet sterker.

De relatie tussen de bochtstraal, de waterdiepte en de geulbreedte en tussen de waterdiepte en de geulbreedte is niet alleen per meanderdeel, maar ook per geulprofiel bepaald. Daarbij is tevens onderscheid gemaakt tussen het drempels en bochten en tussen de gehele Westerschelde en alleen het oostelijk deel. Het onderscheid tussen de gehele Westerschelde en het oostelijk deel is gemaakt omdat in het oostelijk deel van de Westerschelde veel lijkt op een meanderende rivier omdat daar een enkelvoudige hoofdgeul voorkomt. In tabellen 3.3 en 3.4 en in figuur 3.2 zijn de resultaten te vinden.



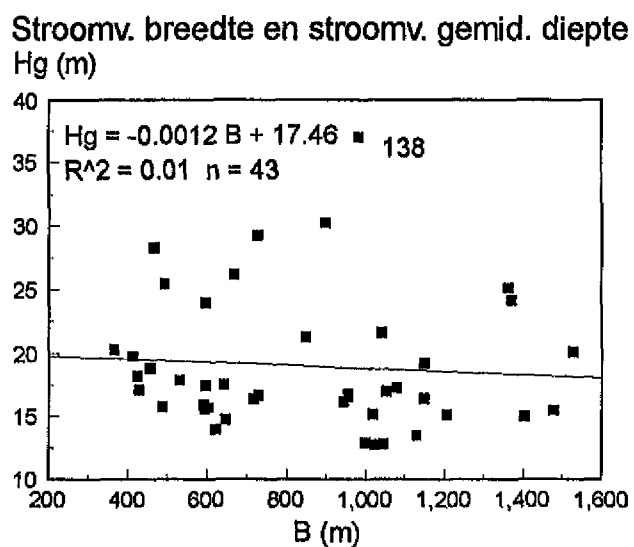
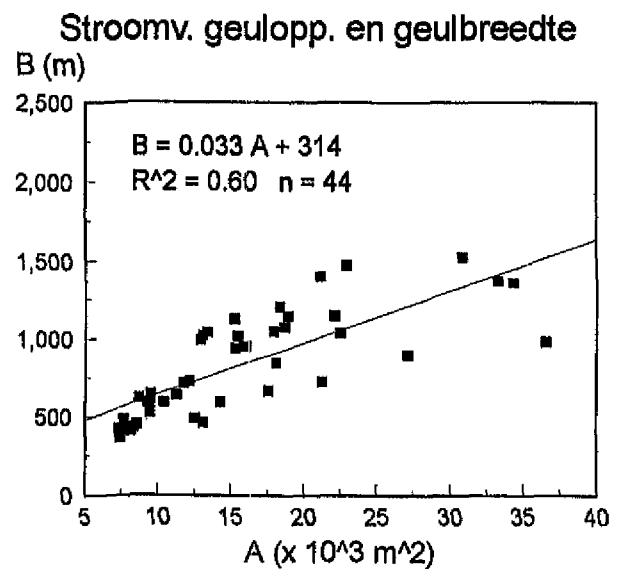
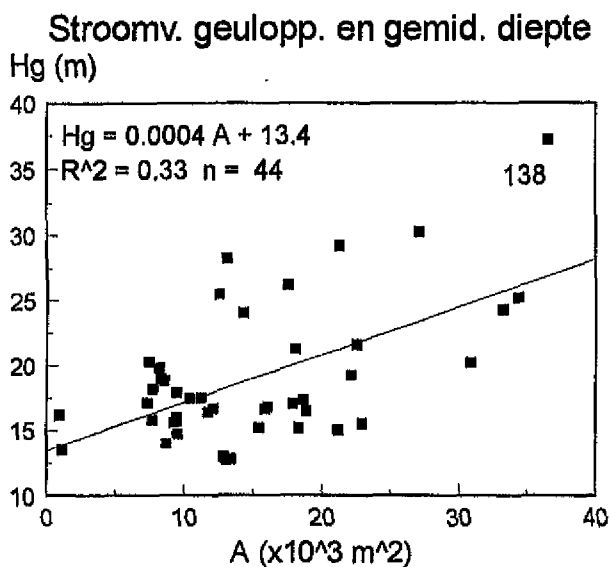
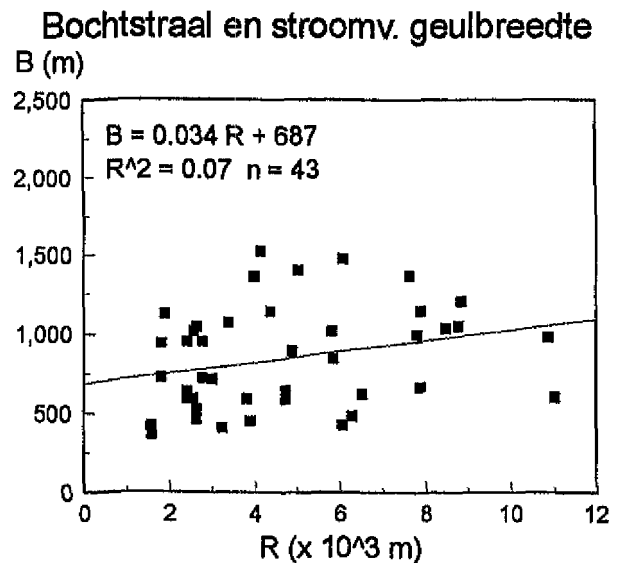
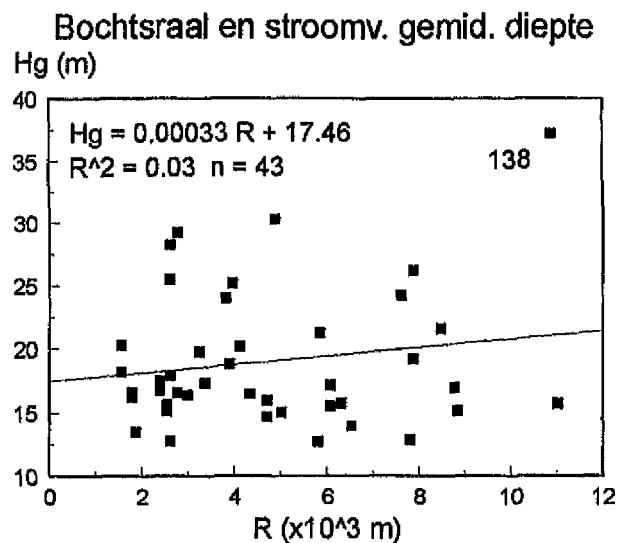
38 = Drempel van Hansweert
 138 = Honte

Figuur 3.2a. Relaties tussen parameters; per dwarsprofiel in de hoofdgeul in de Westerschelde



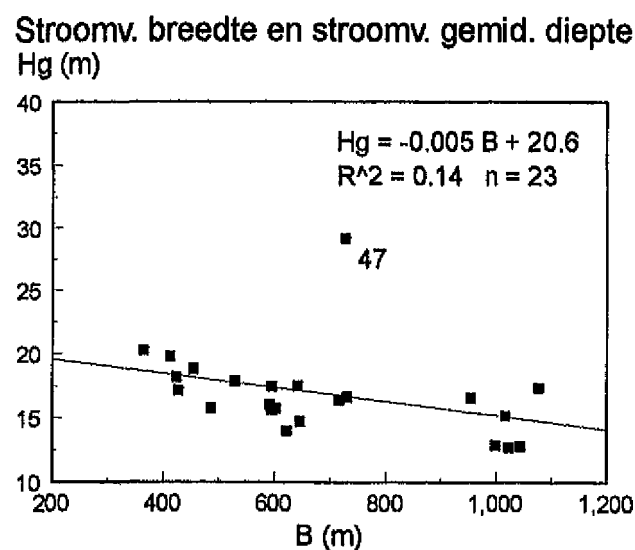
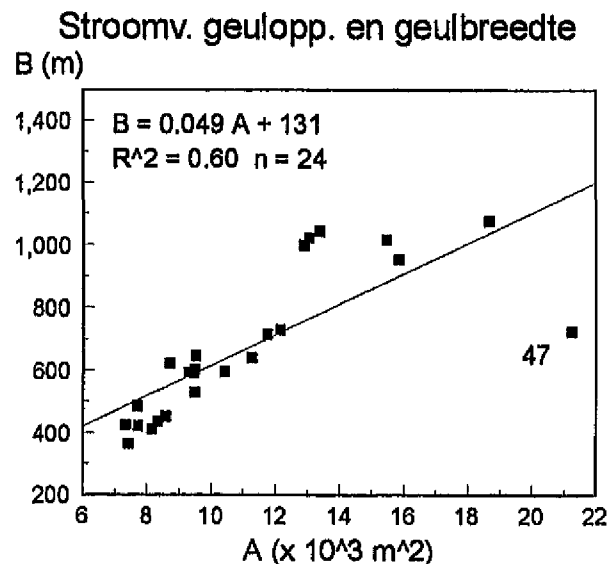
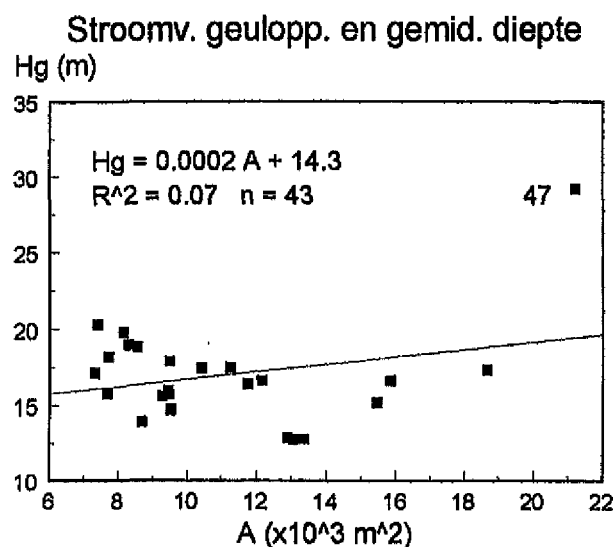
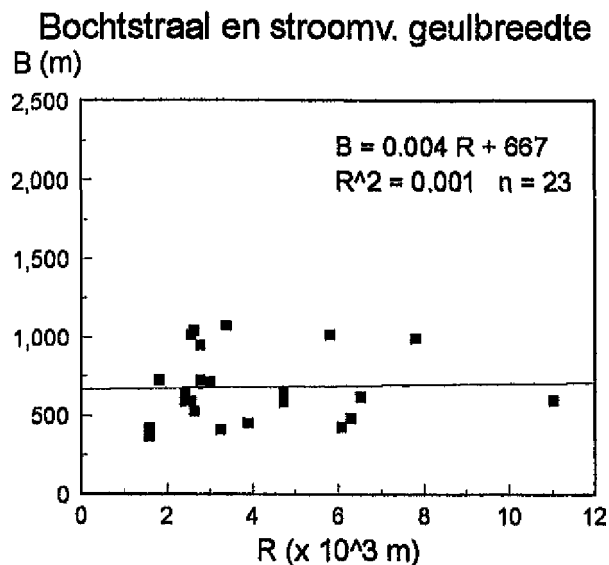
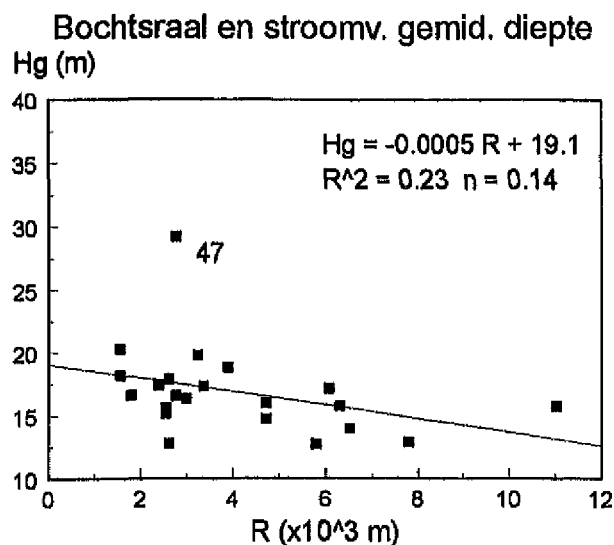
26 = Zuidergat
 39 = Drempel van Hansweert
 41 = Drempel van Hansweert
 47 = Put van Hansweert

Figuur 3.2b Relaties tussen parameters; per dwarsprofiel in de hoofdgeul in het oosten van de Westerschelde



138 = Honte

Figuur 3.2c Relaties tussen parameters; per dwarsprofiel in de hoofdgeul (zonder drempels) in de Westerschelde



47 = Put van Hansweert

Figuur 3.2d Relaties tussen parameters; per dwarsprofiel in de hoofdgeul (zonder drempels) in het oosten van de Westerschelde

In tabel 3.3 staan de correlatie-coëfficiënten van een aantal relaties per geulprofiel in de hoofdgeul van de Westerschelde.

	R		A		B	
Hg	0.01 (0.24)	0.02 (0.34)	0.17 (0.03)	0.08 (0.32)	0.07 (0.24)	0.10 (0.51)
B	0.13 (0.17)	0.14 (0.14)	0.13 (0.83)	0.14 (0.94)	-	

Tabel 3.3. Correlatie-coëfficiënten van de geulparameters per profiel in de hoofdgeul van gehele de Westerschelde en in het oostelijk deel van de Westerschelde (tussen haakjes); correlatie-coëfficiënten zonder uitbijters in vet

	R		A		B	
Hg	0.03 (0.23)	0.00 (0.21)	0.33 (0.07)	0.22 (0.14)	0.01 (0.14)	0.02 (0.14)
B	0.07 (0.00)		0.60 (0.60)	- (0.85)	-	

Tabel 3.4. Correlatie-coëfficiënten van de geulparameters per profiel in de hoofdgeul zonder de drempels in de gehele Westerschelde en in het oostelijk deel van de Westerschelde (tussen haakjes); correlatie-coëfficiënten zonder uitbijters in vet

De correlaties zijn over het algemeen laag. Het enige redelijk sterke verband, dat tussen A en B, is niet opzienbarend omdat de geulbreedte (B) een afgeleide is van het geuloppervlak (A). Over het algemeen bestaat er weinig verschil tussen de correlatie-coëfficiënten die betrekking hebben op de gehele Westerschelde en alleen het oostelijk deel van de Westerschelde. Ook maakt het feit of waarnemingen op de drempels bij de relaties zijn betrokken weinig verschil. De uitbijters in de grafieken worden gevormd door geulprofielen die sterk verstoord zijn zoals ontgrondingskuilen (Put van Hansweert) of drempels (Drempel van Hansweert). De correlaties verbeteren echter niet aanzienlijk als deze uitbijters worden weggelaten.

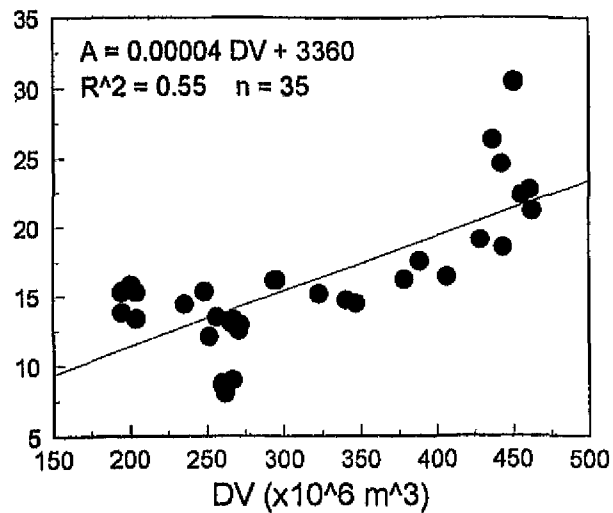
De in vergelijking met rivieren lage correlatie-coëfficiënten van de relaties van de parameters van de hoofdgeul in de Westerschelde heeft de volgende oorzaken:

1. door sterke menselijke beïnvloeding zijn de geulen in de Westerschelde uit evenwicht;
2. door de getijwerking variëren de relaties per lokatie sterk door verschillen in de dominantie van de getijfase en door aftapping door nevengeulen.

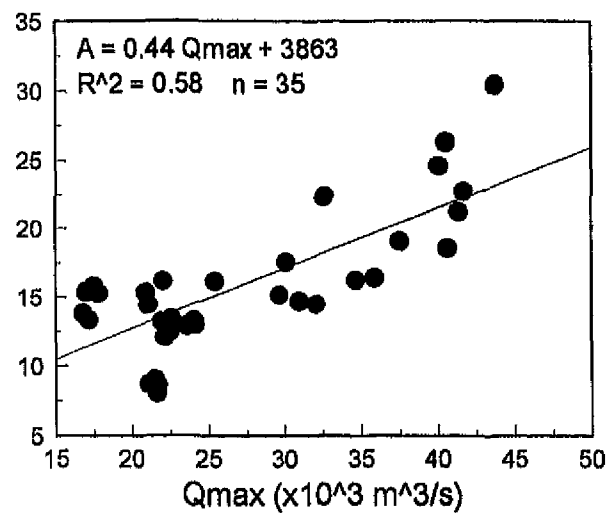
Waarschijnlijk zijn dus alleen lokaal, binnen bepaalde geulsegmenten waar één getijfase domineert, waar geen of weinig aftapping van water door nevengeulen plaatsvindt en de menselijke beïnvloeding gering is, de tussen de geulparameters sterk gecorreleerd.

Een aantal relaties tussen getijparameters en geulparameters zijn gebaseerd op berekeningen zijn het waterbewegingsmodel Scaldis100. De relaties zijn opgesteld voor de hoofdgeulen in het midden van de Westerschelde (bijlage A.4) In tabel 3.5 en figuur 3.3 staan de resultaten.

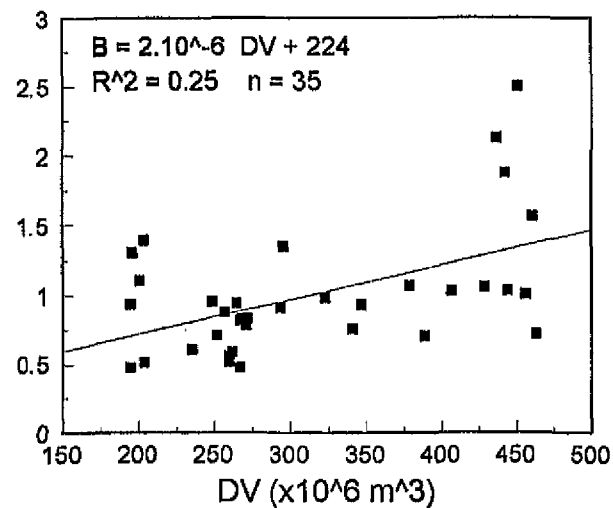
Dominant getijvolume vs. geuloppervlak
A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



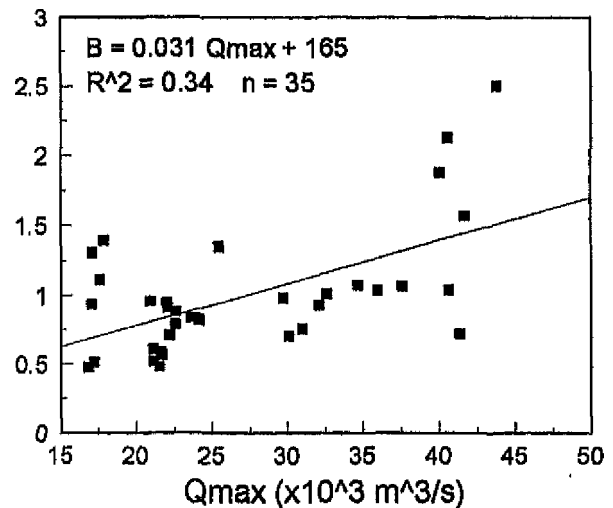
Maximaal debiet vs. geuloppervlak
A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



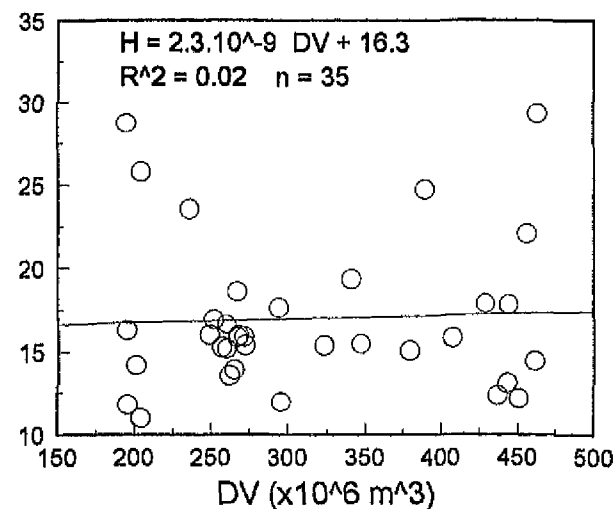
Dominant getijvolume vs. geulbreedte
B ($\times 10^3 \text{ m}$)



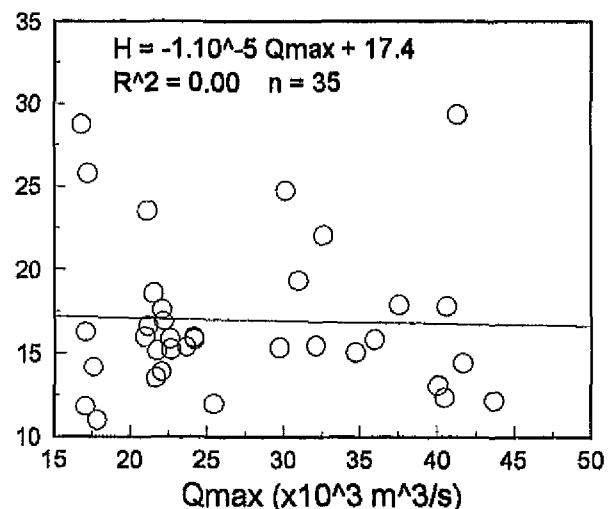
Maximaal debiet vs. geulbreedte
B ($\times 10^3 \text{ m}$)



Dominant getijvolume vs. waterdiepte
H (m)



Maximaal debiet vs. waterdiepte
H (m)



Figuur 3.3 Relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde

	A	B	H
DV	0.55 0.47 (0.62)	0.25 0.08 (0.33)	0.02 0.04 (0.43)
Q _{max}	0.58 0.44 (0.64)	0.34 0.10 (0.41)	0.00 0.02 (0.65)

Tabel 3.5 Correlatie-coëfficiënten van de relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul van het midden van de Westerschelde; correlatie-coëfficiënten zonder gegevens op de Drempel van Hansweert in **vet**; tussen haakjes de correlatie-coëfficiënten van de relaties met een gedwongen nulpunt

De correlatie met DV en Q_{max} ontlopen elkaar niet sterk. Opvallend is dat de correlatie tussen de waterbeweging en het geuloppervlak aanzienlijk minder sterk is dan die van Blik en Ruijter (1994). De oorzaak hiervan is dat de relatie van Blik en Ruijter (1994) gebaseerd is op gegevens van delen van geulen die min of meer in evenwicht zijn met de waterbeweging. Ze zijn dan ook onderling niet vergelijkbaar. De huidige set gegevens bevat dwarsprofielen die afkomstig zijn van delen van het estuarium, zoals drempels of ontgrondingskuilen, die uit evenwicht zijn met de waterbeweging. De relatie van Blik en Ruijter (1994) is overigens niet gebaseerd op het stroomvoerend geuloppervlak zoals de hier gepresenteerde relatie.

Tussen de waterbeweging en de geulbreedte en de waterdiepte bestaat hoegenaamd geen relatie.

De correlaties verslechteren als de gegevens op de Drempel van Hansweert (profielen 37, 38 en 39), het deel van de hoofdgeul dat het meest verstoord is, worden weggelaten (figuur 3.4).

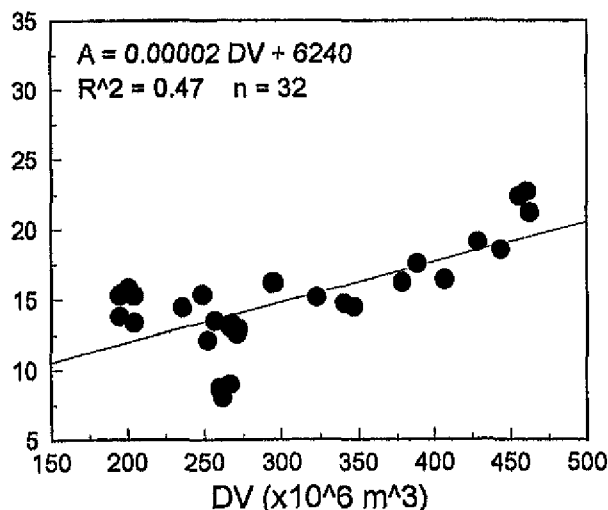
De bovenstaande relaties zijn ook opgesteld met een gedwongen nulpunt (figuur 3.5). Dit levert over het algemeen een geringe verbetering op van de correlatie-coëfficiënten (zie tabel 3.5).

3.4 Conclusies

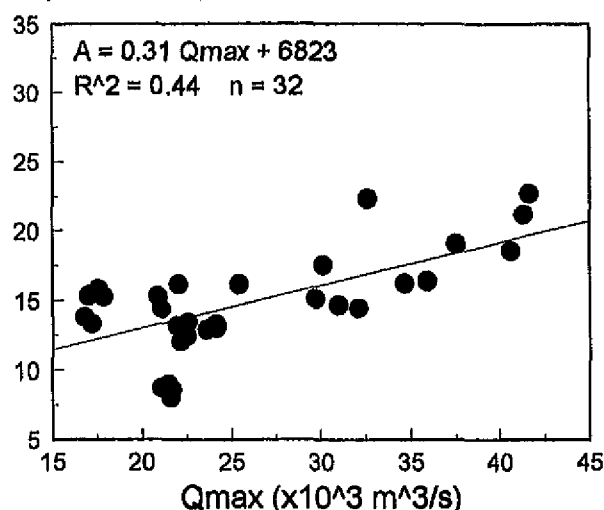
Gebaseerd op een beperkt aantal waarnemingen zijn een aantal relaties tussen geulparameters in de hoofdgeul van de Westerschelde opgesteld. De relaties tussen de horizontale meandergeometrie (meanderlengte en bochtstraal) en de verticale geometrie en debieten zijn over het algemeen zwak tot zeer zwak. De relaties tussen de geulparameters van de verticale geometrie (geuloppervlak, geulbreedte en waterdiepte) onderling zijn matig tot sterk. De oorzaken van de zwakke correlatie-coëfficiënten zijn:

1. uit evenwicht zijn van de morfologie door menselijke beïnvloeding
 2. door de getijwerking verschillen de relaties sterk per lokatie.
- De relaties zijn naar verwachting lokaal en bij geringe menselijke beïnvloeding wel sterk.

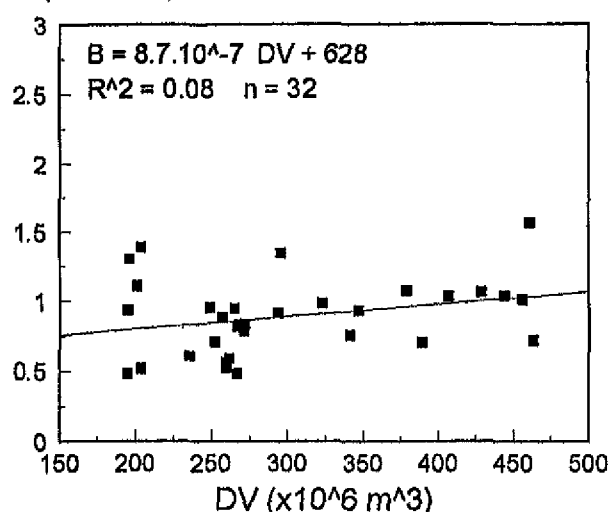
Dominant getijvolume vs. geuloppervlak
A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



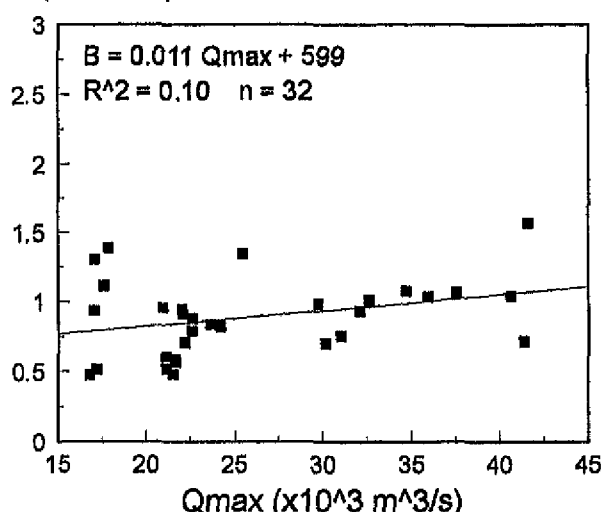
Maximaal debiet vs. geuloppervlak
A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



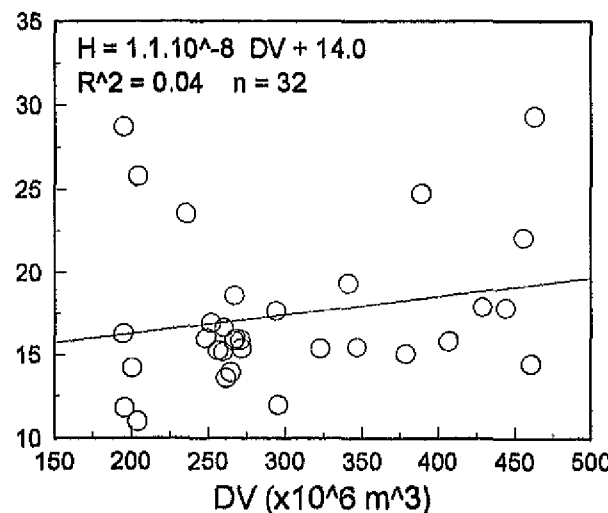
Dominant getijvolume vs. geulbreedte
B ($\times 10^3 \text{ m}$)



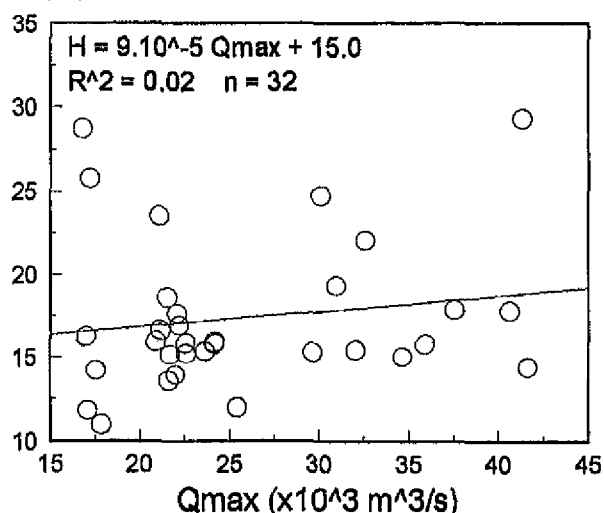
Maximaal debiet vs. geulbreedte
B ($\times 10^3 \text{ m}$)



Dominant getijvolume vs. waterdiepte
H (m)

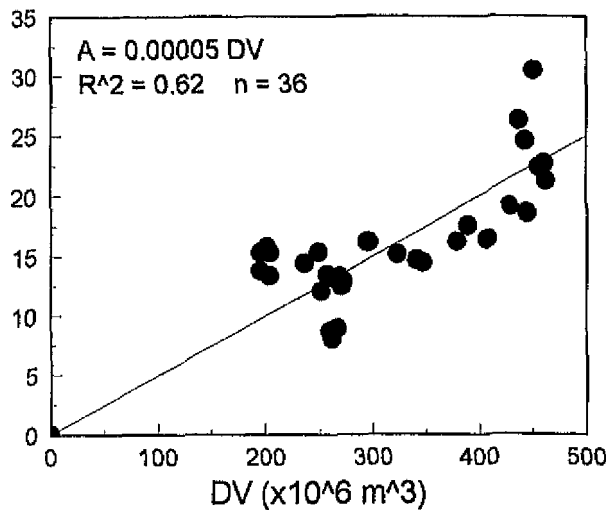


Maximaal debiet vs. waterdiepte
H (m)

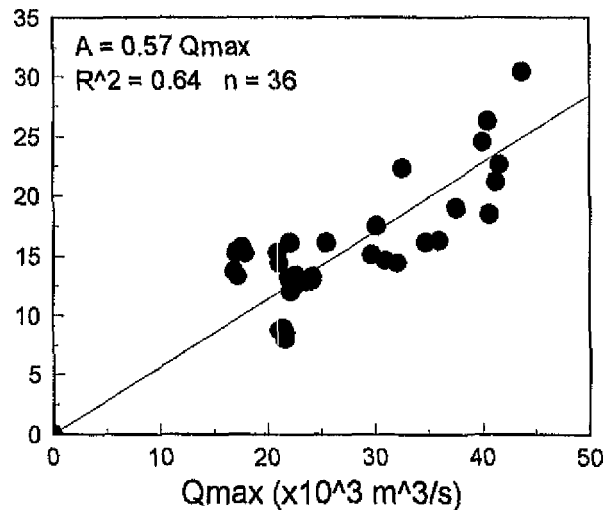


Figuur 3.4 Relaties tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul (zonder de Drempel van Hansweert) in het midden van de Westerschelde

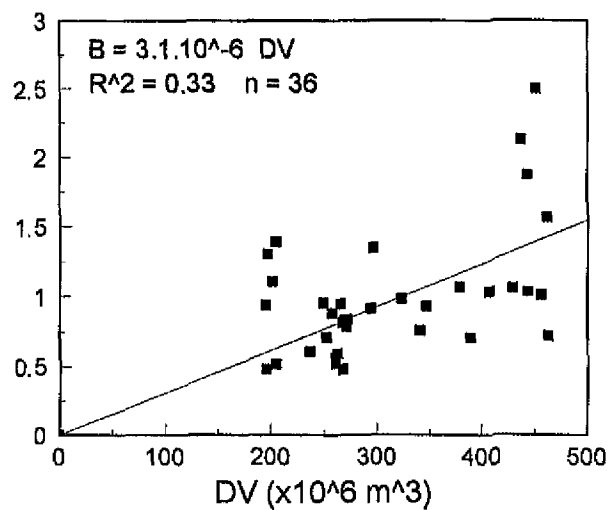
Dominant getijvolume vs. geuloppervlak
 A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



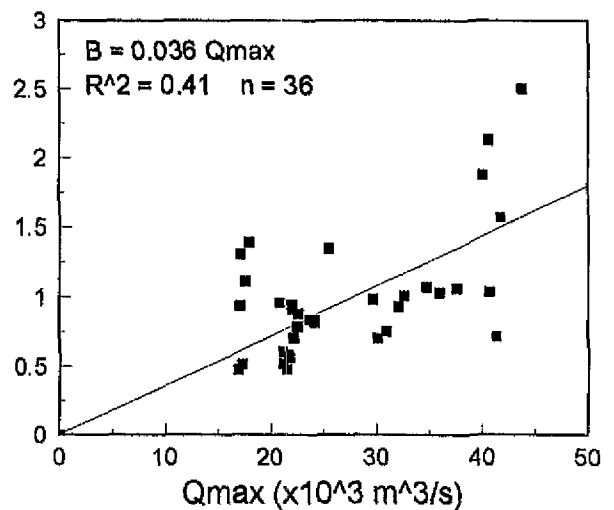
Maximaal debiet vs. geuloppervlak
 A ($\times 10^3 \text{ m}^2$)



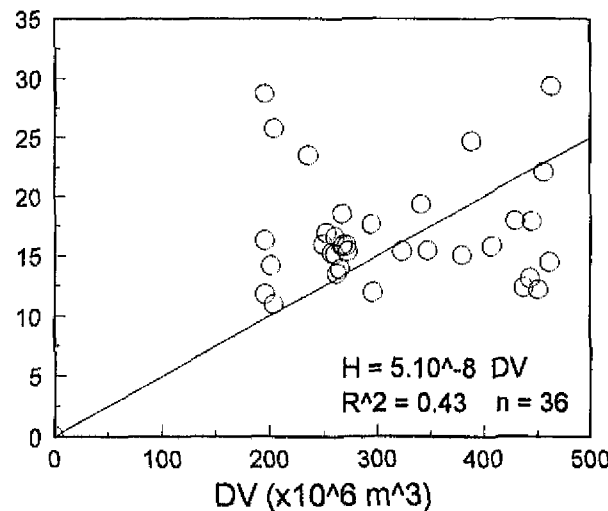
Dominant getijvolume vs. geulbreedte
 B ($\times 10^3 \text{ m}$)



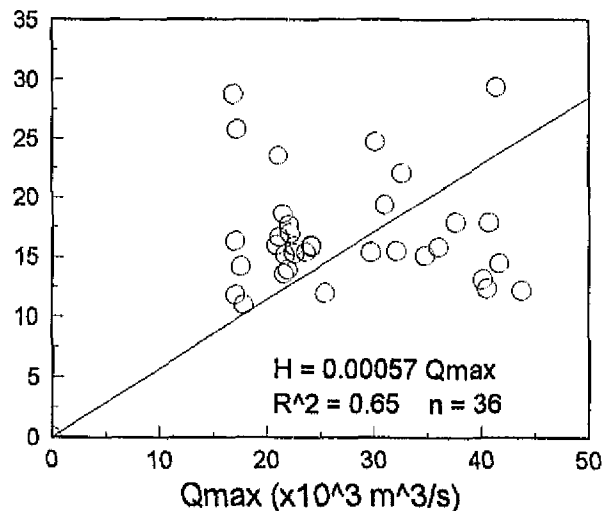
Maximaal debiet vs. geulbreedte
 B ($\times 10^3 \text{ m}$)



Dominant getijvolume vs. waterdiepte
 H (m)



Maximaal debiet vs. waterdiepte
 H (m)



Figuur 3.5 Relaties met een gedwongen nulpunt tussen de verticale geometrie en de waterbeweging (berekend met Scaldis100) in de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde

4 Verband tussen geulparameters en getijparameters op en rondom drempels in de periode 1960 - 1992

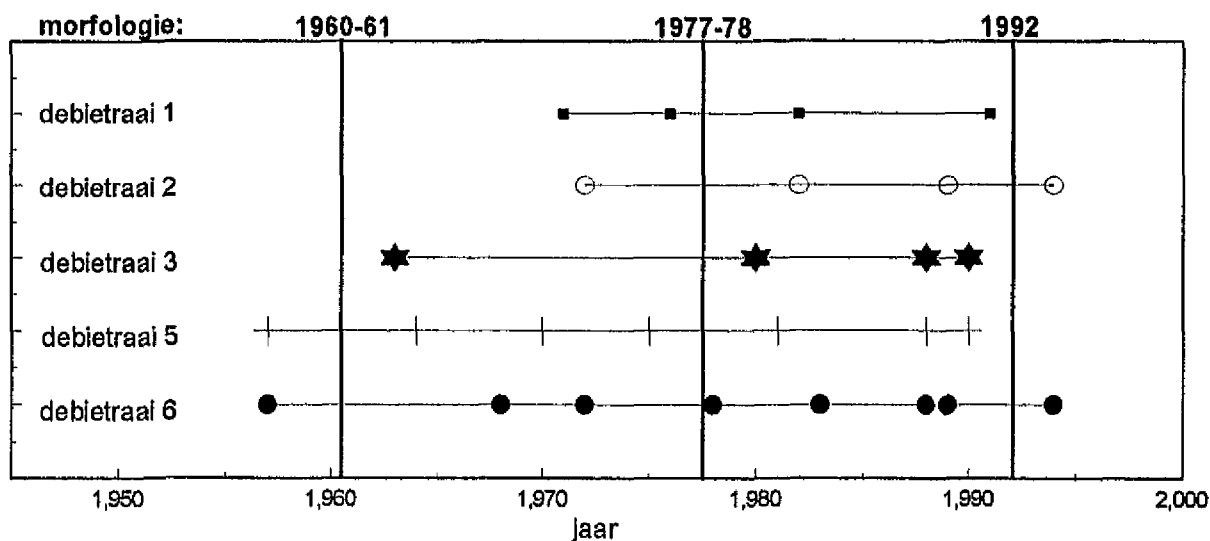
4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van de geulparameters van de geulen rondom de drie oostelijke drempels in de Westerschelde nader beschouwd en er wordt een koppeling gelegd met de ontwikkeling van het getij. Het betreft de drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert. Allereerst zal een beschrijving plaatsvinden in ruimte en tijd. De beschreven ruimte bevat behalve de drempels ook de geulen enkele kilometers stroomaf- en stroomopwaarts van de drempels. De beschreven periode omvat ruim 30 jaar die in de volgende perioden is opgedeeld: 1960/61 tot 1977-78 en 1977-78 tot 1992. In deel van de dwarsprofielen van 1992 is reeds ook gebruikt in de analyse in hoofdstuk 3. De keuze voor deze perioden is gebaseerd op de beschikbaarheid van goede gegevens (Blik en Ruijter, 1994) en geeft een globaal beeld over de ontwikkeling in de deze periode.

De beschrijving van de ontwikkeling van de geulparameters per drempel wordt gevolgd door een beschrijving van de ontwikkeling van getijvolumina in de debietraaien rondom de drempel. De getijvolumina zijn afkomstig van natuurmetingen die in de loop der tijd met onregelmatige tussenpozen in de Westerschelde in vaste raaien zijn verricht.

Na beide beschrijvingen zal getracht worden de ontwikkeling in ruimte en tijd van de geulparameters en de getijparameters met elkaar in verband te brengen. Een probleem daarbij is dat de opnamen van de morfologie en de getijvolumina niet gelijktijdig verricht zijn (figuur 4.1). Hierop wordt later teruggekomen.

Allereerst worden de verschillende geul- en getijparameters nader toegelicht.



Figuur 4.1 Jaren van de opname van de morfologie en de getijvolumina

4.2 Definities en methode

4.2.1 Geulparameters

De geulparameters zijn afgeleid uit bodemopnamen van de Westerschelde uit de jaren 1960/61, 1977/78 en 1992. Deze zijn in digitale vorm aanwezig. De bodemopnamen zijn omgezet in digitale terrein modellen (DTM), 'grids', met een celgrootte van 20 x 20 m. Met behulp van de Arc/Info-applicatie ProfielGIS (Uit den Bogaard, 1993) kunnen met de hand de lokaties van de gewenste dwarsprofielen in de DTM worden aangegeven, waarna vervolgens op geheel automatische wijze de verschillende geulparameters worden berekend. De profielen moeten zoveel mogelijk loodrecht op de geulas worden gelegd.

De geulparameters zijn afgeleid van het stroomvoerend vermogen zoals dat door Blik en Ruijter is gedefinieerd. In hoofdstuk is stroomvoerend vermogen al reeds besproken. De toevoeging q aan de parameters geeft aan dat ze afgeleid zijn van het stroomvoerend vermogen.

De volgende parameters die afgeleid zijn van het stroomvoerende dwarsprofiel worden in de analyse beschouwd.

Qq	=	doorstroomvermogen ($m^{8/3}$)
ACq	=	stroomvoerend oppervlak dwarsdoorsnede geul (m^2)
Bq	=	stroomvoerende breedte (m)
Hq	=	stroomvoerende gemiddelde diepte (m)
Bq/Hq	=	breedte/diepte-ratio van het stroomvoerende deel van de geul (-)
Sq	=	scheefheid geul (-) en wordt berekend door de afstand tot het zwaartepunt van het dwarsprofiel te delen door de stroomvoerende breedte; naarmate de scheefheid dichterbij 0.5 komt te liggen wordt de geul symmetrischer

Voor de berekeningswijze van bovenstaande parameters wordt verwezen naar Blik en Ruijter (1994) en Uit den Bogaard (1993).

Het fysische belang van bovenstaande parameters wordt hieronder kort toegelicht:

Qq	=	geeft het vermogen van een geul om water af te voeren aan. Hierbij tellen de diepe delen zwaarder mee dan de ondiepe delen;
ACq	=	geeft het oppervlak van een dwarsprofiel aan. Deze parameter heeft een sterk verband met het dominante getijvolume dat erdoor gaat (o.a. Van Kleef, 1991; $ACq = Bq \times Hq$ en deze parameters zijn dus onderling gerelateerd);
Bq	=	een primaire geometrische variabele van het dwarsprofiel van een geul. Deze parameter neemt in rivieren toe met het debiet (Klaassen en Vermeer, 1988; zie ook hoofdstuk 2).;
Hq	=	eveneens een primaire geometrische variabele van het dwarsprofiel van een geul. Deze parameter neemt in rivieren toe met het debiet (Klaassen en Vermeer, 1988; zie ook hoofdstuk 2);
Bq/Hq	=	is een maat voor de profielvorm en daarmee ook voor het stroomvoerendvermogen van een geul. Deze parameter is verder ook een maat voor de stabiliteit van een geul. Hierbij geldt dat naarmate de ratio lager wordt, en dus het geulprofiel relatief smaller en dieper, de stabiliteit toeneemt;
Sq	=	een maat voor de profielvorm en mogelijk ook een maat voor de sterkte van de secundaire

stroming in een geul.

In de beschrijving van de getijvolumina komt de volgende geulparameter voor die niet is afgeleid van het stroomvoerend oppervlak:

A_e = geuloppervlakte onder NAP 0 m (m^2)

4.2.2 Getijparameters

De debietgegevens zijn afkomstig van natuurmetingen in een aantal vaste raaien in de Westerschelde die sinds 1932 worden verricht (De Jong, 1989). De getijvolumina en debieten zijn herleid naar gemiddeld getij middels de getijfactor. De getijfactor is afgeleid uit het getij gemeten op het dichtst bij gelegen getijstation. Deze herleiding vond plaats om de metingen in de verschillende jaren te kunnen vergelijken (De Jong, 1989). Deze herleidde debieten zijn allesbehalve perfect. De herleidde metingen op twee achtereenvolgende dagen kunnen elkaar aanzienlijk ontlopen. De meetfout in de getijvolumina wordt geschat op 10 % (Gerritsen en De Jong, 1983). De getijvolumina zijn niet gecorrigeerd voor de rivierafvoer van de Schelde. En ze zijn niet gecorrigeerd met een zogenaamde evenredige getijfactor zoals door Termaat (1994) en Van Kleef (1994) is voorgesteld. Er is afgezien van de correctiemethoden omdat bij deze vrij grootschalige analyse de verbeteringen niet van belang worden geacht.

De debietgegevens zijn afkomstig van raai 1, 2, 3, 5 en 6 (Bijlage F).

De volgende parameters zijn afgeleid van de getijvolumina:

EV	=	ebvolume (m^3)
VV	=	vloedvolume (m^3)
TV	=	totaal getijvolume (m^3)
GV	=	getijvolumeverdelings-getal (-)
D	=	dominantie (-)
P	=	evenwichtsparameter (Blick en Ruijter, 1994)

Getijvolumeverdeling en dominantie

In estuaria met bidirectionele stroming is de grootte van de getijvolumina en de verhouding tussen eb- en vloedvolumina van invloed op de omvang en vorm van de dwarsdoorsnede van de geul. Van de getijvolumina zijn daarom parameters afgeleid die de verdeling van de getijvolumina tussen de verschillende geulen (getijvolumeverdelings-getal) in een estuariumdoorsnede en de in de geul dominerende getijvolumina (dominantie) weergeven.

De getijvolumeverdelings-getal is de verhouding van de ebvolumina of de vloedvolumina *tussen* twee of meer geulen. De berekening is als volgt:

$$GV = \frac{V_{geul}}{TV_{raai}} \quad (26)$$

waarin:

GV	=	getijvolumeverdelings-getal (-)
V_{geul}	=	eb- of vloedvolume van een geul (m ³)
TV_{raai}	=	totaal eb- of vloedvolume in alle geulen in een raai (m ³)

De dominantie (D) is de verhouding van de vloedvolumina en de ebvolumina *binnen* een geul (Van Kleef, 1994). De dominantie wordt als volgt gedefinieerd:

$$D = \frac{VV}{EV} \quad (27)$$

waarin:

D	=	dominantie (-)
VV	=	vloedvolume in een geul (m ³)
EV	=	ebvolume in een geul (m ³)

Door Blik en Ruijter (1994) is een 'evenwichtsparameter' (P) opgesteld. Deze parameter geeft aan in hoeverre een profiel in evenwicht is met de dominerende getijvolumina. Deze parameter is afgeleid uit de gegevens van alle debietraaien in de Westerschelde. Om fouten te vermijden is de parameter zo algemeen mogelijk gehouden: er is rekening gehouden met het aantal keren dat een debietraai is gemeten en er is geen rekening gehouden met verschillen tussen eb- en vloedgeulen. In rivieren geldt dat in een te ruim profiel (hier: $P > 1$) lagere stroomsnelheden optreden en dat leidt tot sedimentatie: het geulprofiel wordt kleiner (Richards, 1982). De evenwichtsparameter voor de Westerschelde is:

$$P = 14632 \frac{A_g}{DV} \quad (28)$$

waarin:

P	=	evenwichtsparameter (-)
A_g	=	geuloppervlak (m ²)
DV	=	dominant getijvolume (eb of vloed) (m ³)
14632	=	constante (m)

4.2.3 Methode

De analyse is beperkt tot de drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert. Tot deze beperking is overgegaan omdat het drempelonderzoek zich richt op de Drempel van Hansweert en omdat de andere drempels sterk op deze drempel lijken. De drempel van Hansweert is momenteel een drempel van het 'ontwijkende geulen'-type (Tank, 1995). Omstreeks 1960 was deze drempel nog van het 'botsende ebgeul'-type. Sindsdien is de drempel overgegaan tot het 'ontwijkende geulen'-type. De drempels van Bath en Valkenisse hebben een soortgelijke ontwikkeling doorstaan.

In bijlage D zijn de lokaties van de dwarsprofielen rondom de drempels weergegeven. Deze lokaties corresponderen met het verloop -van west naar oost- van de geulparameters in bijlage E. De afstand langs de horizontale as is de afstand van de geulprofielen in de doorgaande hoofdgeul. De lokaties van de parameters van de hoofdgeul aftakkeende nevengeulen komen overeen met de parallel lopende profielen in de hoofdgeul.

De parameters Q_q , AC_q en B_q , zijn behalve per geul ook cumulatief weergegeven, zodat ook de absolute ontwikkeling en de relatieve ontwikkeling van de geulparameters onderzocht kan worden.

In de beschrijvingen en analyse van de ontwikkeling van de geulparameters is er altijd, ook als dit niet expliciet is vermeld, sprake van parameters die van het doorstroomvermogen zijn afgeleid.

De beschrijvingen en analyse is nogal kwalitatief van aard omdat de gegevens van de morfologie en getijvolumina in ruimte en tijd elkaar niet dekken (Figuur 4.1), waardoor ze niet met grote betrouwbaarheid kwantitatief aan elkaar gerelateerd kunnen worden.

In de syntheses wordt ervan uitgegaan dat de waterbeweging de morfologische veranderingen genereert. Dit is natuurlijk de halve waarheid omdat de morfologie ook weer de waterbeweging beïnvloedt. Verder zijn de baggerwerkzaamheden direct van invloed geweest op de morfologie van de geulen en daarmee indirect ook op de waterbeweging. Als uitgangspunt wordt hier aangenomen dat de baggerwerkzaamheden met name van invloed zijn geweest op de grootte van het doorstroomoppervlak van de geulen en minder op de vormveranderingen -de verhouding tussen breedte en diepte- van die geulen.

4.3 Beschrijving en synthese

4.3.1 Inleiding

De ontwikkeling en de synthese van de geul- en getijparameters zullen achtereenvolgens van de drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert aan de orde komen.

Een uitvoerige beschrijving van de ontwikkeling en de synthese van de geul- en getijparameters per drempel is in bijlage H te vinden.

4.3.2 Drempel van Bath

Van belang voor de ontwikkeling van de Drempel van Bath is de ontwikkeling van het Vaarwater boven Bath - waarvan het benedenstroomse eind de drempel vormt- het Nauw van Bath, de Schaar van de Noord en de Appelzak.

Geulparameters

De lokatie van de dwarsprofielen is te vinden in bijlagen D.2 t/m D.4.

De ontwikkeling van de geulparameters op en rondom de Drempel van Bath is te vinden bijlage E.1.a t/m E.6.

Tabel 4.1 vat deze ontwikkeling samen.

geul	Nauw v Bath		Schaar vd Noord		Drempel v Bath		Vaarwater boven Bath		Appelzak		Bijl.
periode	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	
Qq ($10^3 \text{ m}^3/\text{s}$)	5	5	20	-3	20	15	10	3	-25	-5	E.1
ACq (10^3 m^2)	-1	3	3	-0.5	2	3	1.5	1.5	-4	-1	E.2
Bq (m)	-50	-50	150	-200	-150	200	-25	-25	-50	-50	E.3
Hq (m)	4	1	2	1	3	-1.5	3	3	-3	-2	E.4
Bq/Hq (-)	-25	5	-50	-75	-25	50	-15	-15	25	-20	E.5
Sq (-)	0.70/0.58	0.58/0.56	0.70/0.55	0.55/0.55	0.65/0.55	0.55/0.52	0.45/0.47	0.45/0.57	0.58/0.48	0.48/0.43	E.6
debletraal	2		2				1		1		
periode	1972-1977	1977-1992	1972-1977	1977-1992			1971-1977	1977-1992	1971-1977	1977-1992	
EV (10^6 m^3)	20	11	-25	-2			18	-5	-0.9	0.3	G
VV (10^6 m^3)	27	10	-2.3	-1			20	-8	0.5	-1.2	G
TV (10^6 m^3)	47	21	-48	-3			38	-13	-0.4	-1.5	G
Ac (10^3 m^2)	1.0	0.4	0.7	-0.2			0.4	0.3	-0.3	0.1	G
GVe (-)	0.11	0.01	-0.11	-0.04			0.01	-0.01	-0.01	-0.01	G
GVv (-)	0.12	0.03	-0.10	-0.07			0.01	-0.02	-0.01	-0.01	G
D (-)	0.10	0.03	0.28	0.05			0.02	-0.02	0.7	-0.6	G
P (-)	-0.06	-0.03	0.25	-0.01			-0.08	0.02	-0.8	0.44	G

Tabel 4.1 Veranderingen in de geul- en getijparameters tussen 1960 tot 1992 rondom de Drempel van Bath. De betekenis van de afkortingen is te vinden in paragraaf 4.2.

Uit de tabel en de bijlage E valt de volgende algemene ontwikkeling af te leiden:

Alle geulsecties rondom de drempel van Bath ondergaan in de periode 1960-61 tot 1992 een toename van het doorstroomvermogen. In de periode 1960-61 tot 1977-78 is dit vooral een gevolg van het dieper worden terwijl de breedte afneemt. In de periode 1977-78 tot 1992 wordt de geul ondieper terwijl de breedte juist toeneemt. Deze netto verbreding en verdieping is zodanig dat de breedte/diepte-ratio over het algemeen afneemt, het geulprofiel wordt dus relatief diep en smal. Een uitzondering hierop is het geulprofiel van de drempel zelf; deze wordt ook breder en dieper maar zodanig dat de breedte/diepte-ratio tussen 1960-61 en 1992 toeneemt en het drempel profiel dus relatief breed en ondiep wordt. De hoofdgeul wordt netto ook aanzienlijk symmetrischer; dat treed vooral op tussen 1960-61 en 1977-78.

Het doorstroomvermogen van de Schaar van de Noord neemt door de verdieping vrij aanzienlijk toe. Ook wordt

de Schaar symmetrischer. In de Appelzak neemt in het algemeen het doorstroomvermogen af door afname van de diepte.

Getijparameters

De ontwikkeling van de getijvolumina van debietraaien 1 en 2 kan gerelateerd worden aan de ontwikkeling van de geulparameters. Debietraai 1 is gelegen dwars over het Vaarwater boven Bath en de Appelzak (bijlage F), ongeveer 2 km stroomopwaarts van het hier geanalyseerde gebied. Debietraai 2 ligt in het westelijk deel van het Nauw van Bath en de Schaar van de Noord (bijlage F). Zowel debietraai 1 als 2 worden pas sinds het begin van jaren '70 gemeten en vergelijking met de ontwikkeling van de geulparameters in de gehele periode 1960-61 tot 1992 is dus niet mogelijk.

Het verloop van de getijvolumina en de daarvan afgeleide parameters in debietraai 1 en 2 is weergegeven in bijlage G. De waarden zijn opgesomd in bijlage G.6.

In tabel 4.1 wordt de ontwikkeling van de getijparameters in de debietraaien 1 en twee samengevat. Uit de tabel en de bijlage valt de volgende algemene ontwikkeling af te leiden:

De doorgaande hoofdgeul die bestaat uit het Vaarwater boven Bath, de Drempel van Bath en het Nauw van Bath trekt tussen 1971-72 en 1991-94 meer eb- dan vloedvolume. Dit wordt verklaard door een algemene toename van de getijvolumina in de loop van de tijd en in het geval van het Nauw van Bath ook door verandering van de debietverdeling met de Schaar van de Noord (toename getijvolumeverdelings-getal in het Nauw van Bath). De Schaar van de Noord trekt daardoor in de loop van de tijd minder debiet; de rol van de Appelzak is verwaarloosbaar.

De verhouding tussen eb- en vloedvolume van het Vaarwater blijft tussen 1971 en 1991 min of meer gelijk en dus gering ebgedomineerd; het Nauw van Bath wordt iets minder ebdominant alhoewel het ebvolume in deze geul aanzienlijk groter blijft dan het vloedvolume.

Alle geulen in debietraai 1 en 2 zijn of worden in de beschouwde periode te ruim in verhouding tot het dominerende getijvolume. Het Nauw van Bath is hierop een uitzondering; deze wordt juist krapper.

Synthese

Het lijkt erop dat de vergroting van de getijvolumina in de doorgaande hoofdgeul, die gevormd wordt door het Vaarwater boven Bath, de Drempel van Bath en het Nauw van Bath, tussen 1960-61 en 1977-78 een vergroting van stroomvoerend oppervlak veroorzaakte. De vergroting ontstaat voornamelijk door een verdieping, d.w.z. een relatief smaller maar dieper geulprofiel, dus ook van de Drempel van Bath. Toen in de periode erna, van 1977-78 tot 1992, de toename van de getijvolumina afnam bleef het stroomvoerend oppervlak van de hoofdgeul toenemen. Dit werd veroorzaakt door een verbreding ondanks een verondieping. De toename van de getijvolumina in de doorgaande hoofdgeul is enerzijds een gevolg van een absolute toename van de getijvolumina en anderzijds van een verandering in de verdeling van de getijvolumina tussen de hoofdgeul en de nevengeulen Schaar van de Noord en Appelzak.

Het afnemende doorstroomvermogen en stroomvoerend oppervlak van de Schaar van de Noord en van de Appelzak in de periode 1977-78 tot 1992 komt overeen met de afnemende getijvolumina in deze geulen. In de Schaar van de Noord heeft dit een smaller maar dieper geulprofiel tot gevolg; in de Appelzak nemen zowel de breedte als de gemiddelde diepte af. De Schaar van de Noord en de Appelzak worden beide gekenmerkt door

hoge dynamiek gehalte, zeker in verhouding tot de hoofdgeul. Mogelijk zijn de baggerwerkzaamheden een verklaring voor de hoge dynamiek.

4.3.2 Drempel van Valkenisse

Van direct belang voor de ontwikkeling van de Drempel van Valkenisse zijn de aanpalende geulen de Overloop van Valkenisse en het Nauw van Bath en verder de nevengeulen de Zimmermangeul en de Schaar van de Noord (bijlage D.1).

Geulparameters

De lokaties van de geulprofielen rondom de drempel van Valkenisse staan aangeven in bijlage D.2 t/m D.4.

De ontwikkeling van de geulparameters op en rondom de Drempel van Valkenisse is te vinden bijlage E.1.a t/m E.6. Tabel 4.2 vat deze ontwikkeling samen. Uit de tabel en de bijlage is de volgende algemene ontwikkeling af te leiden:

geul	Zimmermangeul		Overloop v Valkenisse		Drempel v Valkenisse		Nauw v Bath		Schaar vd Noord		Bijl.
periode	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	
Qq ($10^3 \text{ m}^3/\text{s}$)	8	-10	10	20	30	20	5	5	20	-3	E.1
ACq (10^3 m^3)	2	-3	1	3	2	3	-1	3	3	-0.5	E.2
Bq (m)	150	-300	-100	-200	-50	100	-50	-50	150	-200	E.3
Hq (m)	3	-2	4	-1	4	0	4	1	2	1	E.4
Bq/Hq (-)	75	-150	-35	35	-45	15	-25	5	-50	-75	E.5
Sq (-)	?	?	0.35/0.40	0.40/0.35	0.58/0.45	0.45/0.50	0.70/0.58	0.58/0.56	0.70/0.55	0.55/0.55	E.6
debletraai	3		3				2		2		
periode	1960-1977	1977-1990	1960-1977	1977-1990			1972-1977	1977-1992	1972-1977	1977-1992	
EV (10^6 m^3)	0	-37	29	8			20	11	-25	-2	G
VV (10^6 m^3)	-4	-32	21	36			27	10	-2.3	-1	G
TV (10^6 m^3)	-4	-69	50	44			47	21	-4.8	-3	G
Ac (10^3 m^3)	1.5	-1.2	1.6	2.1			1.0	0.4	0.7	-0.2	G
GVe (-)	-0.02	-0.13	0.03	0.10			0.11	0.01	-0.11	-0.04	G
GVv (-)	-0.05	-0.11	0.03	0.13			0.12	0.03	-0.10	-0.07	G
D (-)	-0.07	0.32	-0.05	0.15			0.10	0.03	0.28	0.05	G
P (-)	0.30	-0.65	-0.02	0.11			-0.06	-0.03	0.25	-0.01	G

Tabel 4.2 Veranderingen in de geul- en getijparameters in de perioden van circa 1972 tot 1977 en van 1977 tot 1992 rondom de Drempel van Valkenisse. De betekenis van de afkortingen is te vinden in paragraaf 4.2.

Het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak van de doorgaande hoofdgeul, die bestaat uit de Overloop van Valkenisse en het Nauw van Bath, nemen gedurende de periode 1960-61 tot 1992 toe. Een uitzondering hierop is het bovenstroomse gedeelte van de Drempel van Valkenisse; daar is sprake van een afname van deze parameters.

De toename van het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak in de hoofdgeul was in de periode 1960-61 tot 1977-78 vooral het gevolg van een verdieping met circa 3 m. Deze parameters nemen ondanks een versmalling van de geul toe. In de periode erna, 1977-78 tot 1992, verbreedt de Overloop van Valkenisse zich en neemt iets in diepte af; de breedte/diepte-ratio neemt dan dus weer toe. Het Nauw van Bath wordt in die periode enigszins dieper en blijft in breedte min of meer constant; de breedte/diepte-ratio neemt dus licht af of blijft gelijk. Netto is er daardoor sprake van een afname van de breedte/diepte-ratio op de drempel.

De vrijwel constante breedte van het Nauw van Bath is waarschijnlijk een gevolg van kleibanken in de noordoever waardoor de geul nauwelijks kan migreren. Het Nauw van Bath en het bovenstroomse deel van de drempel worden in de periode 1960-61 tot 1992 geleidelijk aan symmetrischer. De Overloop van Valkenisse wordt in de eerste periode minder asymmetrisch en in de periode erna weer iets asymmetrischer. Netto blijft de Overloop van Valkenisse net zo asymmetrisch als in 1960-61.

Het doorstroomvermogen en stroomvoerend oppervlak van de Schaar van de Noord nemen vrij aanzienlijk toe. Dit is vooral een gevolg van de verdieping ervan. De Zimmermangeul neemt tussen 1960-61 en 1977-78 eerst in breedte en diepte toe, en dus ook in stroomvoerend vermogen en doorstroomoppervlak, Na 1977-78 neemt de breedte en diepte af. De Schaar van de Noord wordt in de gehele periode 1960-61 tot 1992 per saldo symmetrischer.

Getijparameters

Het verloop van de getijvolumina en de daarvan afgeleide parameters in debietraaien 2 en 3 is grafisch weergegeven in bijlage G. De waarden zijn opgesomd in bijlage G.6.

In tabel 4.2 wordt de ontwikkeling van de getijparameters samengevat. Uit de tabel en de bijlage valt de volgende algemene ontwikkeling af te leiden:

De eb- en vloedvolumina van de Overloop van Valkenisse nemen tussen 1963 en 1990 met respectievelijk 20 en 35 % toe. De eb- en vloedvolumina van het Nauw van Bath nemen tussen 1972 en 1994 met respectievelijk 25 en 55 % toe. Deze toename heeft twee oorzaken:

- 1) een toename van de totale getijdebieten in dit deel van het estuarium en
- 2) een verandering van de debietverdeling ten koste van de Zimmermangeul en de Schaar van de Noord.

De dominantie in de Overloop van Valkenisse ter plekke van raai 3 neemt licht toe waardoor de licht ebdominante geul indifferent wordt: het ebvolume is vrijwel even groot als het vloedvolume. Ook in het Nauw van Bath neemt de dominantie licht toe maar de geul blijft sterk ebgedomineerd. Dat het verschil tussen eb- en vloedvolumina in het Nauw van Bath veel groter is dan in de Overloop van Valkenisse ligt waarschijnlijk aan het feit dat debietraai 2 vlak bij de Drempel van Valkenisse ligt terwijl debietraai 3 daar op een aanzienlijke afstand -ruim 1 km- van ligt: op de drempel namelijk is er sprake van een aanzienlijke ruimtelijke scheiding van de stroomdraden van de eb- en vloedvolumina tussen de verschillende geulen (Tank, 1995).

De nevengeulen Zimmermangeul en Schaar van de Noord -deze laatste na 1972- trekken in de loop van de tijd minder debiet. Dit ondanks de toename van de totale debieten in dit deel van het estuarium. Dit is het gevolg van een sterke verandering van de verdeling van de getijvolumina tussen hoofd- en nevengeulen.

De hoofdgeulen zijn aanvankelijk te krap maar worden in de loop van de tijd steeds ruimer ze raken rond 1990 min of meer in evenwicht met het dominante getijvolume. De nevengeulen zijn ook aanvankelijk te krap -in 1963

in de Zimmermangeul en in 1972 in de Schaar van de Noord- maar rond 1990 worden ze te ruim voor het dominante getijvolume.

Synthese

De vergroting van de getijvolumina in het gebied rond de Drempel van Valkenisse hebben waarschijnlijk een vergroting van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend dwarsoppervlak van de Overloop van Valkenisse en het Nauw van Bath tussen 1960-61 en 1992 tot gevolg gehad. In het Nauw van Bath is dit in ieder geval aantoonbaar tussen 1977-78 en 1992. De vergroting van beide parameters treedt met name op in de Overloop van Valkenisse, dus ook op de Drempel van Valkenisse. In het Nauw van Bath is de verandering in de parameters relatief gering in vergelijking met die in de Overloop van Valkenisse. De vergroting van de getijvolumina in de hoofdgeul is het gevolg van een absolute toename van de getijvolumina in het gehele gebied en een relatieve toename ten koste van de nevengeulen, de Zimmermangeul en de Schaar van de Noord. Dit uit zich in een afname van getijvolumeverdelings-getal van de nevengeulen.

In de periode 1960-61 tot 1977-78 neemt de breedte van de hoofdgeul en de drempel, met gemiddeld zo'n 100 m aanzienlijk af. De diepte neemt in deze periode met enkele meters toe. De breedte/diepte-ratio neemt in de hoofdgeul als gevolg hiervan af. In de periode daarna van 1977-78 tot 1992 neemt de breedte in de Overloop toe terwijl de diepte gering afneemt. In het Nauw van Bath is de breedte min of meer constant en neemt de diepte iets toe; de breedte/diepte-ratio blijft in het Nauw van Bath klein ten opzichte van die in 1960-61.

De asymmetrie van de hoofdgeulen is in de periode 1960-61 tot 1992 netto afgenomen. Dit werd niet verwacht bij een toename van de getijvolumina in te krappe geulen.

De relatie tussen de getijvolumina en het stroomvoerend oppervlak van de Zimmermangeul is in de periode 1977-78 tot 1992 vertoont een samenhang: ze nemen beide af. In de periode 1960-61 tot 1977-78 is dit verband er niet. Het stroomvoerend oppervlak in de Schaar van de Noord neemt na 1972 ondanks de afnemende getijvolumina toe; de geul wordt smaller en dieper. Een verklaring hiervoor is dat beide parameters op verschillende tijden gemeten zijn, terwijl beide nevengeulen worden gekenmerkt door een hoge variabiliteit.

4.3.3 Drempel van Hansweert

Het Zuidergat, de Schaar van Waarde, de Schaar van Ossenis en ook, zij het in iets mindere mate, de Overloop van Hansweert en het Middelgat zijn van belang voor de ontwikkeling van de Drempel van Hansweert.

Geulparameters

De lokaties van de geulprofielen rondom de Drempel van Hansweert staan aangegeven in bijlage D.5 t/m D.7. De ontwikkeling van de geulparameters op en rondom de Drempel van Hansweert is te vinden bijlage E.7 t/m E.12. Tabel 4.3 vat deze ontwikkeling samen. Uit tabel 4.3 en de bijlage is de volgende globale ontwikkeling te distilleren:

Netto is er in de periode van 1960-61 tot 1992 sprake van een geringe toename van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak van de dwarssecties rondom de Drempel van Hansweert. In de hoofdgeul nemen deze beide parameters toe. In de nevengeulen nemen ze in dezelfde periode af. Met name het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak in het bovenstroomse eind van het Zuidergat, daar waar de Drempel van Hansweert zich bevindt, nemen zeer aanzienlijk toe. Dit wordt gedeeltelijke veroorzaakt door het naar het zuiden

opschuiven van de ondiepe rug tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde. In de periode 1960-61 tot 1977-78 nemen de breedte en de diepte op de drempel aanzienlijk toe. Daarna, tussen 1977-78 en 1992, is de diepte min of meer constant maar neemt de breedte verder toe, vooral in het zuidelijke deel van de drempel. Een gevolg van deze ontwikkelingen is een forse toename van de breedte/diepte-ratio in het drempelgebied. Het Zuidergat, dat ten zuiden van de drempel ligt, neemt in de eerste periode vooral in diepte en in de tweede periode vooral in breedte toe; in beide perioden nemen hierdoor het stroomvoerend vermogen en doorstroomoppervlak toe. Ook wordt het Zuidergat gedurende de gehele periode 1960-61 tot 1992 asymmetrischer. De Put van Hansweert en de Overloop van Hansweert worden netto minder breed, maar wel iets dieper en daardoor ook symmetrischer.

Het doorstroomvermogen en stroomvoerend oppervlak in het bovenstroomse deel van het Middelgat neemt aanzienlijk af.

Het doorstroomvermogen van de Schaar van Ossenissee gaat netto achteruit. Dit ondanks een kleine toename in de periode van 1960-61 tot 1977-78. De Schaar van Ossenissee wordt netto zowel smaller als ondieper.

De Schaar van Waarde wordt vooral in de eerste periode van 1960-61 tot 1977-78 minder breed en minder diep.

Getijparameters

Het verloop van de getijvolumina en de daarvan afgeleide parameters in de debietraaien 5 en 6 is grafisch weergegeven in bijlage G. De waarden zijn opgesomd in bijlage G.6.

De debietraai 5, die ligt in het Zuidergat en de Schaar van Waarde, is sinds 1990 circa een kilometer in stroomopwaartse richting verplaatst en de raai heet nu 5A (bijlage F). Deze verplaatsing vond plaats om een goede scheiding door de Plaat van Walsoorden in de debieten tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde te houden; in de loop van de tijd namelijk is de ondiepte die het Zuidergat van de Schaar van Waarde scheidde min of meer verdwenen.

In tabel 4.3 wordt de ontwikkeling van de getijparameters samengevat. Uit de tabel en de bijlage valt de volgende algemene ontwikkeling af te leiden:

Zowel de eb- als vloedvolumina in het Zuidergat, waarvan aan het bovenstroomse eind de Drempel van Hansweert ligt, nemen tussen 1957 en 1994 aanzienlijk toe. De toename was respectievelijk 30 en 70 %. De oorzaak hiervan is een absolute toename van de getijvolumina in de Westerschelde en een relatieve toename door een verandering van de getijvolumina ten koste van de Schaar van Waarde. De dominantie van de ebgedomineerde geul neemt toe in dezelfde periode zodat de geul licht ebgedomineerd wordt. De toename van de getijvolumina in het Zuidergat gaat ten koste van die in de Schaar van Waarde.

In het Gat van Ossenissee en dus ook in de Overloop van Hansweert nemen van 1957 tot 1994 de getijvolumina aanzienlijk toe. Dit heeft twee oorzaken; de veranderende debietverdeling die ten koste gaat van het Middelgat en een absolute toename in de getijvolumina.

Synthese

Tussen 1957 en 1994 nemen in het Zuidergat de getijvolumina toe. Parallel hieraan neemt in het Zuidergat en dan met name op de Drempel van Hansweert het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak toe. In de periode 1960-61 tot

geul	Middelgat		Overloop v Hansweert		Put van Hansweert		Schaar v Ossensisse		Drempel v Hansweert		Schaar v Waarde		Zuidergat		Bijl.
periode	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	1960-1977	1977-1992	
Qq (10 ³ m ³)	-10	-25	30	20	-50	25	-30	0	75	40	-30	0	20	20	E.1
ACq (10 ³ m ³)	-4	-3	-3	2	-6	2	1	-2	10	10	-5	2	2	2	E.2
Bq (m)	-500	200	200	-100	0	-100	-250	300	400	400	-300	0	0	200	E.3
Hq (m)	3	-4	-3	3	-1	2	3	-1	3	0.5	-1	1	2	1	E.4
Bq/Hq (-)	-30	-30	20	-15	-10	-5	-75	50	50	50	-30	20	-10	20	E.5
Sq (-)	?	?	0.65/0.62	0.62/0.52	0.62/0.58	0.58/0.50	?	?	0.55/0.52	0.52/0.56	?	?	0.40/0.35	0.35/0.31	E.6
debietraai	6		6 (Gar van Ossensisse)								5		5		
periode	1961-1977	1977-1992	1961-1977	1977-1992							1961-1977	1977-1992	1961-1977	1977-1992	
EV (10 ⁶ m ³)	-37	-39	81	18							-51	-33	37	21	G
VV (10 ⁶ m ³)	-20	-20	72	-13							-58	-76	59	30	G
TV (10 ⁶ m ³)	-57	-59	153	5							-109	-109	96	51	G
Ac (10 ³ m ³)	-3.3	-2.3	2.4	0.7							4.0	-3.4	3.8	3.9	G
GVe (-)	-0.12	-0.04	0.11	0.05							-0.10	-0.08	0.12	0.07	G
GVv (-)	-0.09	-0.01	0.10	-0.01							-0.10	-0.20	0.13	0.16	G
D (-)	0.01	0.03	-0.16	-0.14							-0.09	-0.29	0.14	0.06	G
P (-)	-0.05	0.05	-0.14	0.05							0.05	0.22	0.08	0.07	G

Tabel 4.3 Veranderingen in de geul- en getijparameters in de perioden van circa 1972 tot 1977 en van 1977 tot 1992 rondom de Drempel van Hansweert. De betekenis van de afkortingen is te vinden in paragraaf 4.2.

1977-78 treedt eerst vooral een verdieping van het Zuidergat op tezamen met een geringe verbreding. Tussen 1977-78 en 1992 neemt de vooral breedte toe terwijl de diepte juist min of meer constant is. Netto wordt het Zuidergat tussen 1960-61 en 1992 asymmetrischer. Een gedeelte van de grote toename van het doorstroomvermogen, stroomvoerend oppervlak en de breedte van de Drempel van Hansweert kan verklaard worden door het naar het zuiden opschuiven van de rug die de scheiding tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde vormt. In de Schaar van Waarde neemt in de periode 1960-61 tot 1992 samen met de afnemende getijvolumina het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak af. De Schaar van Waarde wordt smaller en ondieper. De Schaar van Ossensisse neemt netto tussen 1960-61 en 1992 in stroomvoerend oppervlak af. De ontwikkeling van de getijvolumina in debietraai 6 (Middelgat/Gat van Ossensisse) zijn niet aan de ontwikkeling van de Drempel van Hansweert te relateren. Wel kan de rolwisseling tussen beide geulen gevolgen hebben voor de Put van Hansweert die in stroomvoerend oppervlak afneemt.

4.4 Discussie

De hoofdgeul rondom de drie hierboven beschreven drempels neemt tussen 1960-61 en 1992 qua doorstroomvermogen, stroomvoerend oppervlak, stroomvoerende breedte en stroomvoerende gemiddelde diepte toe. Deze toename was het grootst in de drempelgebieden in de hoofdgeul. De nevengeulen namen in deze periode juist in betekenis af. In de zelfde periode namen in de hoofdgeul zowel de eb- als de vloedvolumina toe. Dit ging gedeeltelijk ten koste van die in de nevengeulen. Zeer waarschijnlijk is dit het gevolg van de baggerwerkzaamheden, die met name in de drempelgebieden in de hoofdgeul, vanaf 1970 fors van omvang werden, en die de toename van het stroomvoerend oppervlak en andere geulparameters en ook de getijvolumina veroorzaakt hebben (Pieters et al., 1991). De snelle aanpassing van de geulvolumina in het oosten van de Westerschelde aan de baggerwerkzaamheden is ook af te lezen uit de recente grootschalige zandbalans (Uit den Bogaard, 1995) en uit zandbalansen van de geulen (Huijs, 1995). Het over het algemeen afnemen van het stroomvoerend oppervlak van de nevengeulen en ook van de getijvolumina in deze geulen, kan mogelijk verklaard worden door het storten van baggerspecie in deze geulen. Een andere reden kan zijn dat de hoofdgeul door het verdiepen van de geulen meer water 'trok', wat ten koste van de nevengeulen ging.

De toename van de hoofdgeul is dus waarschijnlijk in eerste instantie veroorzaakt door de baggerwerkzaamheden en niet door de toegenomen getijvolumina. Mogelijk zijn de toegenomen getijvolumina wel van invloed op de vorm van het dwarsprofiel van de hoofdgeul. In de hoofdgeul, en dus ook op de drempels, nam tussen 1960-61 en 1977-78 vooral de diepte toe en de breedte minder of niet. In de periode erna, 1977-78 en 1992, neemt juist de breedte toe en blijft de diepte gelijk of wordt minder. De vormverandering in de eerste periode kan waarschijnlijk voor een deel verklaard worden door de baggerwerkzaamheden tussen 1970 en 1975 die de geulen op de drempels letterlijk verdiepten. De nabij de drempels gelegen hoofdgeul volgde vrij direct door ook te verdiepen. De vormverandering van de hoofdgeul in de tweede periode, toen ook baggerhoeveelheden in het verdiepte systeem minder werden, kan mogelijk voor een deel verklaard worden door de toegenomen getijvolumina. Die veroorzaakten met enige vertraging een verbreding van de hoofdgeul. Hieruit kan mogelijk uit afgeleid worden dat de diepte van een geul een minder langere aanpassingstijd nodig heeft dan de breedte. De verbreding in de tweede periode kan overigens ook voor een deel verklaard worden door het 'verbreden' van de hoofdgeul door baggerwerkzaamheden. Een mogelijke fysische verklaring voor de tragere aanpassing van geulbreedte ten opzichte van de diepte is dat grote verschillen in de relatieve onder- of oververzadiging -als de stroming over een verdiepte drempel gaat- vooral in het midden van de geul optreden en daar dus ook de meeste erosie of sedimentatie optreedt.

De verhouding tussen de breedte en diepte, de breedte/diepte-ratio, neemt af in de hoofdgeul en de drempels van

Bath en Valkenisse tussen 1960-61 en 1992 af. Dit houdt in dat de geul relatief diep en smal is geworden ten opzichte van de situatie in 1960-61. Een lage breedte/diepte-ratio komt ten goede aan de stabiliteit van een geul. Uitzondering hierop is de Drempel van Hansweert waar deze ratio vrij aanzienlijk toeneemt. Deze toename is voor een deel veroorzaakt door het diffuus worden van de grens tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde. De asymmetrie van de hoofdgeul rondom de Drempels van Bath en Valkenisse is tussen 1960-61 en 1992 vrij aanzienlijk afgenomen. Deze afname trad op ondanks de toegenomen getijvolumina waarbij hogere stroomsnelheden en dus grotere secundaire stromingen zouden worden verwacht (Allersma, 1994). Secundaire stromingen hebben asymmetrisch dwarsprofiel tot gevolg. Een mogelijke verklaring voor het feit dat de geulen toch symmetrischer zijn geworden is dat de geulen te ruim waren voor het dominante getijvolume en waardoor er dus juist lagere stroomsnelheden en ook lagere secundaire stroomsnelheden optraden. Deze verklaring gaat echter niet op voor het Nauw van Bath dat symmetrisch werd ondanks het feit dat de getijvolumina zijn toegenomen en de geul te krap was. Ook de ontwikkeling in het Zuidergat spreekt deze tegen. Hier is een toename van de asymmetrie van de geul sprake. Dit treedt samen op met grotere getijvolumina in een geul die te ruim is. Een andere verklaring kan de afname van de dominantie zijn die in de hoofdgeul is opgetreden. Dit heeft een minder groot verschil tussen de grootte van de eb- en vloedvolumina tot gevolg. Tengevolge hiervan is het mogelijk dat zowel tijdens de eb- als de vloedfase het grootste deel van de volumina door hetzelfde deel van de geul gaan met een afname van de asymmetrie als gevolg.

De afname van de dominantie is ook genoemd in verband met de geleidelijke overgang tussen circa 1960 en 1990 van het 'botsende ebgeul'-type naar het 'ontwijkende geulen'-type van de drie oostelijke drempels (Tank, 1995). Dit houdt in dat de banen van de eb en de vloed minder gescheiden wegen zijn gaan volgen in de loop van de tijd. Omdat de debietraaien niet op de drempels liggen is moeilijk in te schatten hoe hoog de dominantie op een drempel werkelijk is, maar in ieder geval hoger dan in een duidelijk gedefinieerde geul. De overgang van het 'botsende ebgeulen'-type naar het 'ontwijkende geulen'-type is ook veroorzaakt door het toenemen van het getijvolumeverdelings-getal van de hoofdgeul waardoor de getijvolumina in de hoofdgeulen toenam ten koste van die in de nevengeulen. Hierdoor is de aftappende werking van de nevengeulen verminderd (Tank, 1995) en dit komt ten goede aan het doorstroomoppervlak op de drempels.

Een probleem blijft het dat morfologie en debieten niet gelijktijdig gemeten zijn en dat de ruimtelijke dichtheid van de debietmetingen aanzienlijk minder groot is dan die van de dwarsprofielen.

4.5 Conclusies

De belangrijkste conclusies die uit de analyse van de ontwikkeling tussen 1960-61 en 1992 van de geulparameters en de getijvolumina rondom de drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert getrokken kunnen worden zijn:

- het doorstroomvermogen, het stroomvoerend oppervlak, de stroomvoerende breedte en de stroomvoerende gemiddelde diepte op de drie drempels en de aanpalende hoofdgeulen nemen tussen 1960-61 en 1992 aanzienlijk in grootte toe. In de nevengeulen nemen deze parameters juist af. Hieraan parallel is de ontwikkeling van de getijvolumina die in de hoofdgeul ongeveer 30 % toenemen en in nevengeulen juist fors afnemen. De morfologische veranderingen van de drempels en de geulen zijn geïnitieerd door de baggerwerkzaamheden. De toegenomen getijvolumina in de hoofdgeulen zijn dus daarvan het gevolg en niet andersom.
- Tussen 1960-61 en 1977-78 vindt er in de hoofdgeul en op de drempels over het algemeen een afname van de breedte/diepte-ratio plaats vooral door vergroting van de diepte. In de periode 1977-78 tot 1992 neemt er een geringe toename van de breedte/diepte-ratio plaats door verbreding van de geul. Mogelijk

is deze aanpassing van de vorm van het dwarsprofiel het gevolg van de toegenomen getijvolumina; de toename van de breedte van de geul is een langzamer proces door transport in de richting van de drempels. Een andere verklaring is dat de toename van de diepte het gevolg is van baggeren.

- De toename van de getijvolumina in de hoofdgeul is een gevolg van een absolute toename en een relatieve toename. Dit laatste gaat ten koste van de getijvolumina in de nevengeulen. Kortom: het getijvolumeverdelings-getal van de hoofdgeul wordt groter. De dominantie in de hoofdgeulen neemt af. Hierdoor zijn de grootte van de eb- en vloedvolumina elkaar minder gaan ontlopen. Deze ontwikkeling van de getijvolumina komt overeen met de overgang van een 'botsende ebgeul'-drempel naar een 'ontwijkende geulen'-drempel van de drie drempels in het oosten van de Westerschelde (de drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert). Door het afgenomen getijvolumeverdelings-getal van de nevengeulen is hun aftappende werking afgenomen. En bij de overgang van het ene drempeltype naar het andere neemt de dominantie van de drempelgeul af.
- De asymmetrie van het dwarsprofiel in de hoofdgeul rond de Drempels van Bath en Valkenisse is vrij aanzienlijk afgenomen; op de Drempel van Hansweert en in het Zuidergat is de asymmetrie juist toegenomen. Een verklaring hiervoor is nog niet gevonden.

5 Conclusies

Hieronder volgen de belangrijkste conclusies uit dit rapport.

Empirische relaties

- * De correlaties tussen de horizontale meandergeometrie en de verticale geulgeometrie én debieten zijn zwak in de hoofdgeul van de Westerschelde.
- * De correlaties tussen de verticale geulgeometrie onderling en de correlaties met de debieten zijn matig tot sterk in de hoofdgeul van de Westerschelde.
- * De oorzaken van deze, vergeleken met rivieren, relatief zwakke verbanden is waarschijnlijk het feit de hoofdgeul uit evenwicht is, dat de dominante getijfase veelvuldig omslaat en dat door aftapping van water de debieten sterk variëren.

Koppeling ontwikkeling geulparameters en getijdenmerken 1960 - 1992

- * Uit een poging om kwalitatieve de ontwikkeling de geulparameters te koppelen met de ontwikkeling van de getijparameters, blijkt dat de koppeling niet goed mogelijk is omdat de dichtheid van de debietgegevens zeer gering is in vergelijking met die van de geulparameters.
- * De ontwikkeling van de getijvolumina in en tussen de geulen correspondeerde met de ontwikkeling van het doorstroomvermogen en doorstroomoppervlak van de geulen; andere geulparameters, zoals de stroomvoerende breedte, de stroomvoerende gemiddelde diepte, de breedte/diepte-ratio en de getij-asymmetrie, waren minder eenduidig met de getijparameters in verband te brengen.

Literatuur

- Ackers, P., 1982. Meandering channels and the influence of bed material. In: Hey, R.D., J.C. Bathurst en C.R. Thorne (Eds.) *Gravel-bed rivers*. John Wiley & Sons Ltd., 389 - 421.
- Ackers, P. en F.G. Charlton, 1970a. Meanders geometry arising from varying flows. *Journal of Hydrology*, 11, 230 - 252.
- Ackers, P. en F.G. Charlton, 1970b. The slope and resistance of small meandering channels. *Proceedings on the Institution of Civil Engineers, Supplement (XV) Paper 7362S*, 349 - 370
- Allersma, E., 1994. Geulen in estuaria. 1-D modellering van evenwijdige geulen. Verslag van een bureaustudie. Delft Hydraulics/Waterloopkundig Laboratorium (WL), Rapport H 1828.
- Berben, F., 1985. Meandergeometrie en morfodynamisch gedrag van estuariumgeulen (onderzoek aan de hand van literatuur en andere documentatie). Rijkswaterstaat, DGW, Nota GEOMOR 862, 128 pp.
- Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991. Beleidsplan Westerschelde, Rijkswaterstaat/Directie Zeeland, 92 p.
- Bliek, A.J. en M.N. Ruijter, 1994. Verklarend onderzoek drempels Westerschelde. Ingenieursbureau Svasek, project 940
- Boon, J.D. en R.J. Byrne, 1981. On basis hypsometry and the morphodynamic response of coastal inlet systems. *Marine Geology*, 40, 27 - 48.
- Collard, E.A., 1985. Bepaling morfologisch maatgevend getij Oosterscheldebekken (westelijk gedeelte). Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwten, Bouwbureau Stormvloedkering Oosterschelde, Notitie 291HAS-M-85027/BEMORF_M_85.009, 36 pp.
- De Jong, H., 1989. Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932 (voorlopige versie; herzien in november 1995). Rijkswaterstaat, Dienst Getijdde Wateren, Nota GWAO - 89.1004
- Gerritsen, F. en H. De Jong, 1983. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Rijkswaterstaat, Nota WWKZ-83.V008
- Geyl, W.F., 1976. Tidal Neomorphs. *Z. Geomorph. N.F.*, 20, 3, 308-330.
- Goedheer, G.J. en R. Misdorp, 1985. Spatial variability and variations in bedload transport direction in a subtidal channel as indicated by sonographs. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 10, 375 - 386.
- Huijs, S.W.E., 1996. De ontwikkeling van de morfologische habitats in de Westerschelde in relatie tot de waterbeweging en menselijke ingrepen. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU (in voorbereiding)
- Jeuken, M.C.J.L., 1992. Een analyse van stroom- en sedimenttransportmetingen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota NWL-92.17.
- Klaassen, G.J. en K. Vermeer, 1988. Channel characteristics of the braiding Jamuna River, Bangladesh. In: White, W.R. (Ed.), *International conference on river regime*. John Wiley & Sons, 173-189.
- Knighton, D., 1984. *Fluvial forms and processes*. Edward Arnold, London, 218 pp.
- Pieters, T., C. Storm, T. Walhout en T. Ysebeart, 1991. Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Rapportage pilotsudie fysische structuur Schelde-estuarium. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren/Directie Zeeland, project OostWest, Nota DGW GWWS-91.081
- Richards, K.S., 1982. *Rivers. Form en process in alluvial channels*. London en New York, Methuen, 358 p.
- Tank, F.T.G., 1995. Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Een verkennende studie. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU Rapport 95-18
- Tank, F.T.G., 1996. Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Literatuurstudie en hypothesen. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU Rapport 96-07

- Termaat, G.R., 1994. Stabiliteitsparameter opgesteld voor geulen in de Westerschelde. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen/Rijkswaterstaat, Directie Zeeland. Stageverslag
- Uit den Bogaard, L.A., 1993. Morfologische parameterisatie van de Westerschelde. Deel 1: Basisgegevens, parameters en de GIS-applicatie ProfielGIS. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen/Rijkswaterstaat, RIKZ, 26 p en bijlagen
- Uit den Bogaard, L.A., 1995. Resultaten zandbalans Westerschelde 1955 - 1993. Universiteit Utrecht/Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU rapport95-8, 48 p en vele bijlagen
- Van den Berg, J.H., 1995. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology*, 12, 259-279.
- Van Kester, B., 1995 (concept). Geulparameters in de Westerschelde. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen/Rijkswaterstaat, RIKZ. Stageverslag
- Van Kleef, A.W., 1991. Empirical relations for tidal inlets, basins and deltas. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen Rapport Geopro 1991.019, 52 p.
- Van Kleef, A.W., 1994. Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middellgat, Westerschelde. Rijkswaterstaat/Directie Zeeland (concept)
- Williams, G.P., 1986. River meanders and channel size. *Journal of Hydrology*, 88, 147-164,
- Winkley, B.R., 1989. The cause and cure of low water navigation problems on alluvial rivers. P.I.A.N.C. Bulletin, no. 64, 188 - 197.

Bijlagen

Bijlage A	Lokaties van de geulprofielen in de Westerschelde. Bodem 1992
Bijlage B	Waarden van de geulparameters
Bijlage C	Relaties tussen de geulparameters in het dwarsprofiel met de minimale B/h-ratio per geul in de Westerschelde
Bijlage D	Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempels van Bath en Valkenisse en Hansweert in de jaren 1960-61, 1977-78 en 1992.
Bijlage E	Verloop geulparameters op en rond de drempels van Bath en Valkenisse en Hansweert in de jaren 1960-61, 1977-78 en 1992
Bijlage F	Lokatie van de debietraaien in het oosten van de Westerschelde
Bijlage G	Verloop van karakteristieken van de getijvolumina in 5 debietraaien in het oosten van de Westerschelde in de periode 1960 - 1990
Bijlage H	Uitvoerige beschrijving en synthese van de ontwikkeling tussen 1960/61 en 1992 de van de geul- en getijparameters rondom en op de Drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert in het oosten van de Westerschelde

Bijlage A

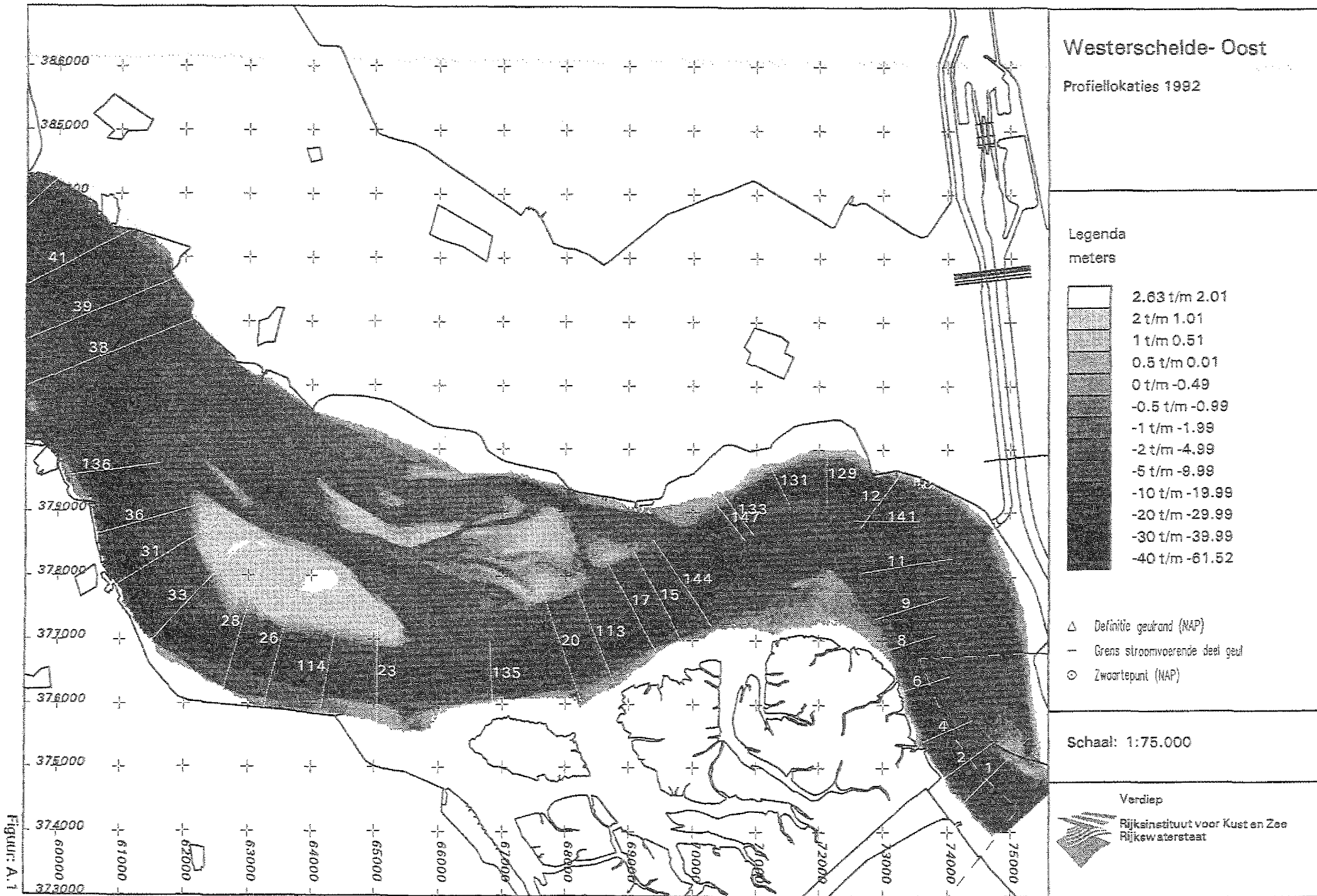
Lokaties van de geulprofielen in de Westerschelde

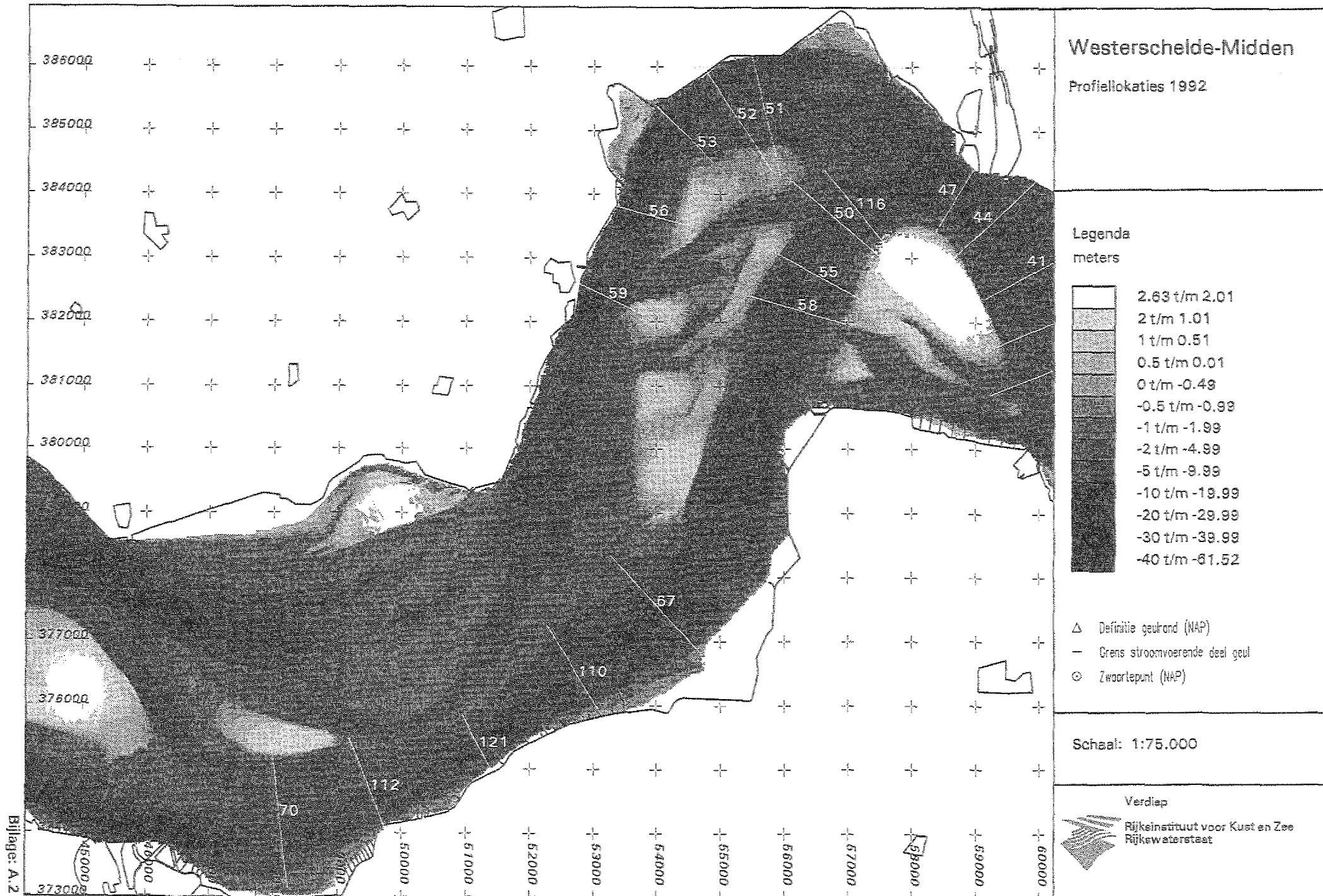
A.1 Westerschelde-Oost. Bodem 1992

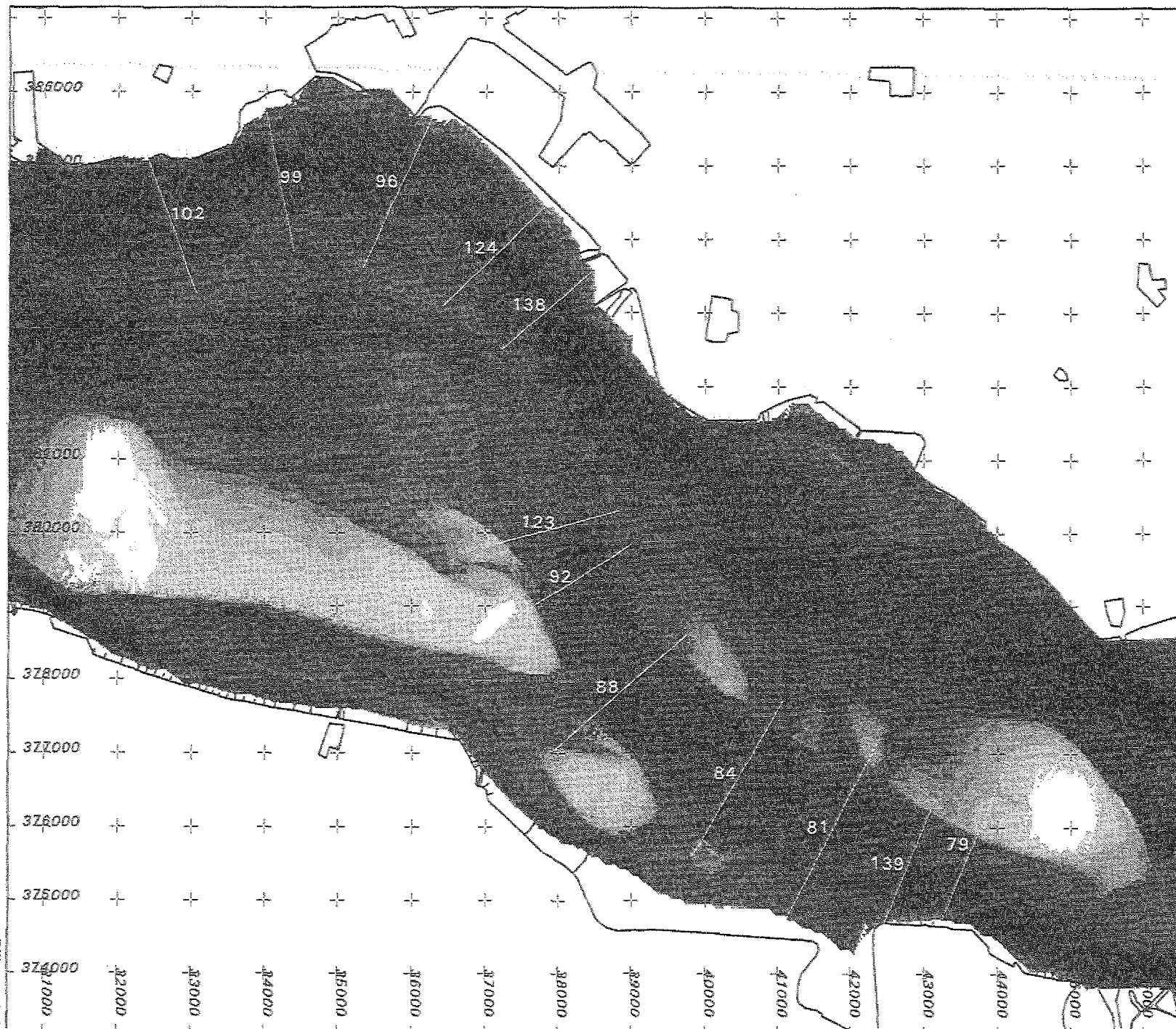
A.2 Westerschelde-Midden. Bodem 1992

A.3 Westerschelde-West. Bodem 1992

A.4 Westerschelde-Midden. Bodem 1988



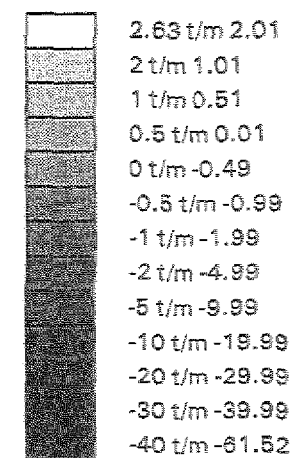




Westerschelde-West

Profiellokaties 1992

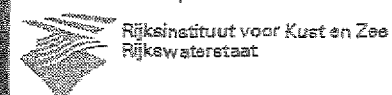
Legenda meters

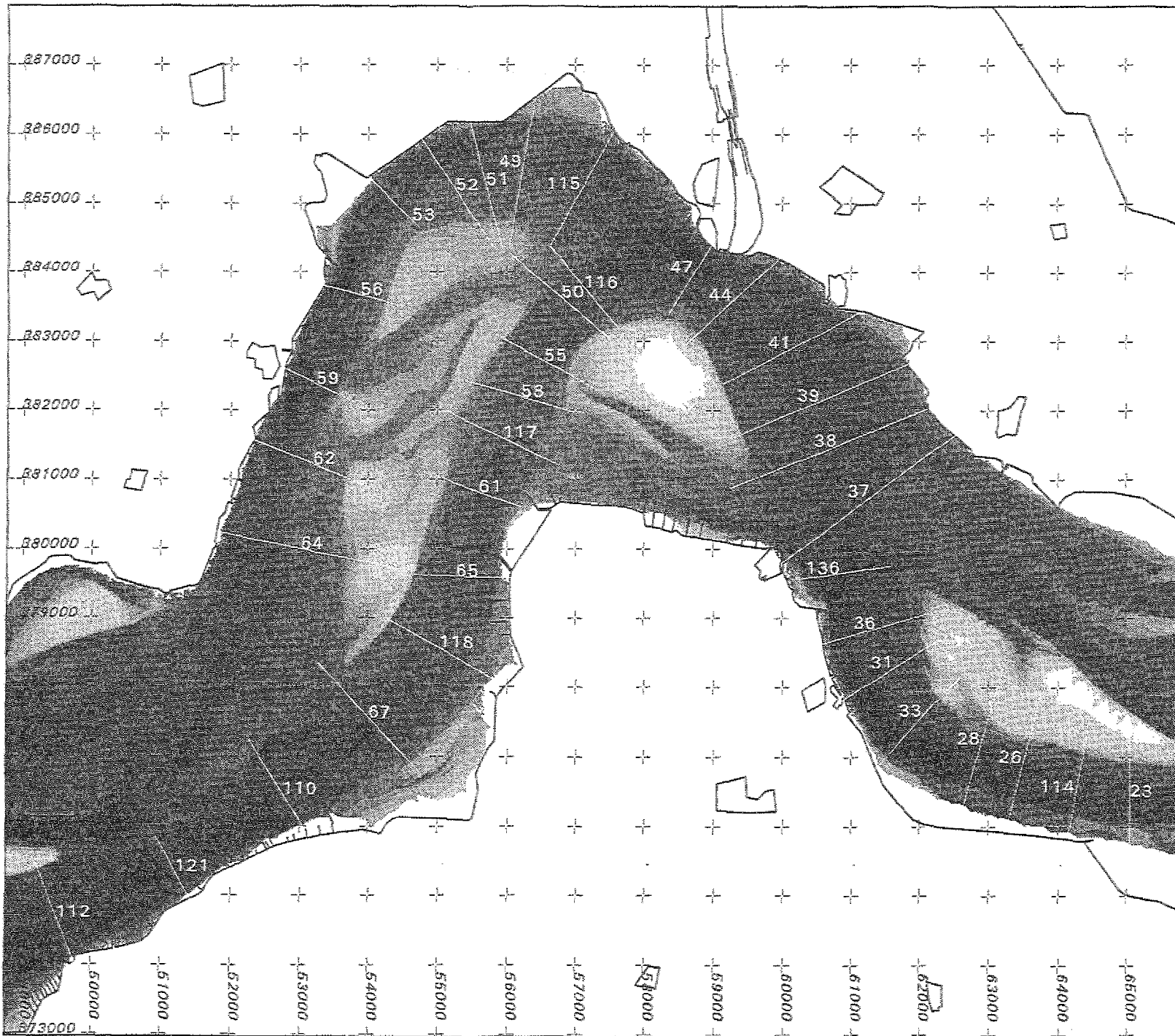


- △ Definitie geulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- Zwaartepunt (NAP)

Schaal: 1:75.000

Verdiep

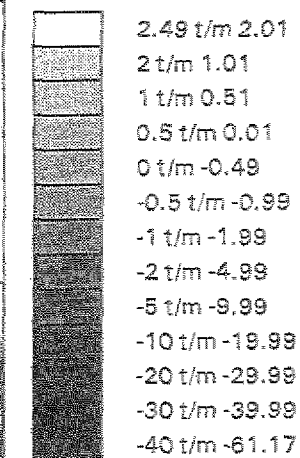




Westerschelde Midden

Profiellokaties 1988
Tbv. Scaldis100 berekening

Legenda meters



- △ Definitie geulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- ⊙ Zwoortepunt (NAP)

Schaal: 1:80.000

Verdiep
Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat

Bijlage B

Waarden van de geulparameters in de hoofdgeul Westerschelde

- B.1 Geulparameters per geulprofiel
- B.2 Geulparameters per meandersectie
- B.3 Geulparameters van het geulprofiel met de laagste B/h-ratio per meandersectie
- B.4 Getijparameters afkomstig van een Scadis100-berekening en geulparameters van de bodem uit 1988

Bijlage B.1

Geulparameters hoofdgeul en drempels Westerschelde

Bodem 1992; gegevens ten opzichte van NAP 0 m

Geulparameters per geul/profiel

geulnm	drempel	profielnr	acq	bq	hq	bq/hq	sq	R
meander								
VwbB		1	11247	641.55	17.531	36.595	0.3723	2400
		2	10415	595.67	17.485	34.067	0.3603	2400
		4	9283.4	594.76	15.609	38.103	0.3422	2550
		6	7678.6	486.34	15.789	30.803	0.4279	6300
		8	7325.6	427.35	17.142	24.93	0.4326	6075
		9	8695.7	621.94	13.982	44.481	0.4056	6525
	*	11	13208	1164	11.347	102.58	0.4066	8025
	*	141	11192	785.78	14.244	55.166	0.5417	
NvB		12	12142	729.35	16.648	43.81	0.5738	1800
		129	7712.1	423.38	18.215	23.244	0.5033	1575
		131	7412.5	365.02	20.307	17.975	0.5459	1575
		133	8150.5	411.71	19.797	20.797	0.5604	3250
		147	8319.1	437.91	18.998	23.05	0.5566	
	*	143	16403	1047.5	15.659	66.896	0.5499	
	*	144	15555	1106.6	14.056	78.728	0.4859	
Zg	*	15	16280	1034.1	15.743	65.686	0.357	7275
	*	17	14354	1031.9	13.91	74.186	0.3498	5700
		113	13049	1023	12.757	80.187	0.2874	5800
		20	12896	998.9	12.91	77.374	0.3217	7800
		135	8564	454.24	18.854	24.092	0.4552	3900
		23	9514.2	646.12	14.725	43.879	0.3705	4725
		114	9450.6	591.56	15.976	37.028	0.3665	4725
		26	9468.2	602.08	15.726	38.286	0.4093	11025
		28	9472.7	528.87	17.911	29.528	0.389	2625
		33	11741	715.89	16.401	43.649	0.3546	3000
		31	13370	1044.7	12.799	81.62	0.226	2625
		36	15456	1017.1	15.197	66.926	0.2389	2550
		136	15845	953.39	16.619	57.368	0.3502	2775
BHw	*	38	26804	2162.9	12.393	174.52	0.5254	
	*	39	24251	1931.2	12.557	153.8	0.5783	10200
	*	41	22522	1651.2	13.639	121.07	0.5851	4650
		44	18667	1076.9	17.334	62.127	0.4835	3375
		47	21227	726.25	29.229	24.847	0.5811	2775
		116	13792	807.34	17.083	47.26	0.5058	2100
		50	13929	837.48	16.632	50.354	0.4963	2025
		55	13477	881.76	15.284	57.692	0.5394	3075
		58	13441	937.14	14.343	65.338	0.5163	2700
PvT		67	18310	1205.2	15.192	79.333	0.4054	8850
		110	17905	1051.8	17.024	61.781	0.4447	8775
		121	17503	667.8	26.21	25.479	0.4512	7875
		112	22487	1039.5	21.632	48.055	0.3263	8475
		70	23915	1478.5	16.175	91.407	0.4004	5775
		79	18067	849	21.28	39.897	0.3553	5850
		139	22090	1147.6	19.249	59.62	0.45	7875
		81	22926	1477.5	15.517	95.221	0.5664	6075
		84	21116	1403.1	15.05	93.228	0.527	5025
		88	18898	1146.2	16.487	69.522	0.5409	4350
		92	16034	954.47	16.799	56.817	0.5328	2400
	*	123	19404	1259.2	15.409	81.722	0.4952	4500
Honte		138	36536	982.22	37.197	26.406	0.6209	10875
		124	33223	1370.9	24.234	56.571	0.5656	7613
		96	30825	1526	20.2	75.545	0.5135	4125
		99	27080	895.29	30.248	29.598	0.5414	4875
		102	34311	1362.6	25.18	54.115	0.6951	3975
Mg		51	15244	1128.3	13.511	83.511	0.7476	1875
		52	15298	943.12	16.221	58.142	0.7416	1800
		53	12515	491.27	25.475	19.284	0.5638	2625
		56	13115	464.3	28.246	16.438	0.5985	2625
		59	14292	595.26	24.01	24.792	0.4784	3825

Bijlage B.2

Geulparameters per meandersectie in hoofdgeul Westerschelde

Geulparameters betreffen de gemiddelde waarde van de profielen in een meandersectie

Geulparameters van bodem 1992

Qmax van de dominante getijfase in de geul en met getijfactor 1.08 omgerekend naar

geulnm	Qmax(10 ³ L	A	Hgem	B	R	
VwbB	10800	12400	9881	15.4	665	4900
NvB	11300	5550	10813	17.7	646	2100
Zg	15700	18750	12266	15.3	819	5000
BHw	28500	9450	18678	16.5	1224	3900
Pvt	27100	34500	19887	18	1140	6300
Honte	27900	16500	32394	27.4	1227	6300
Mg	18100	13500	14093	21.5	724	2600

Bijlage B.3

Geulparameters hoofdgeul en drempels Westerschelde

Bodem 1992; gegevens ten opzichte van NAP 0 m

Geulparameters van het geulprofiel met de laagste B/h-ratio in een meandersectie

geulnm meander	profielnr	Q	L	acq	bq	hq	bq/hq	sq	R
VwbB	8	10800	12400	7325.6	427.35	17.142	24.93	0.4326	6075
NvB	131	11300	5550	7412.5	365.02	20.307	17.975	0.5459	1575
Zg	135	15700	18750	8564	454.24	18.854	24.092	0.4552	3900
BbHw	47	28500	9450	21227	726.25	29.229	24.847	0.5811	2775
PvT	121	27100	34500	17503	667.8	26.21	25.479	0.4512	7875
Honte	138	27900	16500	36536	982.22	37.197	26.406	0.6209	10875
Mg	56	18100	13500	13115	464.3	28.246	16.438	0.5985	2625

Bijlage B.4

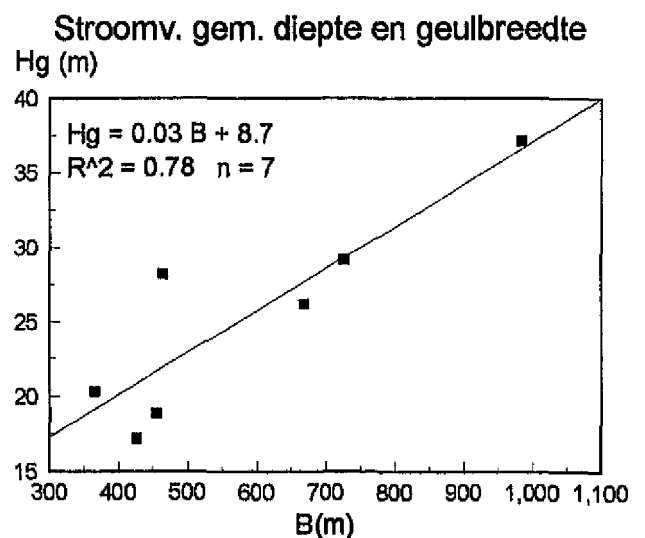
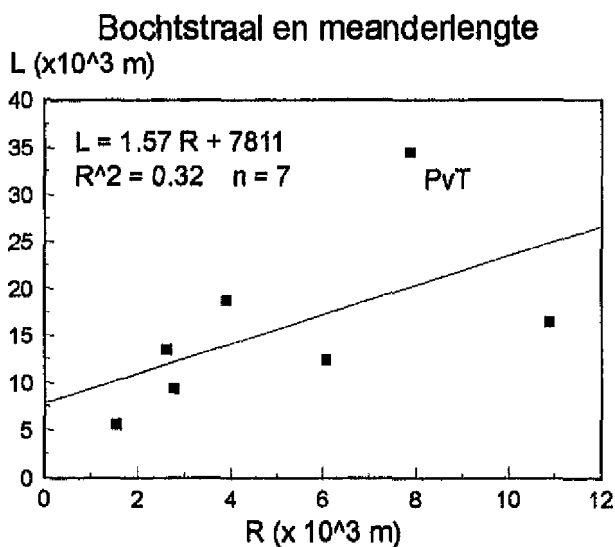
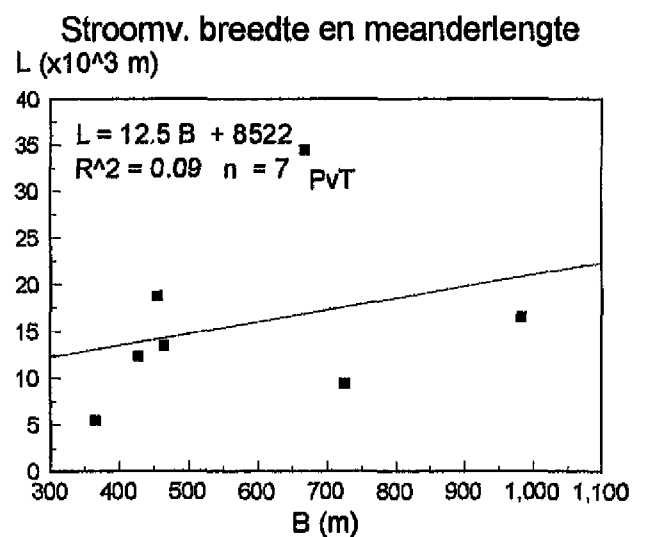
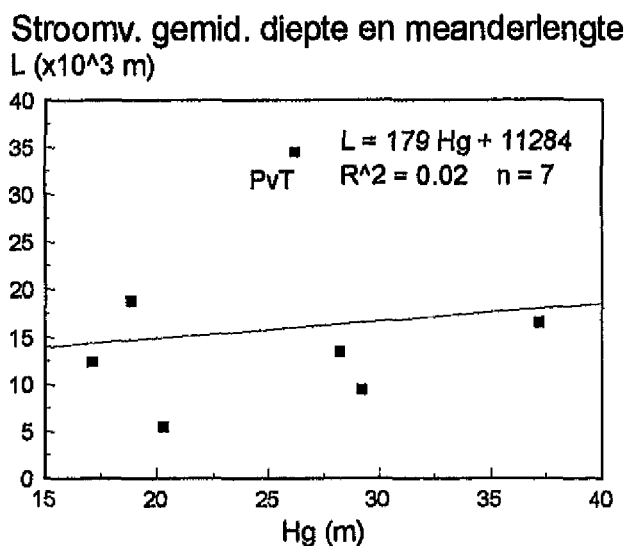
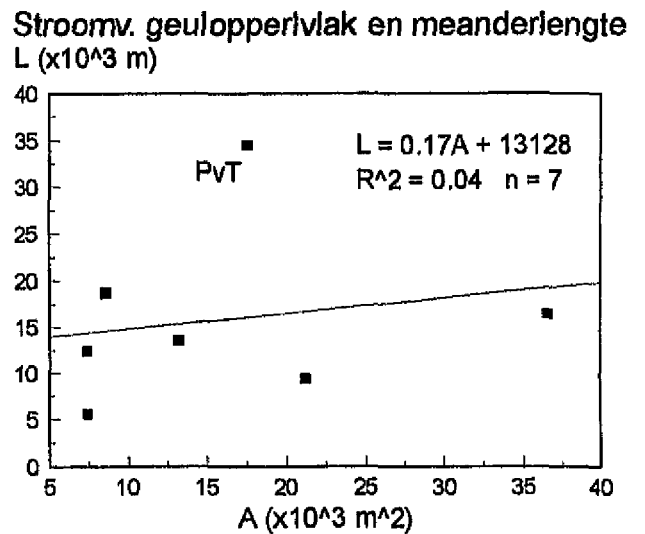
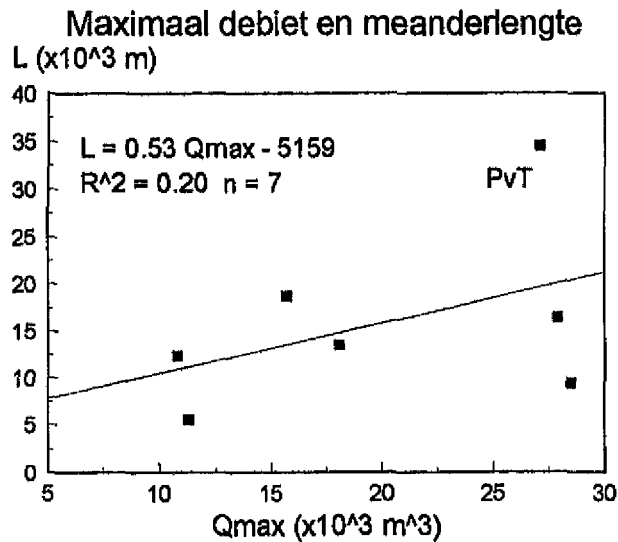
Debieten en getijvolumina afkomstig van Scaldis100 1988 berekening

Geulparameters (tov NAP 0 m) van de bodem 1988 van het midden van de Westerschelde

Getijparameters					Geulparameters				
profnr	Qmax	Qmin	VV 10^6	EV	DV	acq	bq	hq	sq
23	21641	15589	244	262	2.6E+08	8037.59	593.003	13.554	0.438
26	21140	15474	240	260	2.6E+08	8715.745	524.654	16.612	0.3962
28	21523	15810	247	267	2.7E+08	8975.212	483.195	18.575	0.4146
31	22004	15470	244	265	2.7E+08	13186.31	948.342	13.905	0.2551
33	22551	15923	254	271	2.7E+08	12516.84	789.276	15.859	0.3228
36	20925	14495	229	249	2.5E+08	15332.43	960.069	15.97	0.2475
37	43739	26119	440	451	4.5E+08	30425.09	2501.501	12.163	0.3591
38	40523	25805	436	437	4.4E+08	26280.1	2128.558	12.346	0.5256
39	40059	26339	443	435	4.4E+08	24563.39	1876.008	13.093	0.5616
41	41651	26891	461	443	4.6E+08	22686.98	1570.314	14.447	0.5936
44	40624	25933	444	428	4.4E+08	18532.19	1039.584	17.827	0.4938
47	41345	26706	463	438	4.6E+08	21212.13	723.872	29.304	0.5724
49	17102	12615	189	196	2.0E+08	15419.26	1307.569	11.792	0.7116
50	24153	16306	265	267	2.7E+08	12997.39	821.314	15.825	0.5
51	17575	12922	196	201	2.0E+08	15781.83	1113.236	14.177	0.7412
52	17052	12532	189	195	2.0E+08	15295.11	940.574	16.262	0.7309
53	17230	13646	192	204	2.0E+08	13340.73	517.856	25.762	0.555
55	22160	15324	252	244	2.5E+08	12066.7	713.166	16.92	0.4848
56	16840	12557	188	195	2.0E+08	13783.84	480.144	28.708	0.5916
58	23632	16770	272	265	2.7E+08	12912.05	839.486	15.381	0.4813
59	21114	14867	231	236	2.4E+08	14420.96	613.037	23.524	0.4799
61	30976	22027	333	341	3.4E+08	14676.43	758.948	19.338	0.4662
62	22598	16092	235	257	2.6E+08	13447.69	882.371	15.24	0.6468
64	25436	18416	258	296	3.0E+08	16159.38	1351.919	11.953	0.6572
65	32090	21718	347	337	3.5E+08	14456.23	935.34	15.456	0.5158
67	35933	23482	407	353	4.1E+08	16393.11	1036.52	15.816	0.4761
110	37548	25925	429	395	4.3E+08	19073.89	1066.335	17.887	0.4355
112	32601	28889	348	456	4.6E+08	22340.36	1013.239	22.049	0.3355
114	21714	15499	244	260	2.6E+08	8598.459	567.548	15.15	0.3696
115	17865	13068	200	204	2.0E+08	15271.93	1392.79	10.965	0.5592
116	24135	16262	266	268	2.7E+08	13292.11	834.129	15.935	0.518
117	29708	20247	323	319	3.2E+08	15146.81	986.218	15.359	0.5317
118	34695	23088	379	356	3.8E+08	16214.83	1076.467	15.063	0.4613
121	30122	25255	348	389	3.9E+08	17539.01	709.64	24.715	0.4377
136	22068	17059	235	294	2.9E+08	16173.05	917.332	17.631	0.377

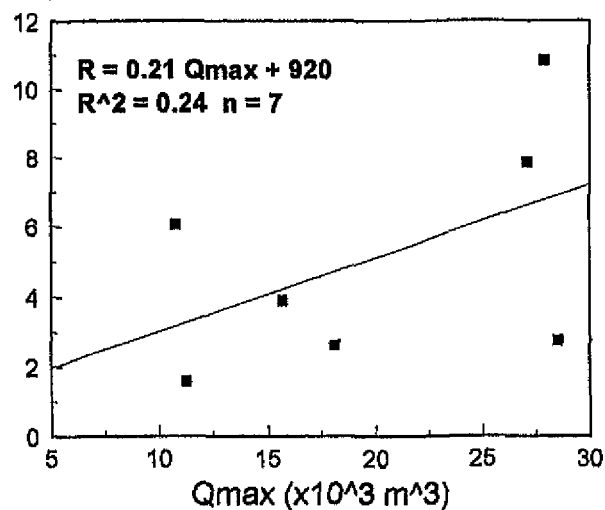
Bijlage C

Relaties tussen de geulparameters in het dwarsprofiel met de minimale B/h-ratio per geul in de Westerschelde

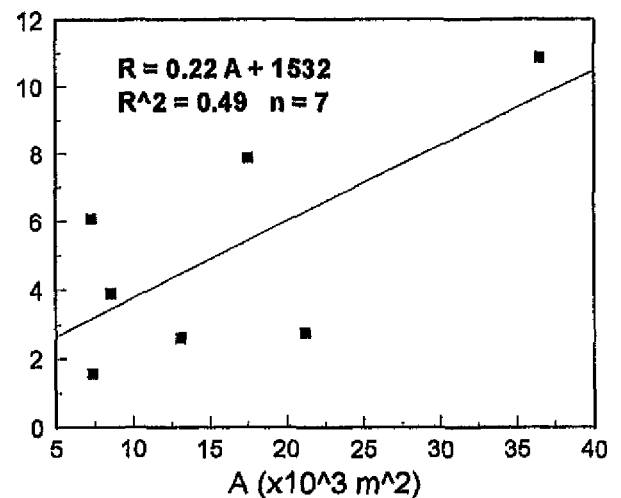


Bijlage C.1 Relaties tussen parameters voor geulprofielen met de laagste B/h-ratio in een meandersectie in de Westerschelde

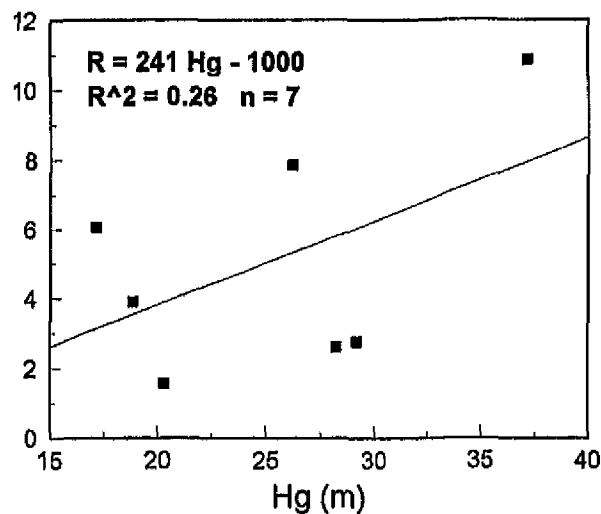
Maximaal debiet en bochtstraal
R (x10³ m)



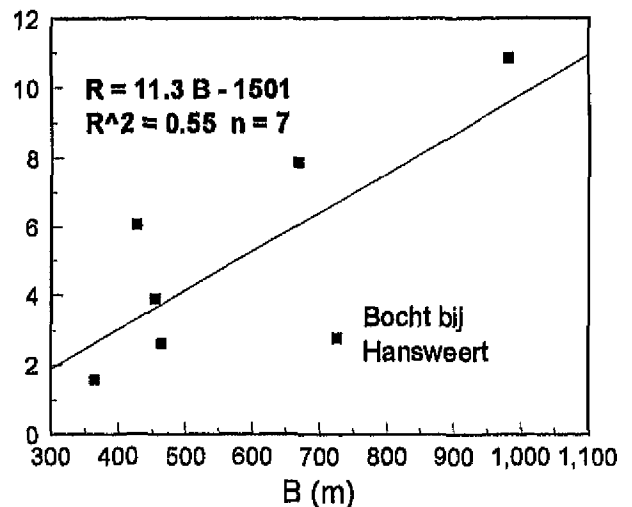
Stroomv. geuloppervlak en bochtstraal
R (x10³ m)



Stroomvoer. gemid. diepte en bochtstraal
R (x10³ m)

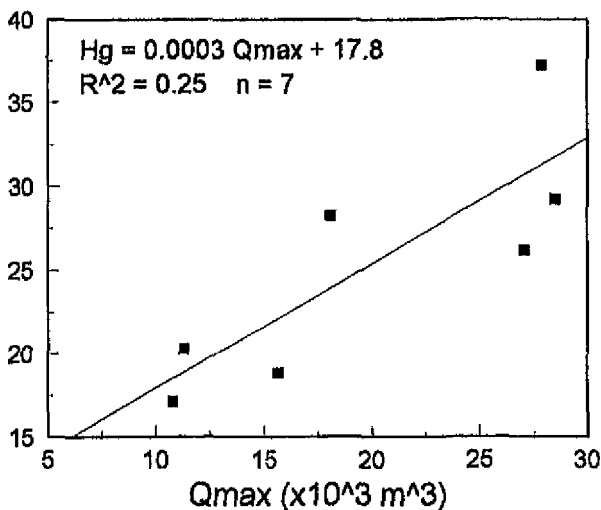


Stroomvoerend geulbreedte en bochtstraal
R (x10³ m)

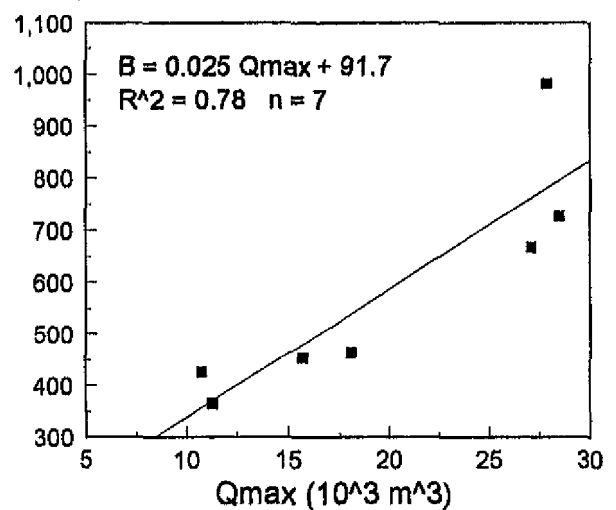


Bijlage C.2 Relaties tussen parameters voor geulprofielen met de laagste B/h-ratio in een meandersectie in de Westerschelde

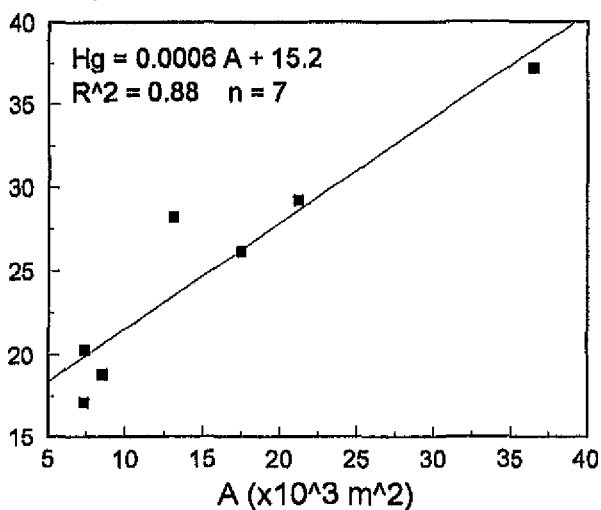
Stroomv. gem. diepte en maximaal debiet
Hg (m)



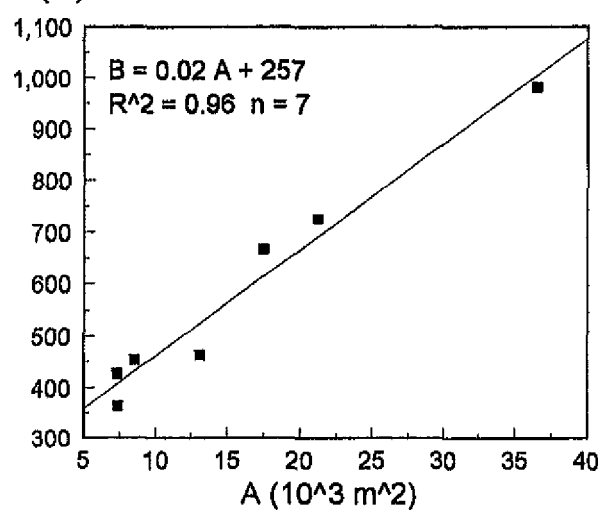
Stroomv. geulbreedte en maximaal debiet
B (m)



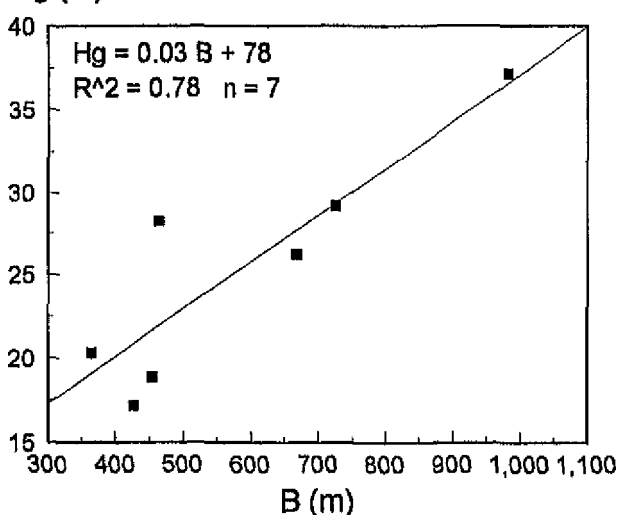
Stroomv. gem. diepte en geulopp.
Hg (m)



Stroomv. geulbreedte en geulopp.
B (m)



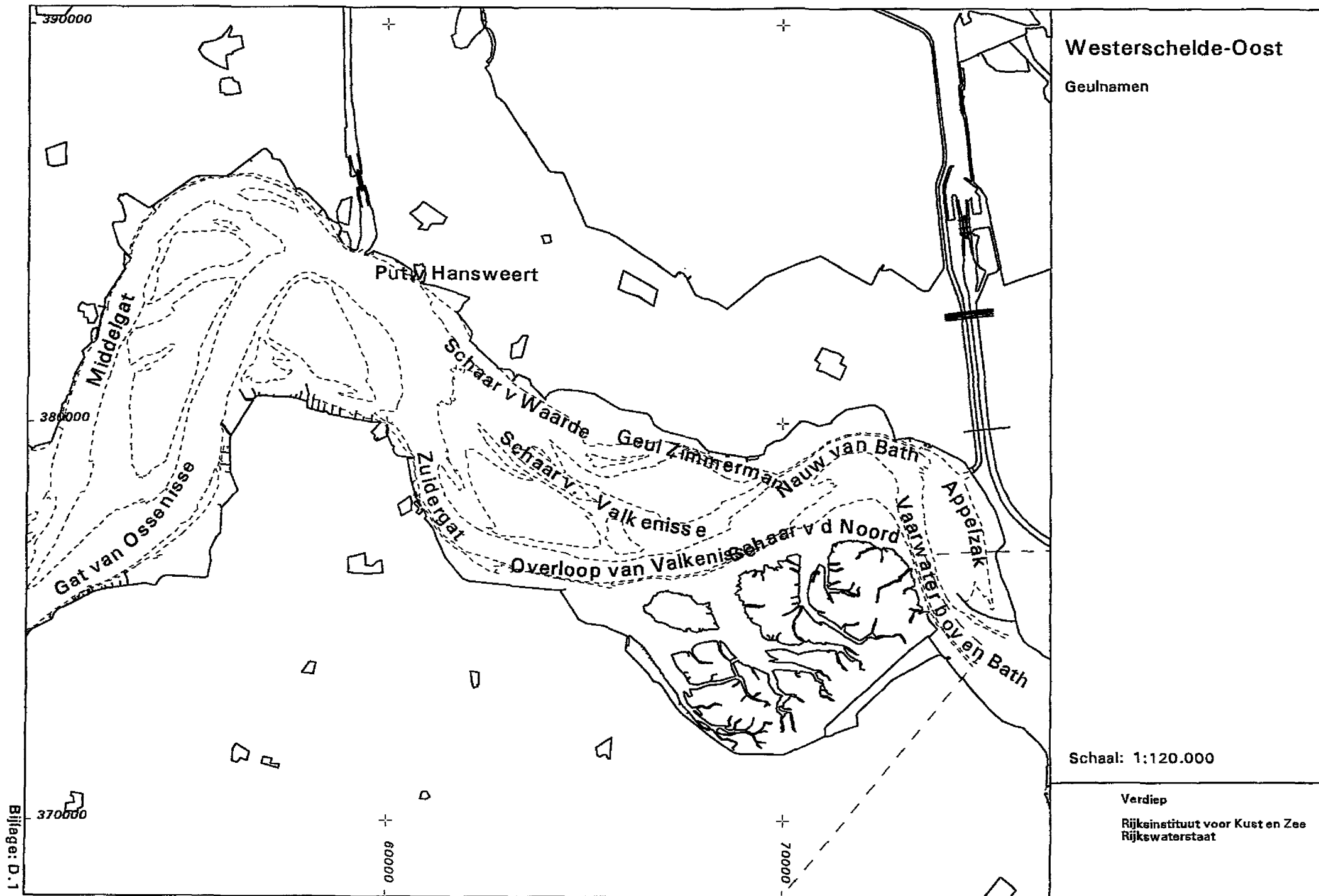
Stroomv. gem. diepte en geulbreedte
Hg (m)

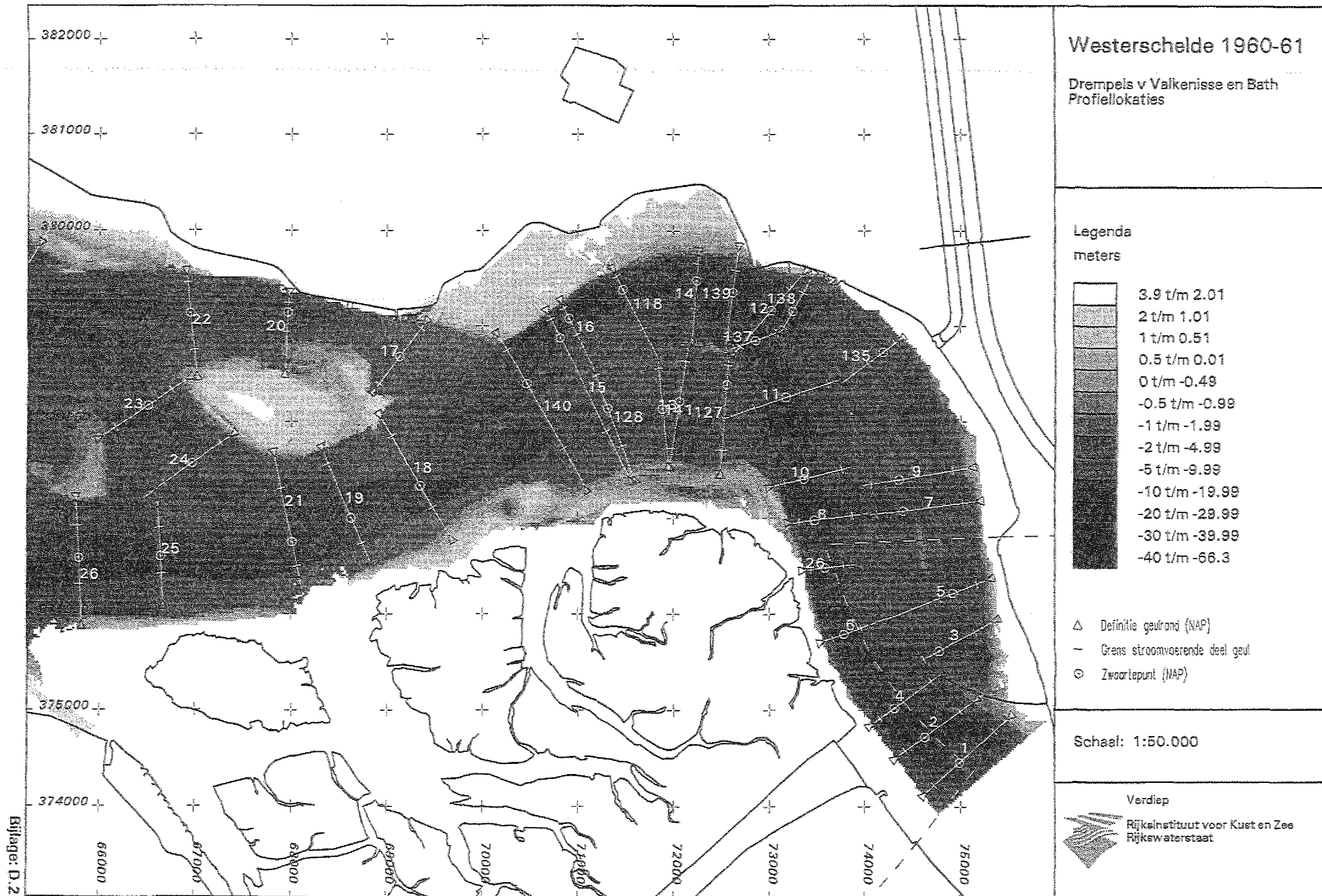


Bijlage C.3 Relaties tussen parameters voor geulprofielen met de laagste B/h-ratio in een meandersectie in de Westerschelde

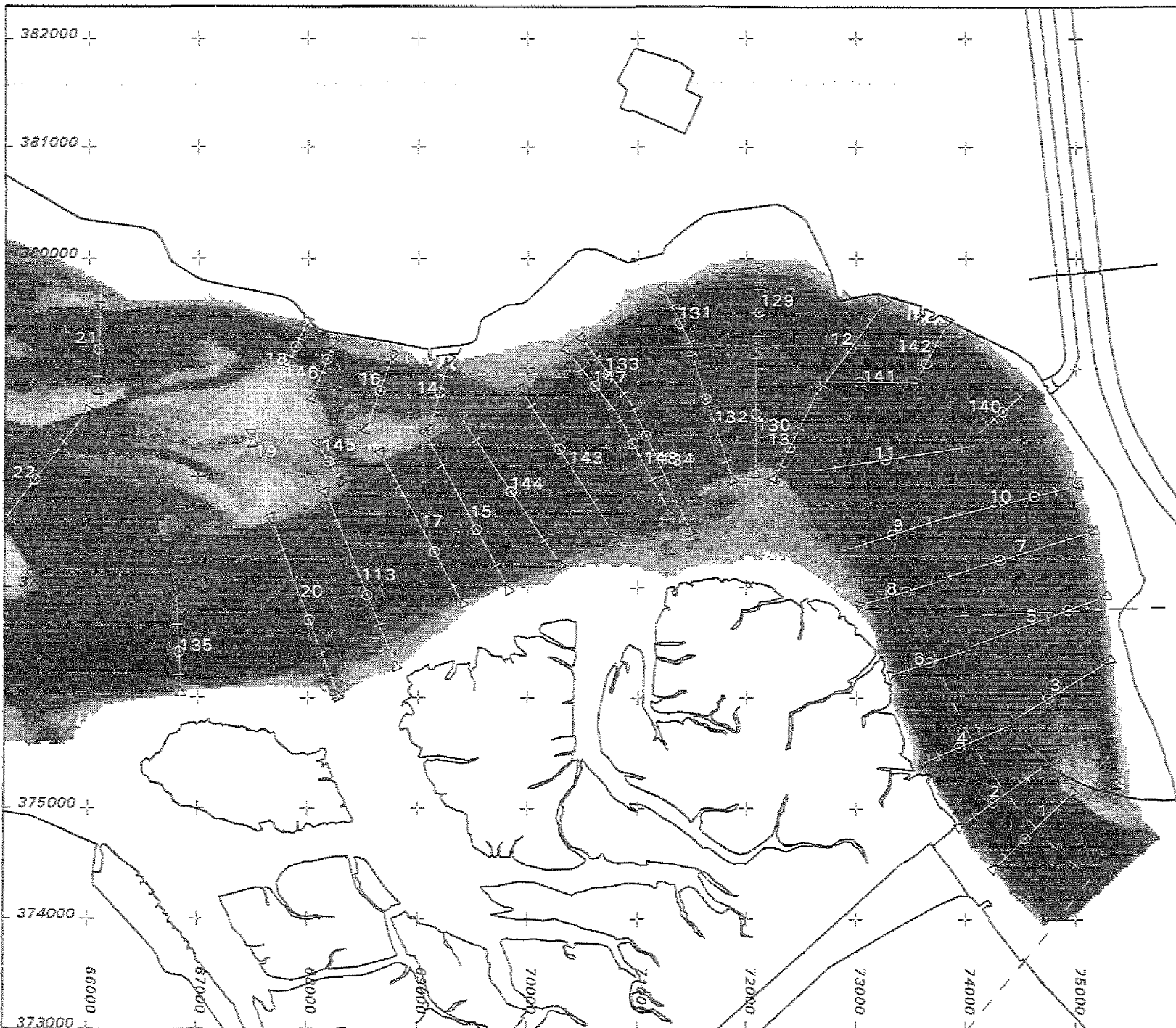
Bijlage D

- D.1 Namen van de geulen en drempels in het oosten van de Westerschelde
- D.2 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempels van Bath en Valkenisse in 1960-61
- D.3 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempels van Bath en Valkenisse in 1977-78
- D.4 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempels van Bath en Valkenisse in 1992
- D.5 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempel van Hansweert in 1960-61
- D.6 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempel van Hansweert in 1977-78
- D.7 Lokaties van de dwarsprofielen op en rond de drempel van Hansweert in 1977-78





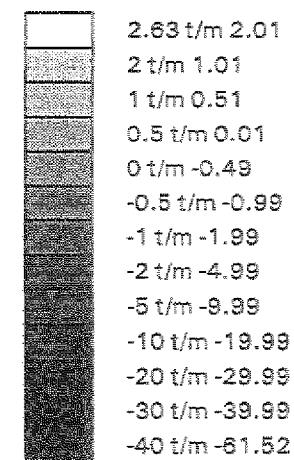




Westerschelde 1992

Drempels v Valkenisse en Bath
Profiellokaties

Legenda meters



- △ Definitie geulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- Zwaartepunt (NAP)

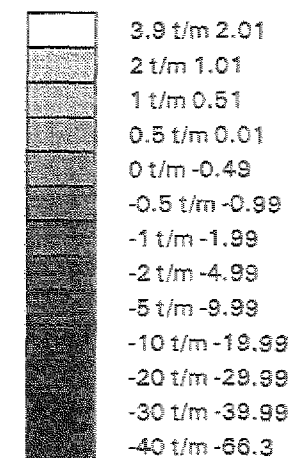
Schaal: 1:50.000

Verdiep
Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat

Westerschelde 1960-61

Drempel v Hansweert
Profiellokaties

Legenda
meters

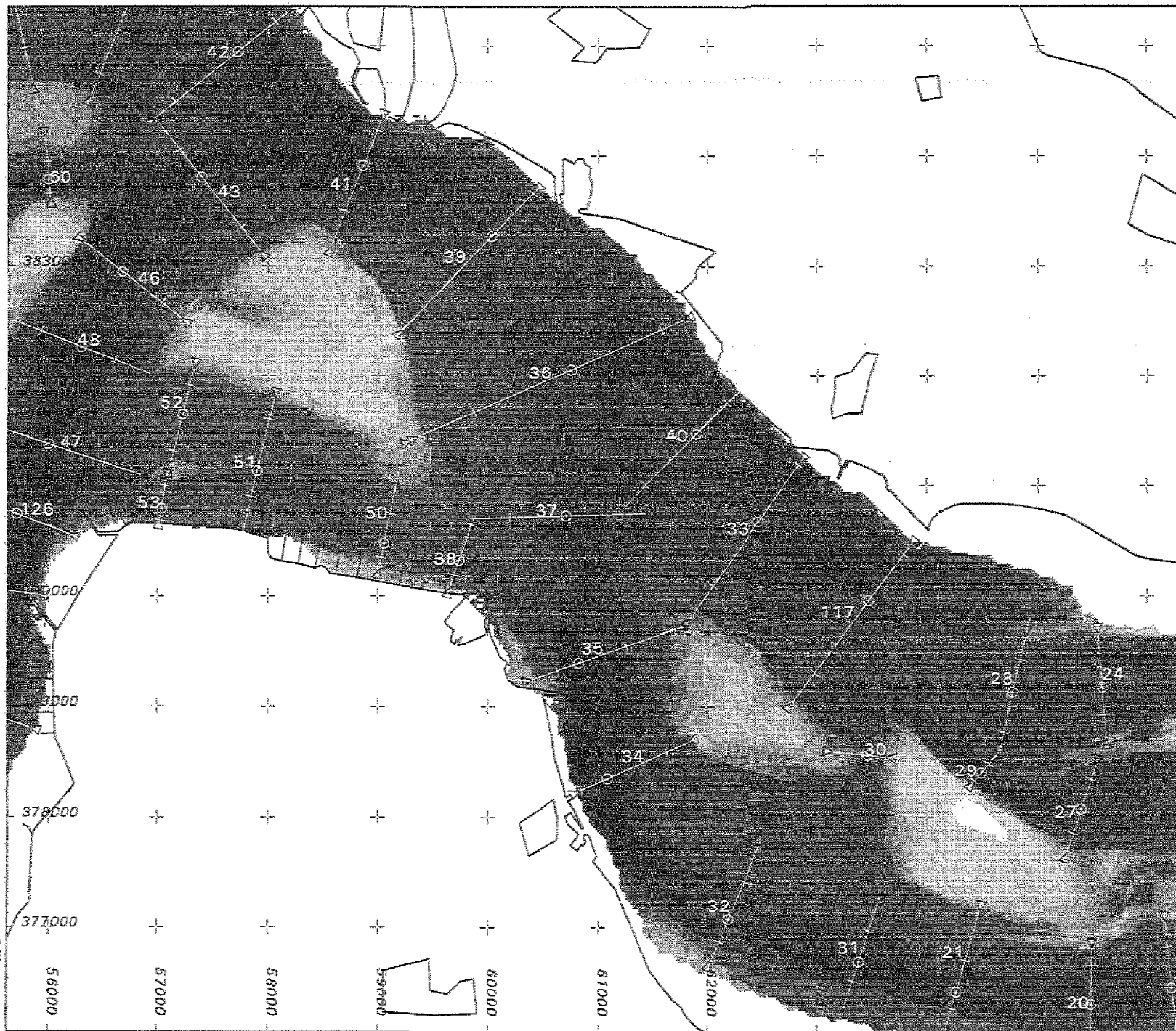


- △ Definitie geulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- ⊙ Zwaartepunt (NAP)

Schaal: 1:50.000

Verdiep

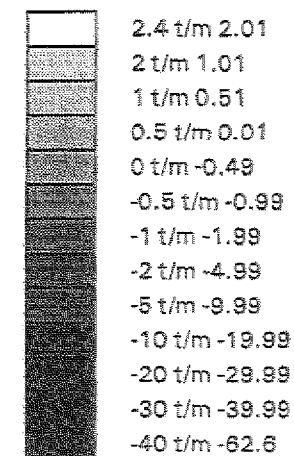
Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat



Westerschelde 1977-78

Drempel v Hansweert
Profiellokaties

Legenda
meters



- △ Definitie gaulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- Zwaartepunt (NAP)

Schaal: 1:50.000

Verdiep

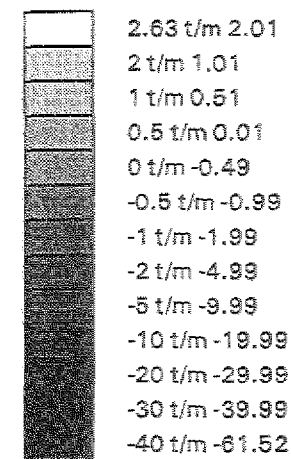


Rijkswaterstaat voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat

Westerschelde 1992

Drempel v Hansweert
Profiellokaties

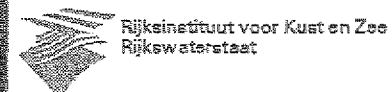
Legenda
meters



- △ Definitie geulrand (NAP)
- Grens stroomvoerende deel geul
- Zwaartepunt (NAP)

Schaal: 1:50.000

Verdiep



Bijlage E

Verloop geulparameters op en rond de drempels van Bath en Valkenisse en Hansweert in de jaren 1960-61, 1977-78 en 1992

Verklaring afkortingen geulparameters:

Qq	= doorstroomvermogen ($m^{8/3}$)
ACq	= stroomvoerend oppervlak onder NAP (m^2)
Bq	= stroomvoerende breedte (m)
Hq	= stroomvoerende gemiddelde diepte (m)
Bq/Hq	= breedte/diepte-ratio van stroomvoerende deel geul (-)
Sq	= geulscheefheid (-)

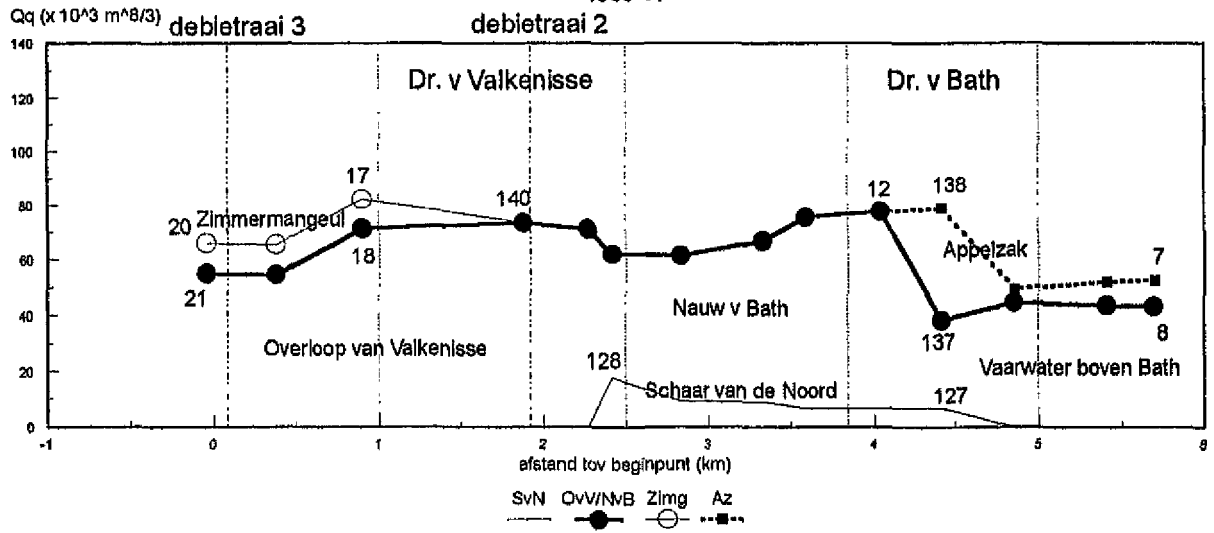
Verklaring afkortingen geulnamen:

VwbB	= Vaarwater boven Bath
Az	= Appelzak
NvB	= Nauw van Bath
SvN	= Schaar van de Noord
OvV	= Overloop van Valkenisse
Zing	= Zimmermangeul
Zg	= Zuidergat
SvW	= Schaar van Waarde
SvO	= Schaar van Ossenissee
OvH	= Overloop van Hansweert

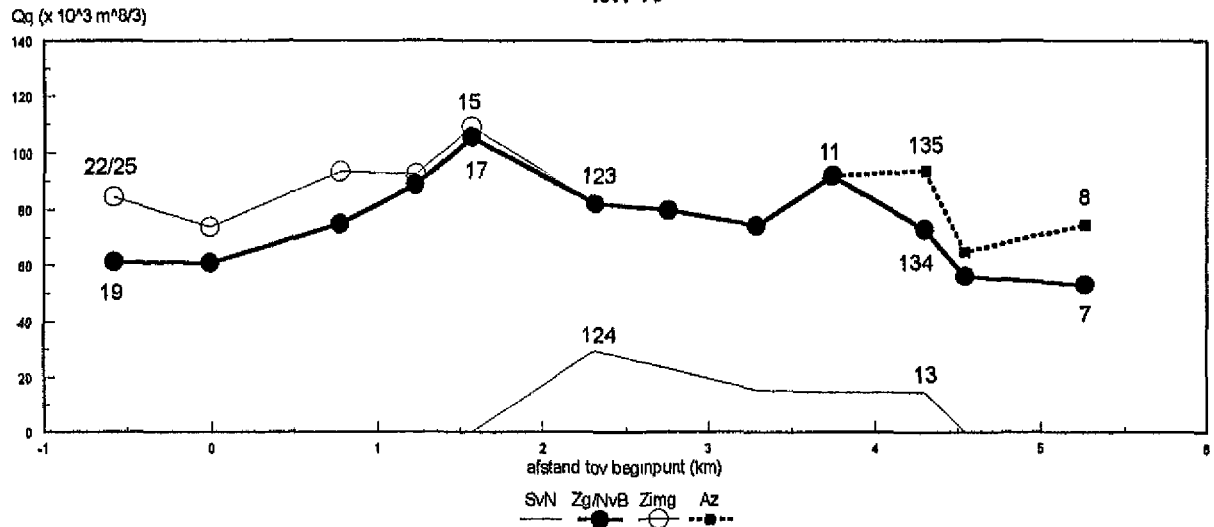
Bijlage E.1.a

Verloop stroomvoerendvermogen (Qq) over de Drempels van Bath en Valkenisse

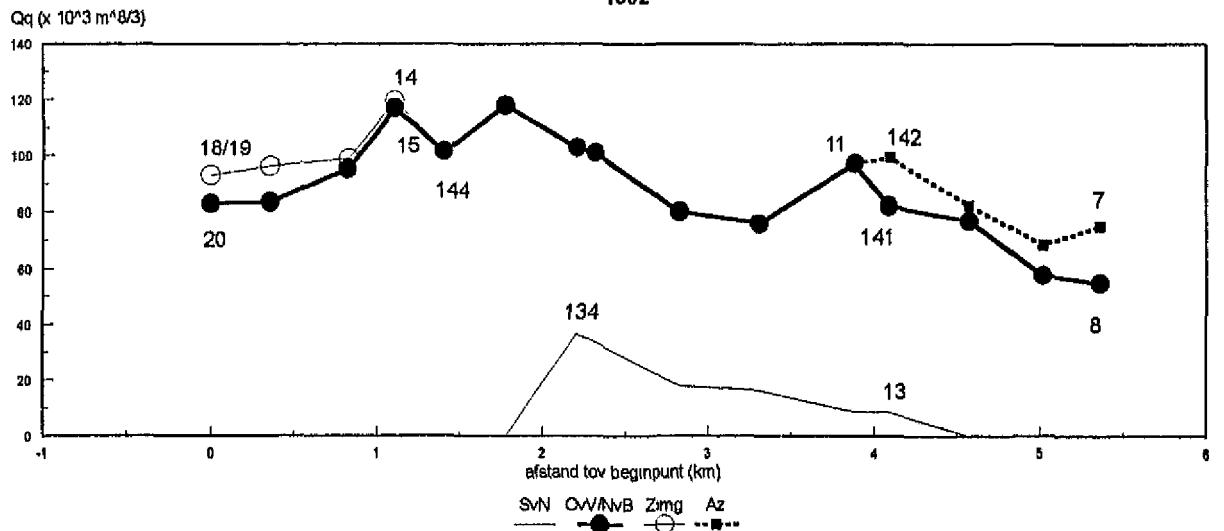
1960-61



1977-78

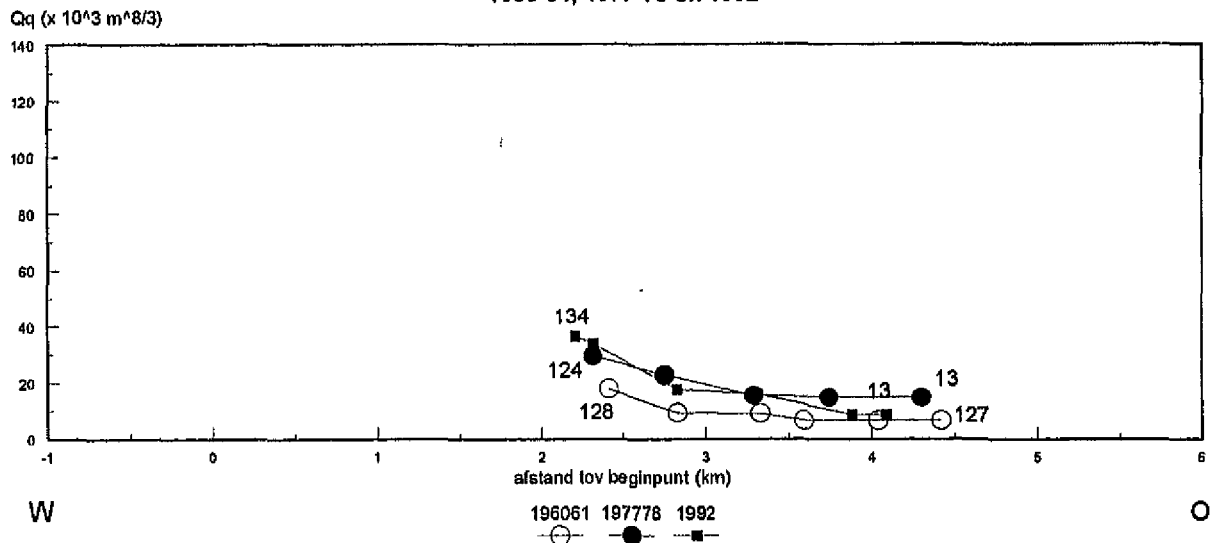


1992

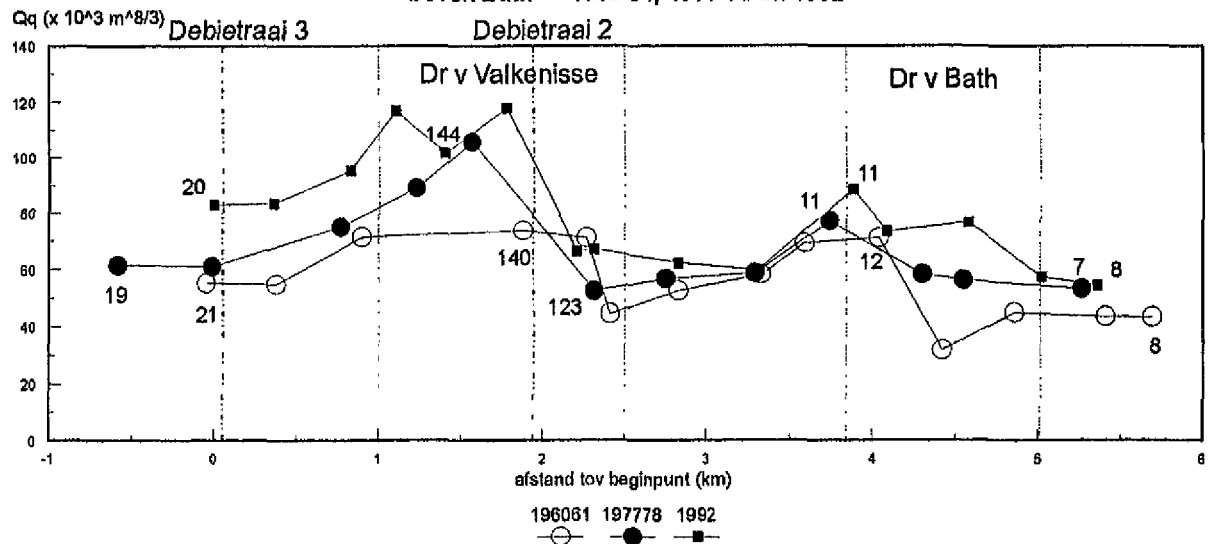


Bijlage E.1.b

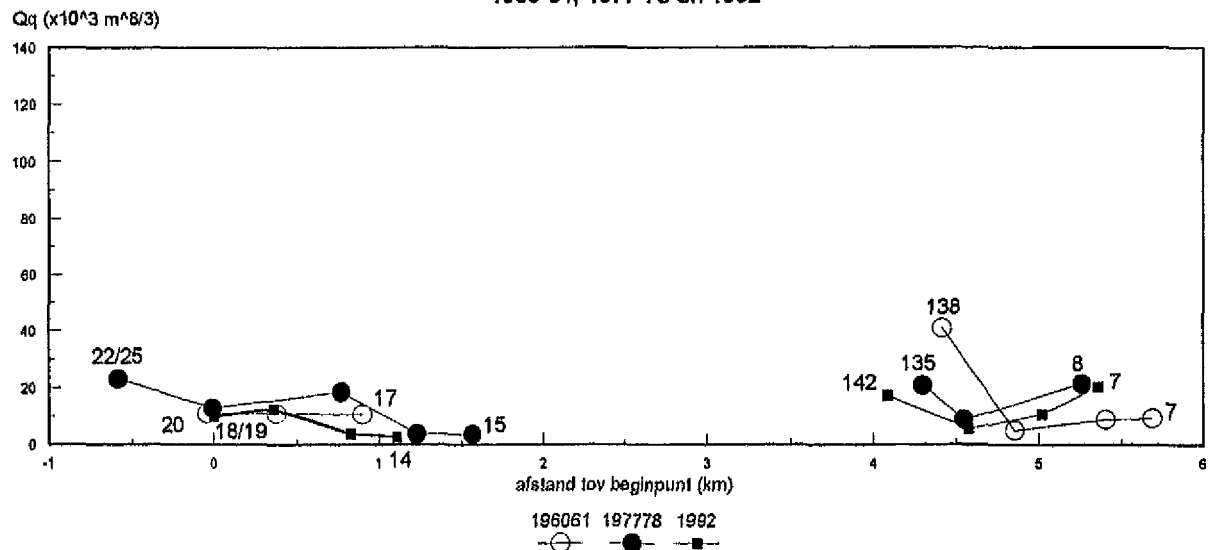
Verloop doorstroomvermogen (Qq) in de Schaar van de Noord
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop doorstroomvermogen (Qq) Overl v Valkenisse, Nauw v Bath en Vaarwater
boven Bath 1960-61, 1977-78 en 1992



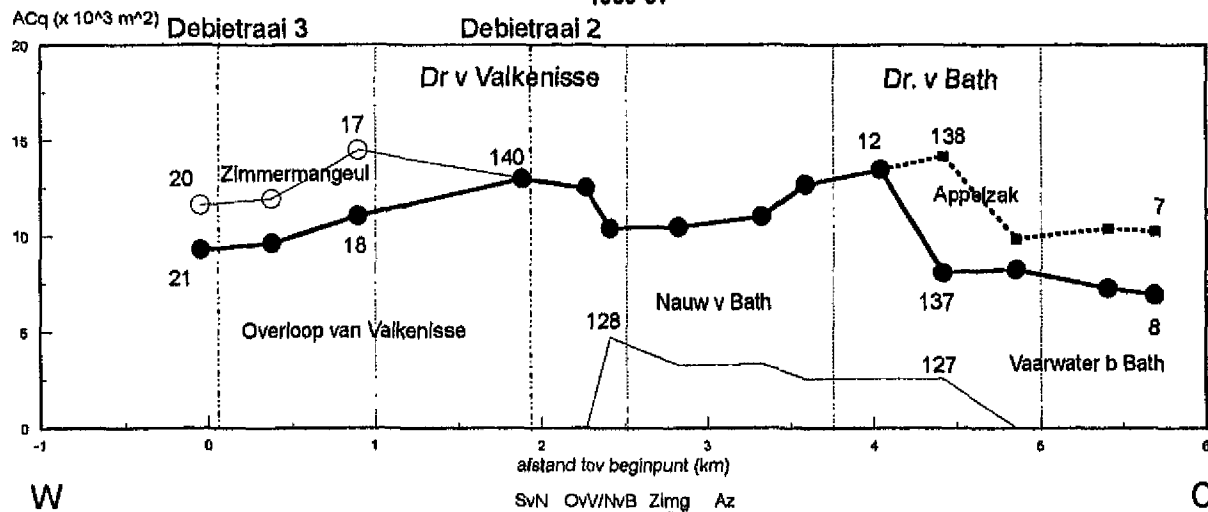
Verloop doorstroomvermogen (Qq) in Zimmermangeul (l) & Appelzak (r)
1960-61, 1977-78 en 1992



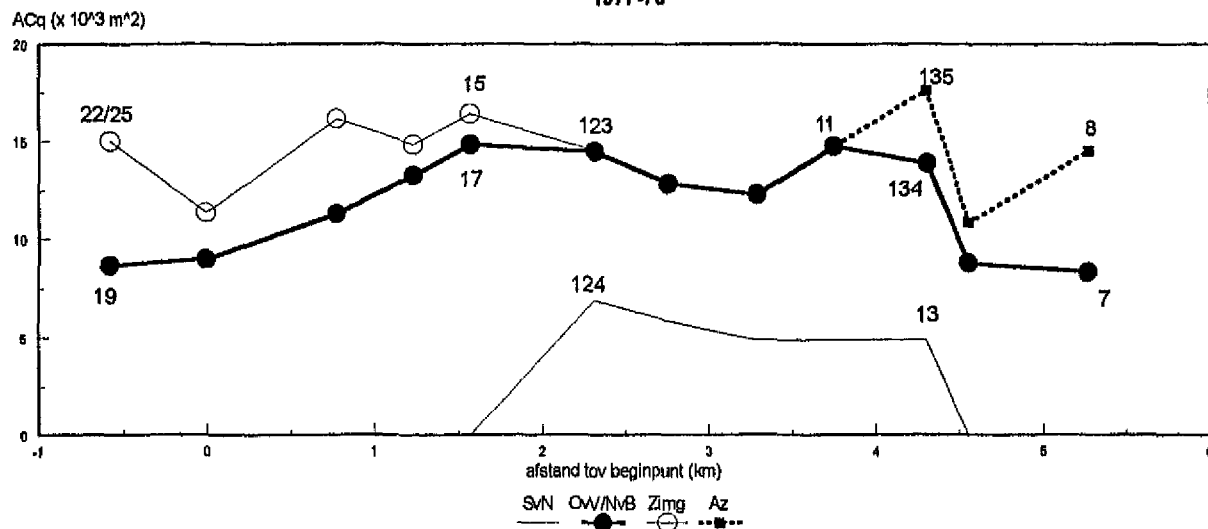
Bijlage E.2.a

Verloop opp. stroomvoerende deel geul (ACq) de Drempels v Bath en Valkenisse

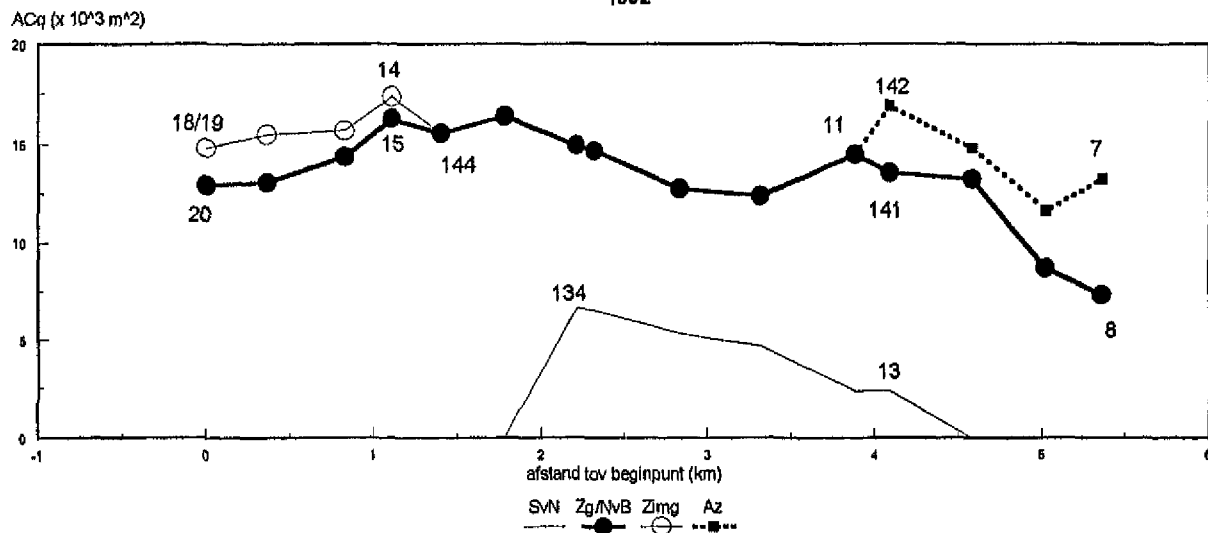
1960-61



1977-78

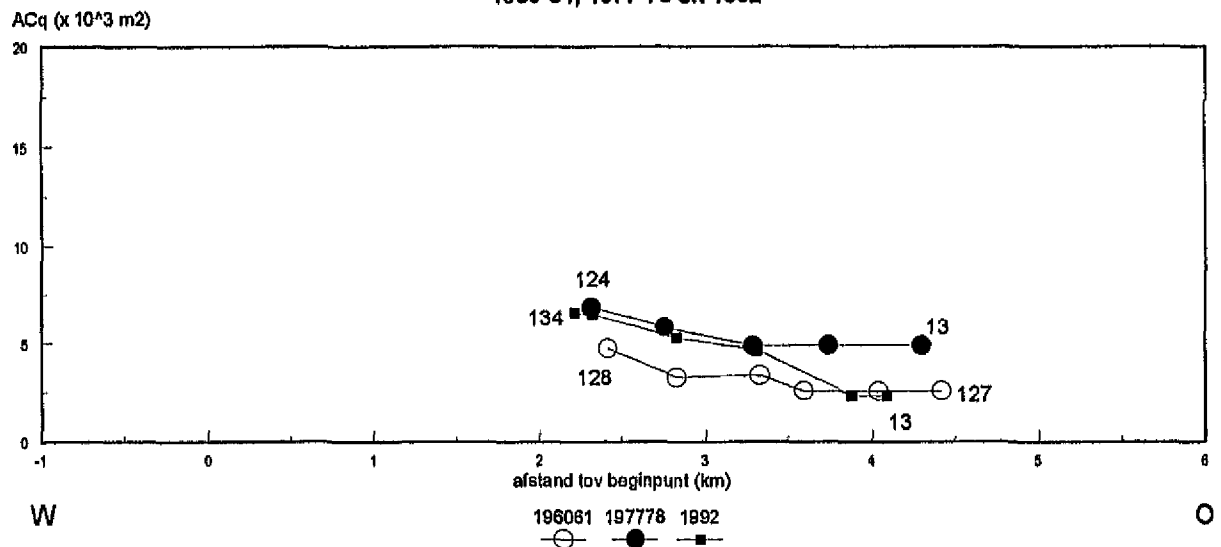


1982

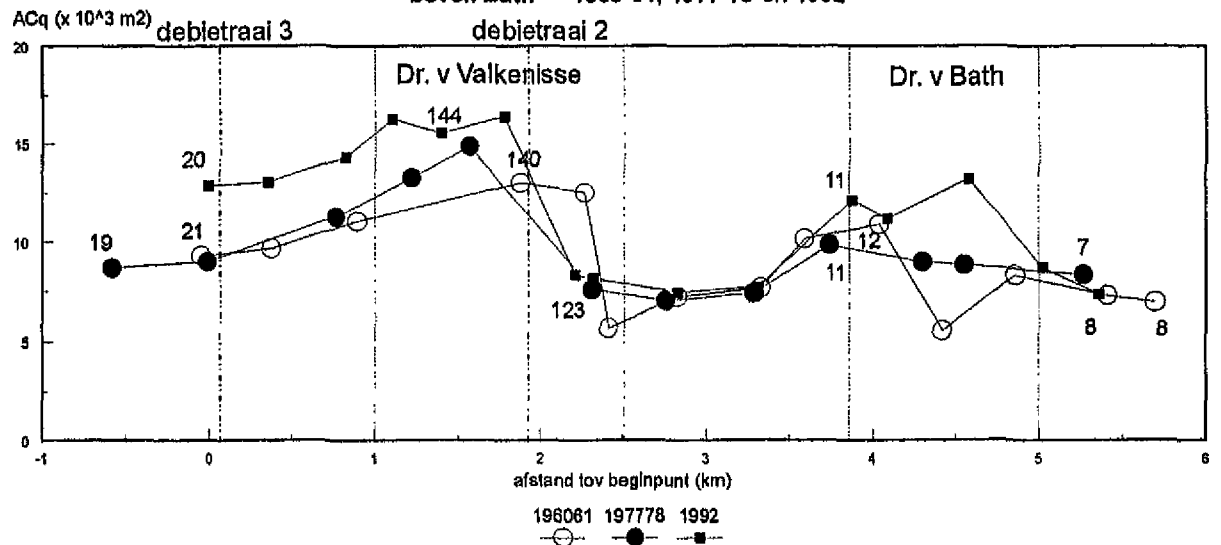


Bijlage E.2.b

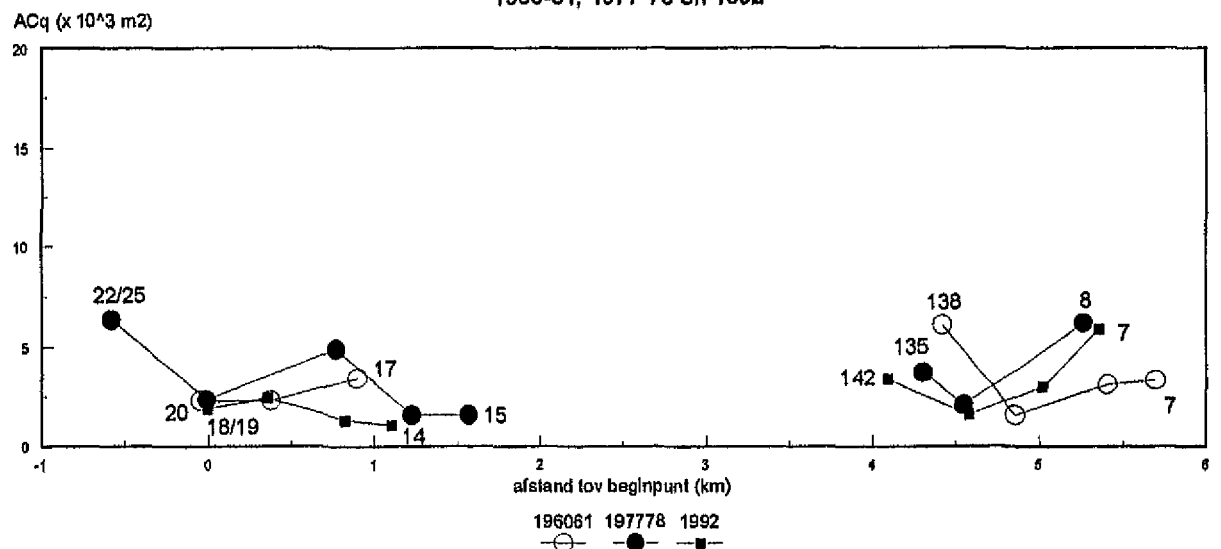
Verloop opp. stroomv. deel geul (ACq) in de Schaar van de Noord 1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop opp. stroomv. deel geul (ACq) in Overl. Valkenisse, Nauw v Bath & Vaarw boven Bath 1960-61, 1977-78 en 1992

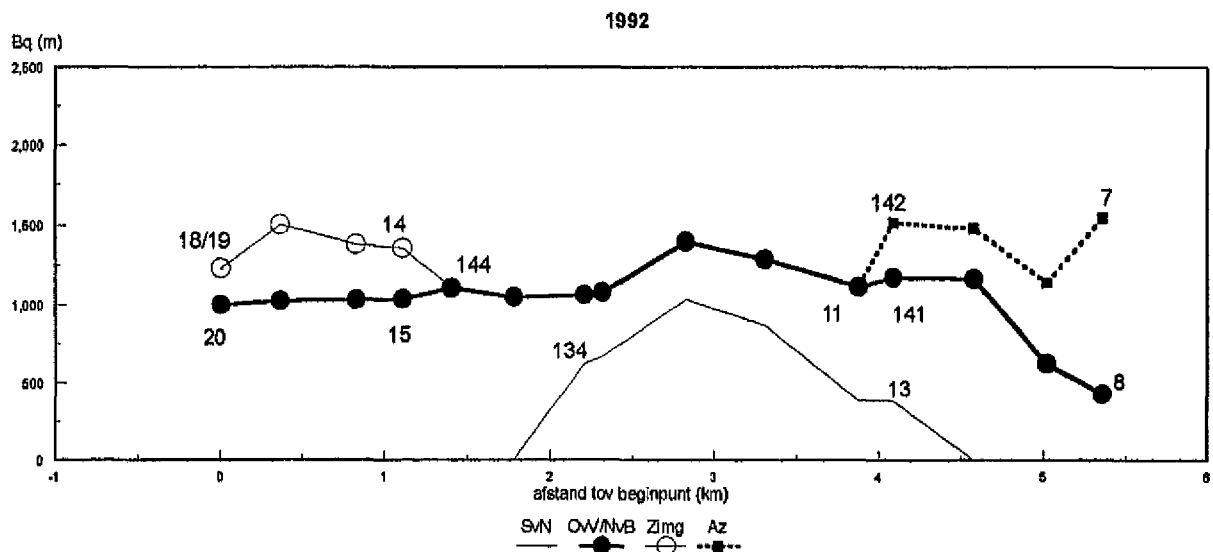
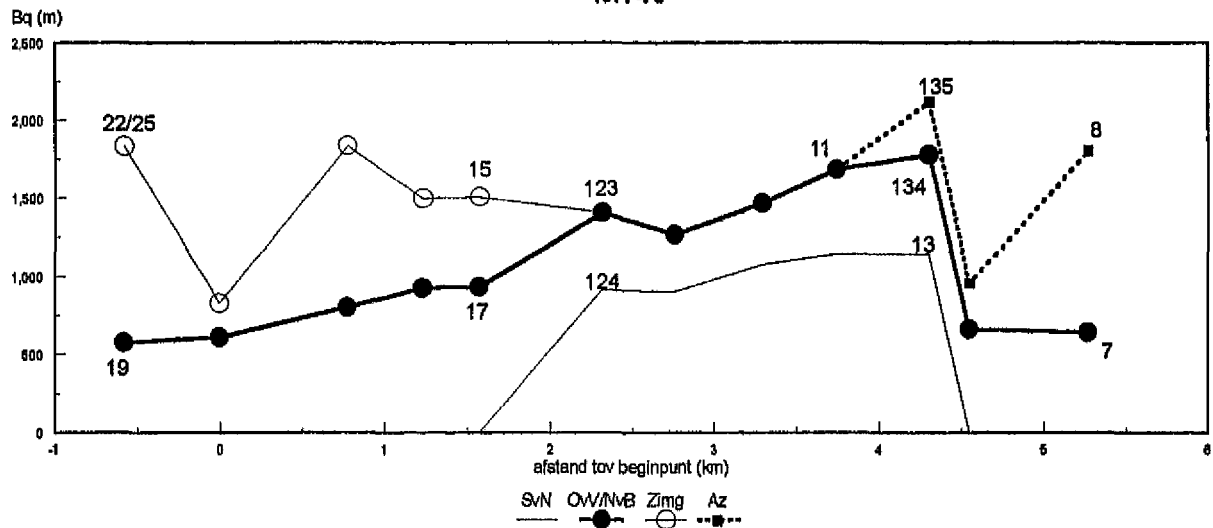
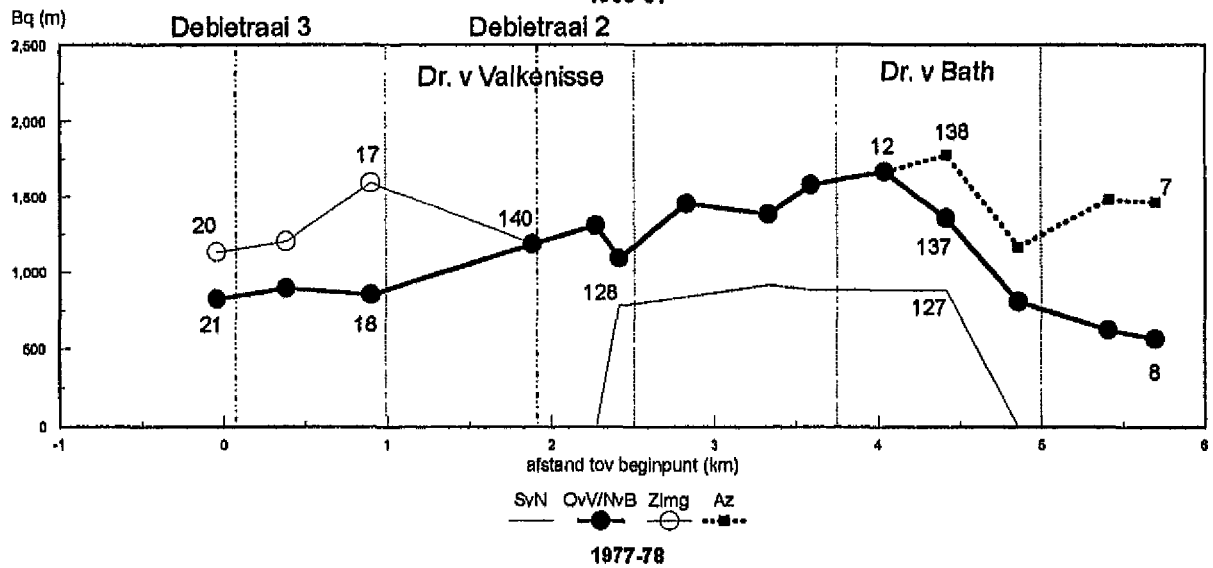


Verloop opp. stroomv. deel geul (ACq) in de Zimmermangeul (l) en Appelzak (r) 1960-61, 1977-78 en 1992



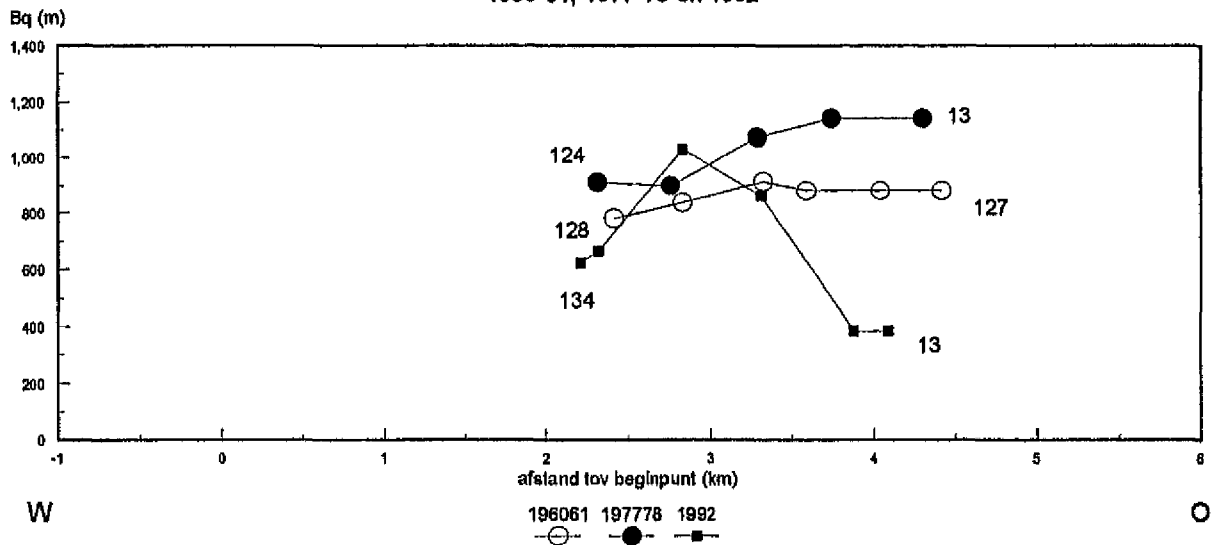
Bijlage E.3.a

Verloop str. voer. breedte (Bq) Drempels van Bath en Valkenisse
1960-61

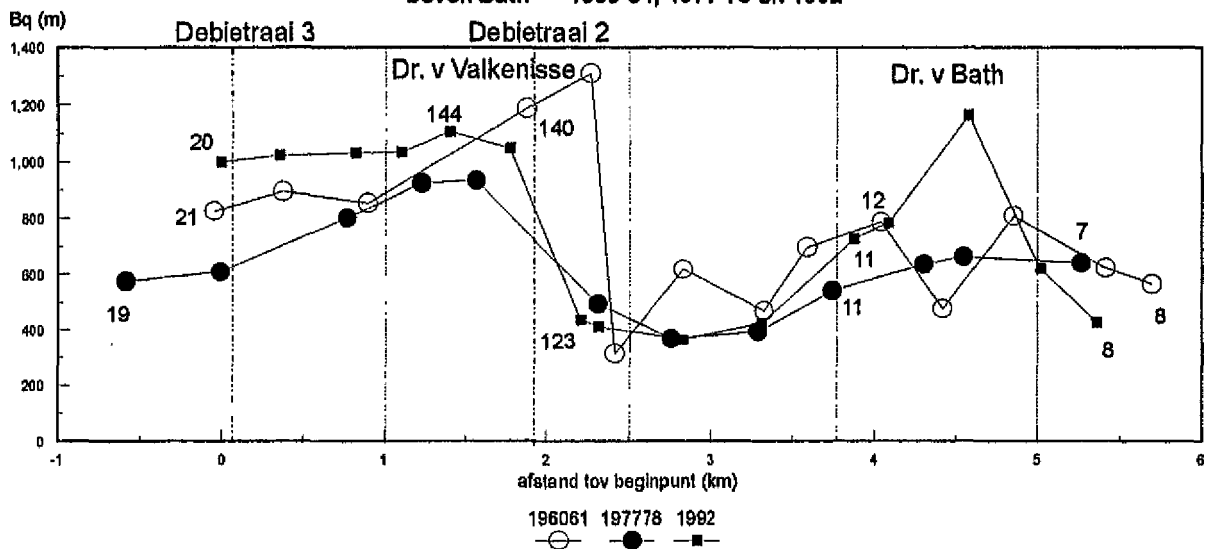


Bijlage E.3.b

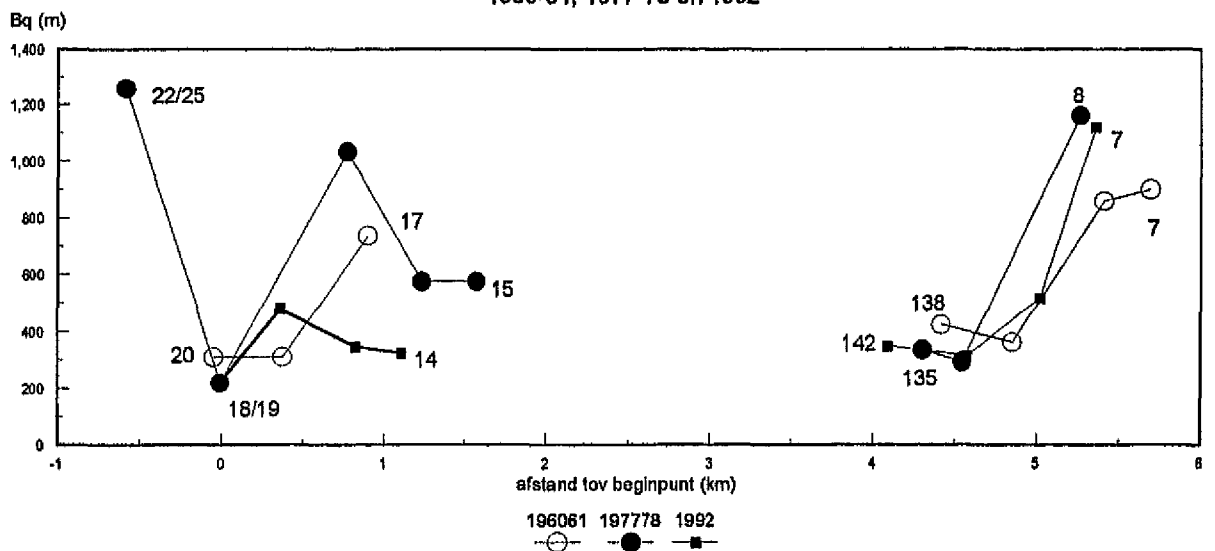
Verloop stroomv. breedte (Bq) in de Schaar van de Noord
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop stroomv. breedte (Bq) in Overl. Valkenisse, Nauw v Bath en Vaarwater
boven Bath 1960-61, 1977-78 en 1992

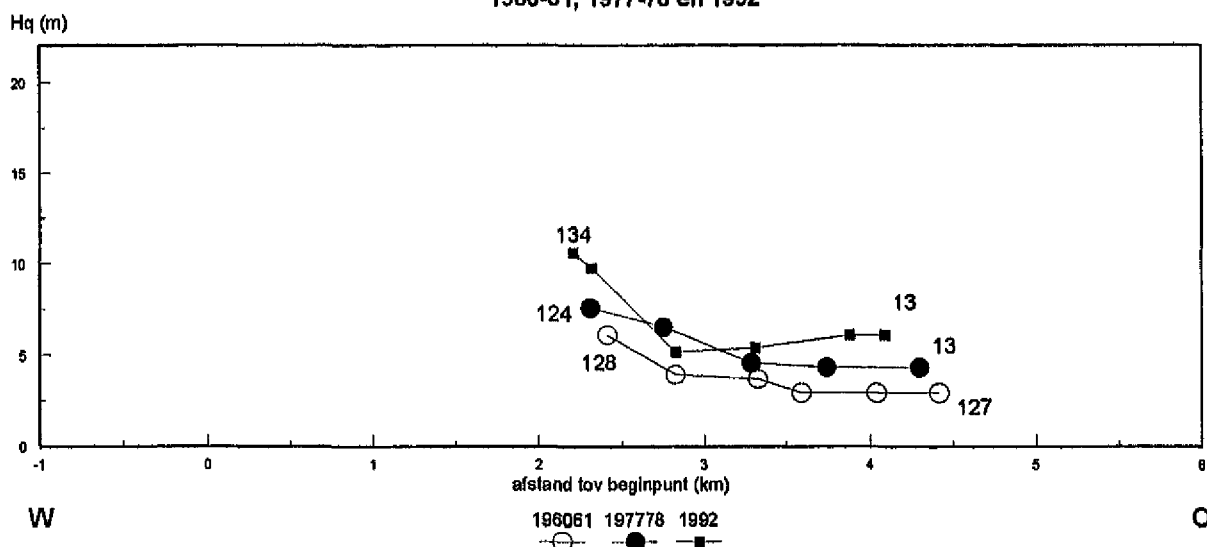


Verloop stroomv. breedte (Bq) in de Zimmermangeul (l) en Appelzak (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

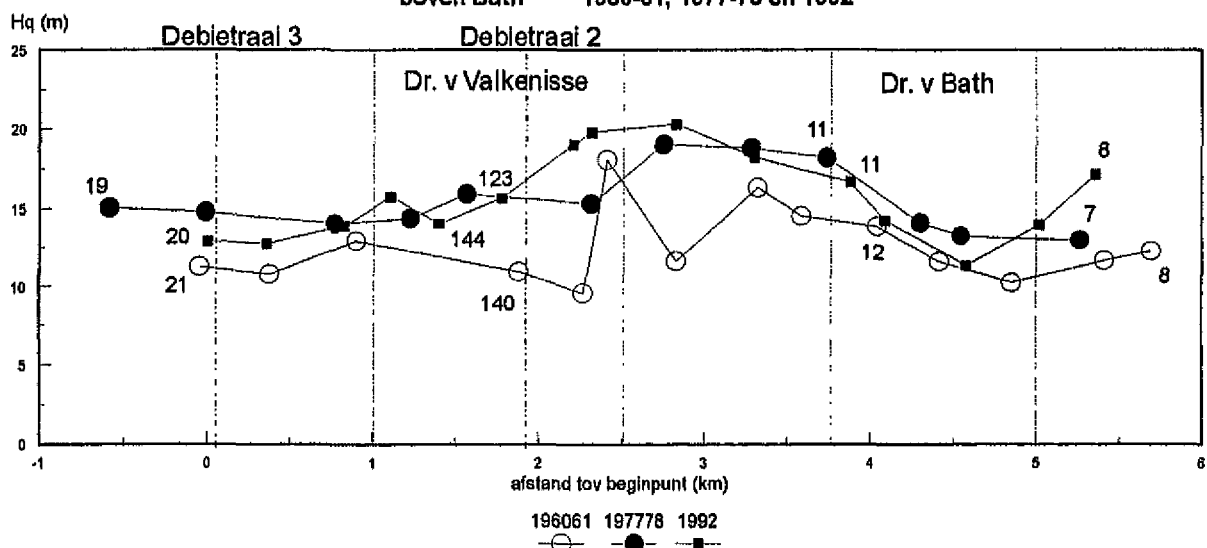


Bijlage E.4

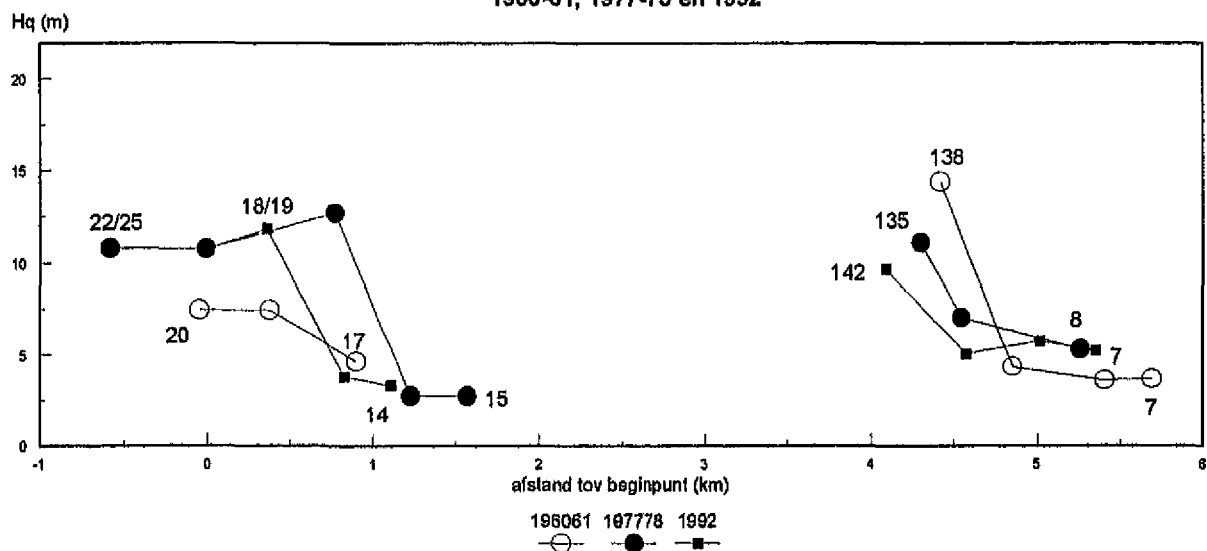
Verloop gem. stroomv. diepte (Hq) in de Schaar van de Noord
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop gem. stroomv. diepte (Hq) Overl Valkenisse, Nauw v Bath & Vaarwater
boven Bath 1960-61, 1977-78 en 1992

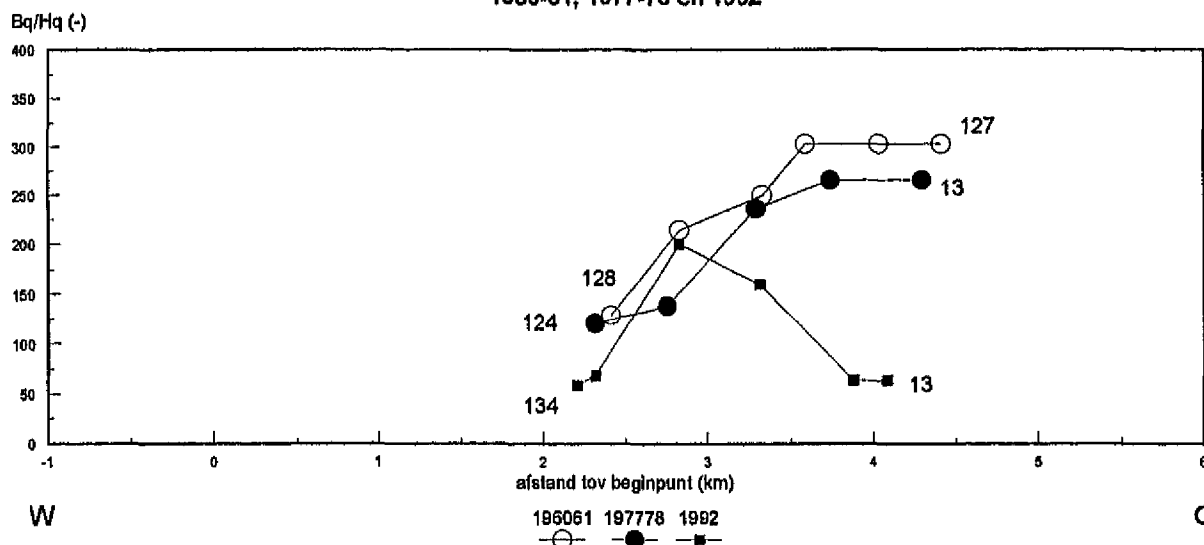


Verloop gem. stroomv. diepte (Hq) in de Zimmermangeul (l) en Appelzak (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

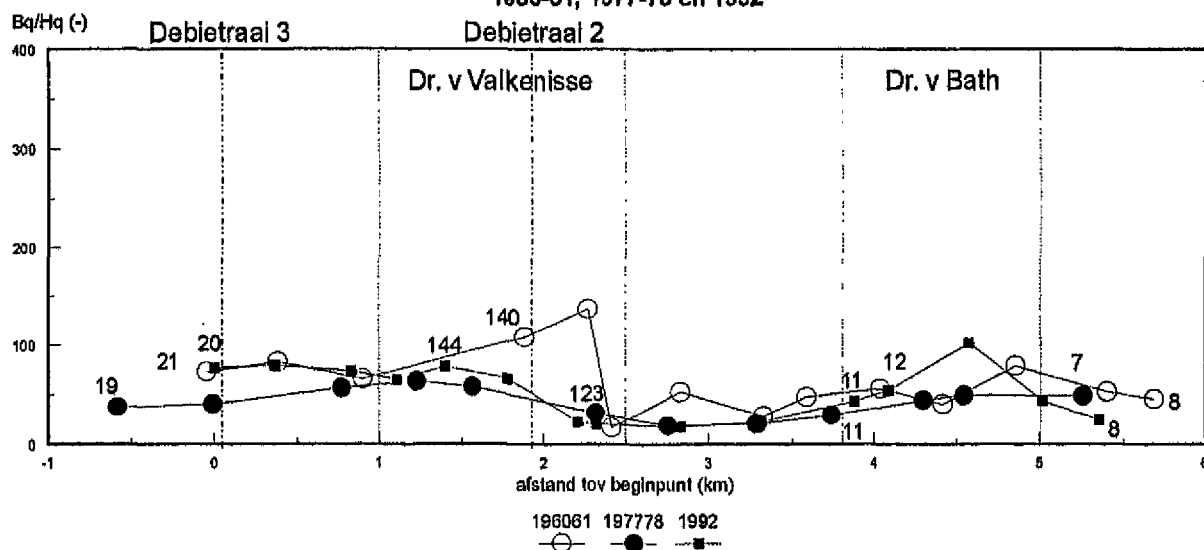


Bijlage E.5

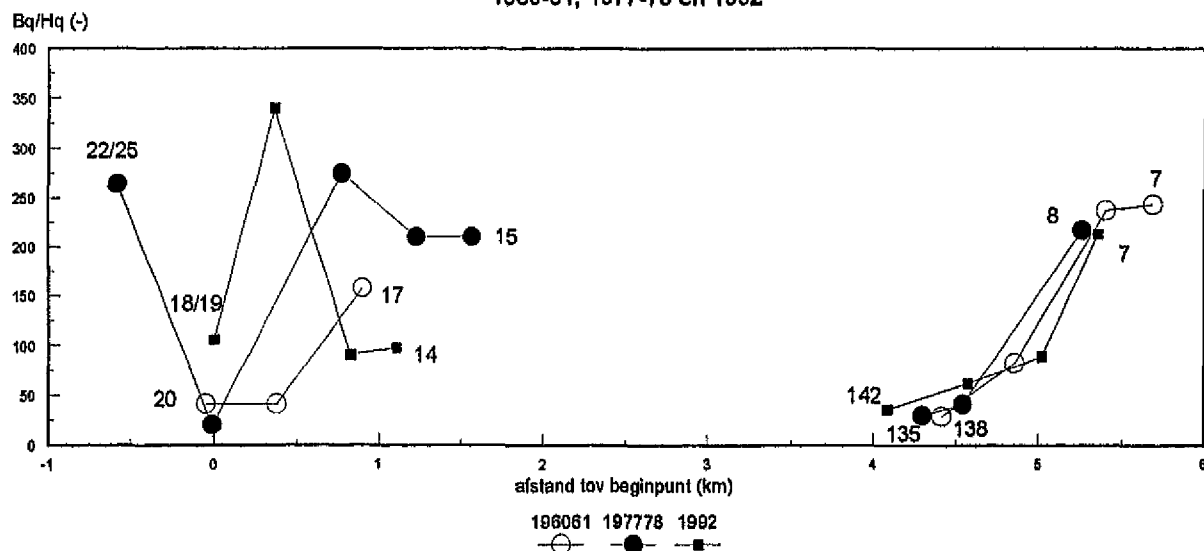
Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) in de Schaar van de Noord
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) Zuiderg, Nw v Bath en Vw b Bath
1960-61, 1977-78 en 1992

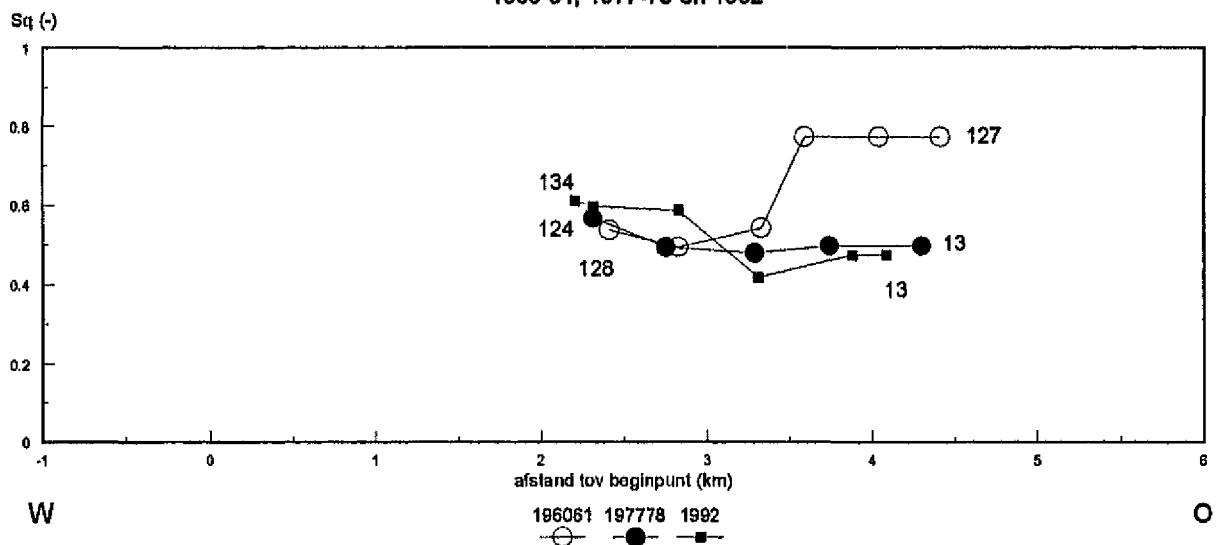


Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) Zimmermang (l) en Appelzak (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

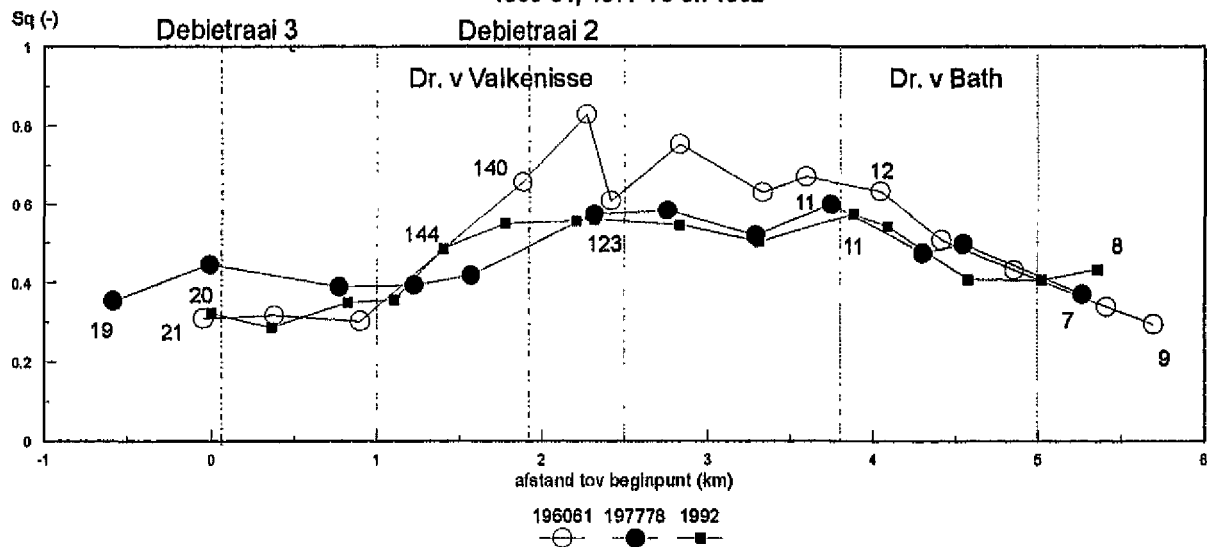


Bijlage E.6

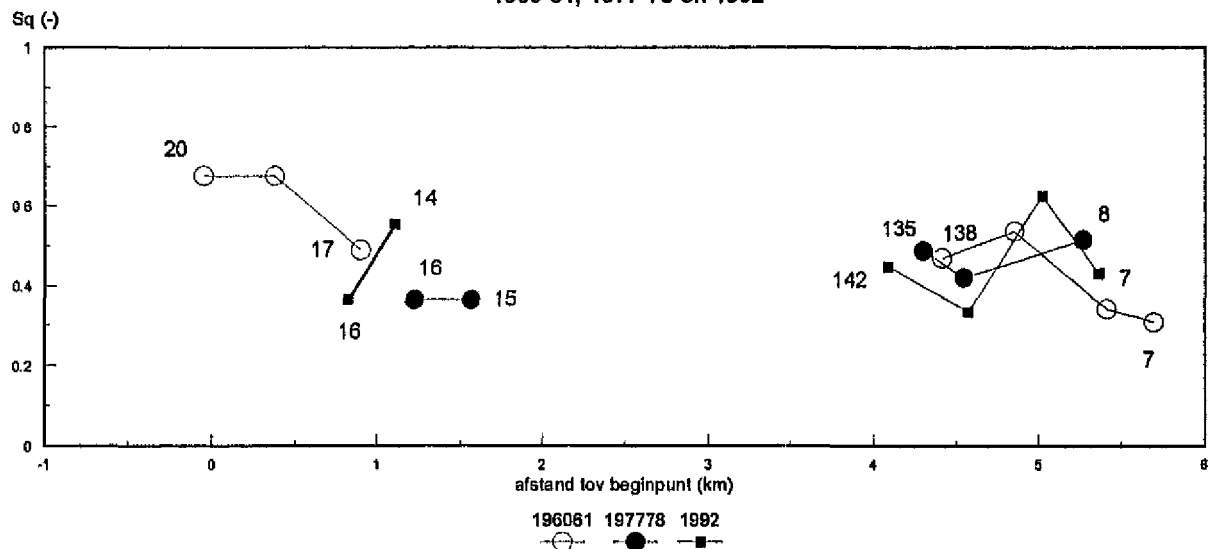
Verloop scheefheid str. voer. deel geul (Sq) in de Schaar van de Noord
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop scheefheid str. voer. deel geul (Sq) O Valkenisse, Nw Bath & Vw b Bath
1960-61, 1977-78 en 1992

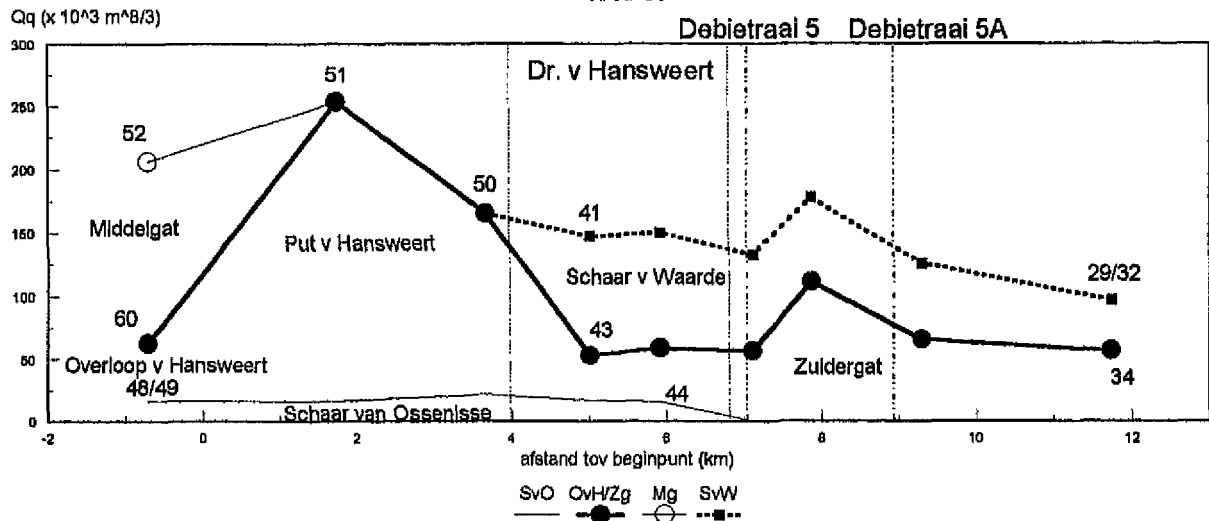


Verloop scheefheid str. voer. deel geul (Sq) in Zimmermangeul (l) & Appelzak (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

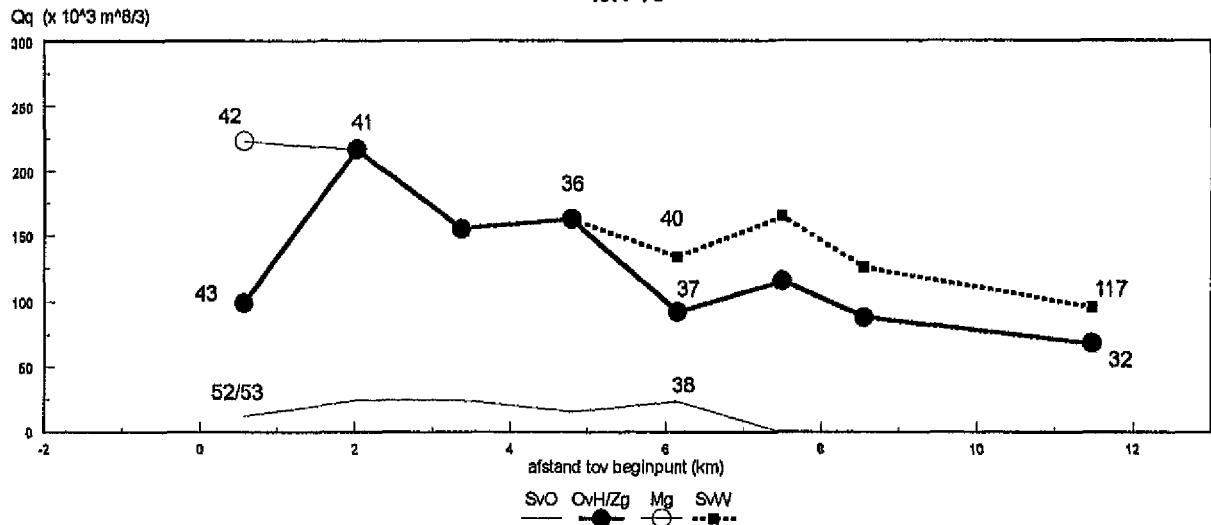


Bijlage E.7.a

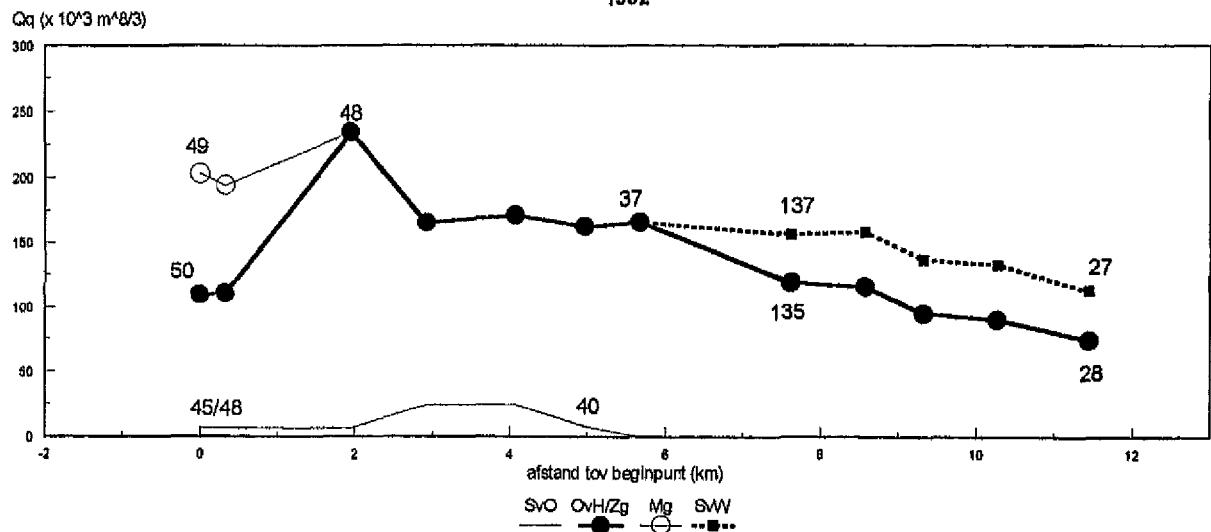
Verloop stroomvoerendvermogen (Qq) over de Drempel van Hansweert 1960-61



1977-78

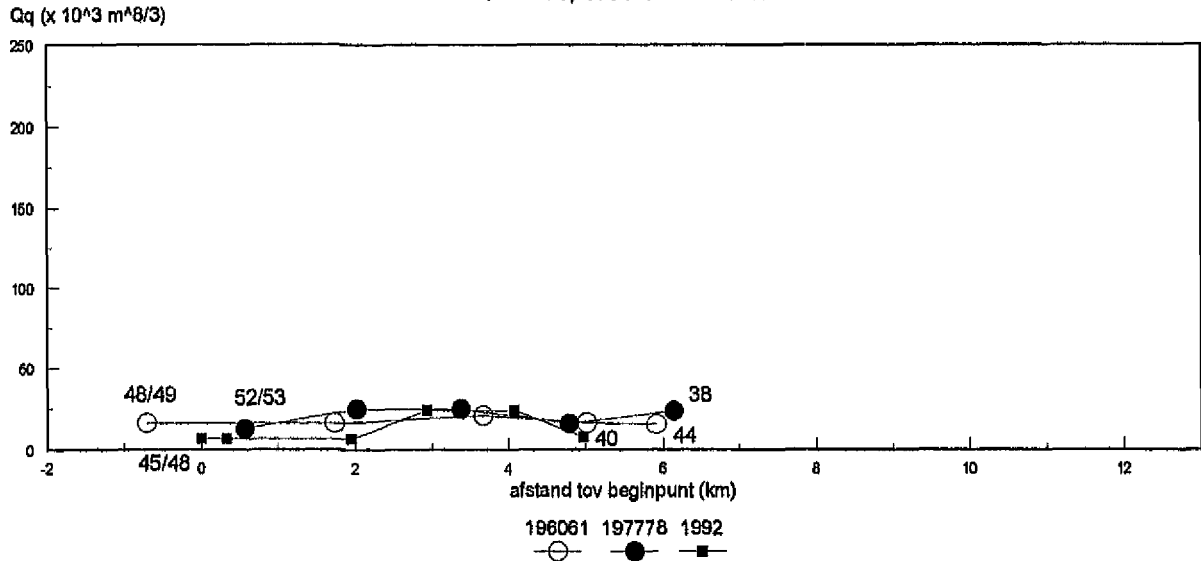


1992

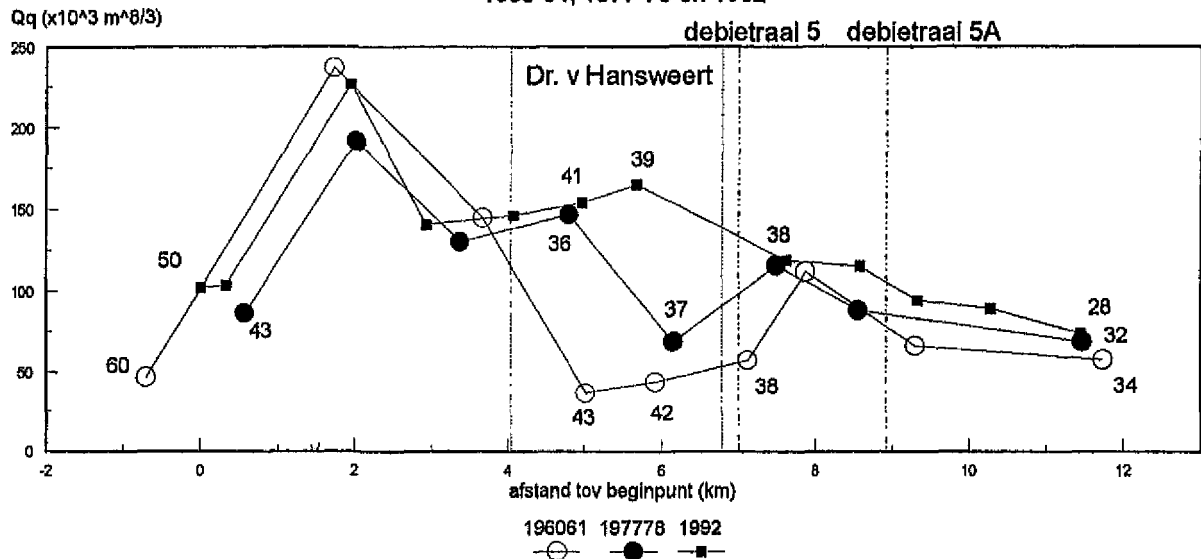


Bijlage E.7.b

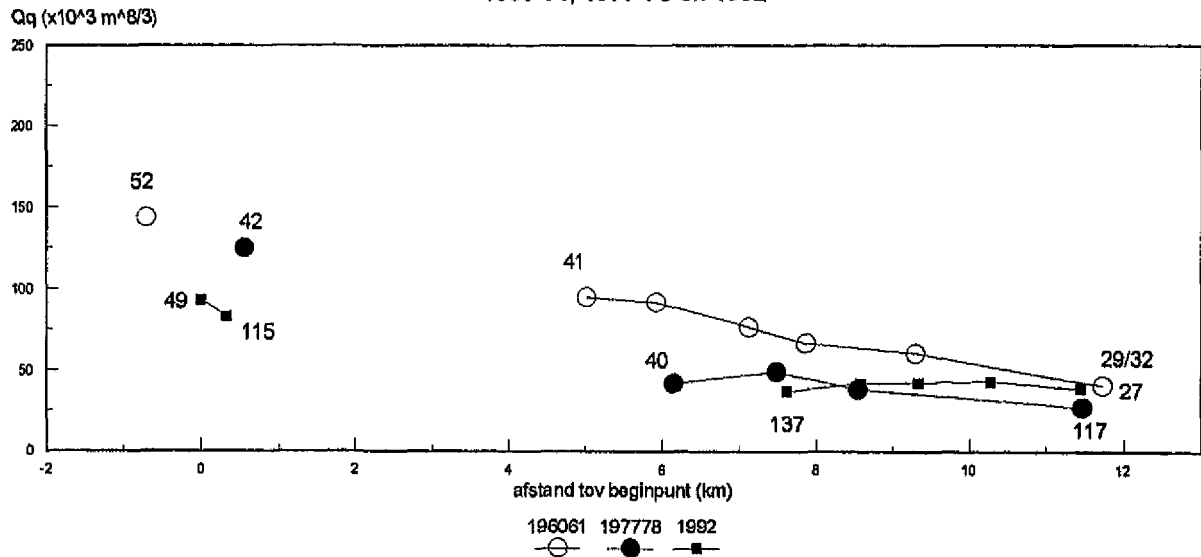
Verloop doorstroomvermogen (Qq) in de Schaar van Ossenisse
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop doorstroomvermogen (Qq) in de Overloop van Hansweert en Zuidergat
1960-61, 1977-78 en 1992

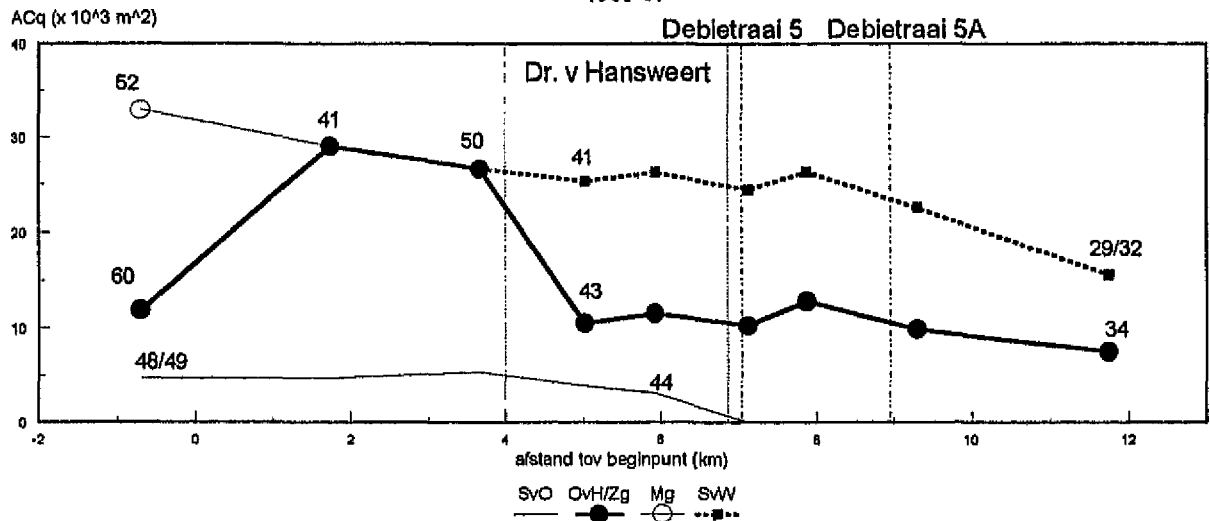


Verloop doorstroomvermogen (Qq) in Middelgat (l) en Schaar v. Waarde (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

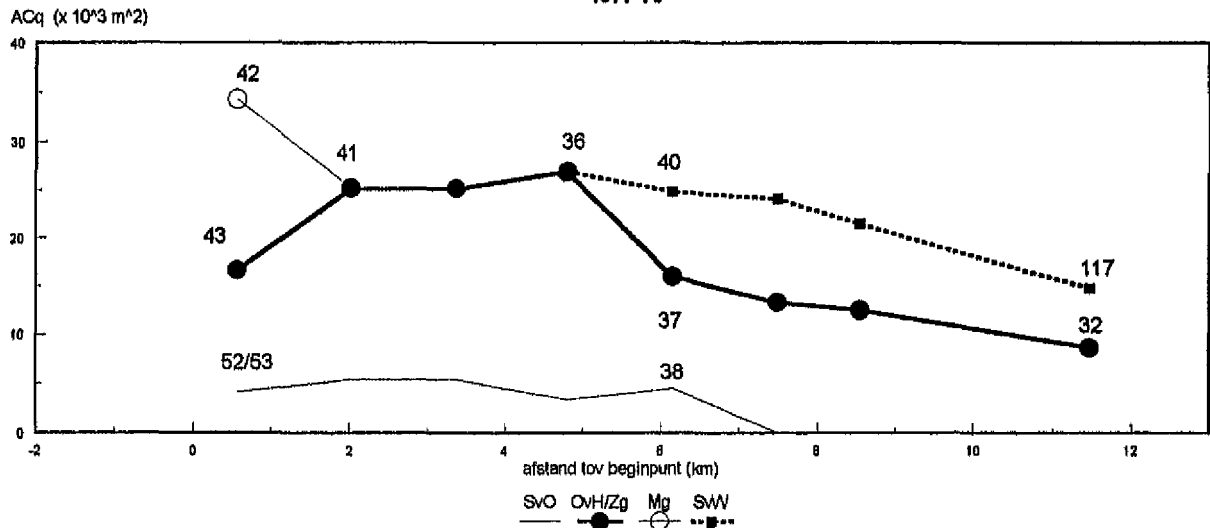


Bijlage E.8.a

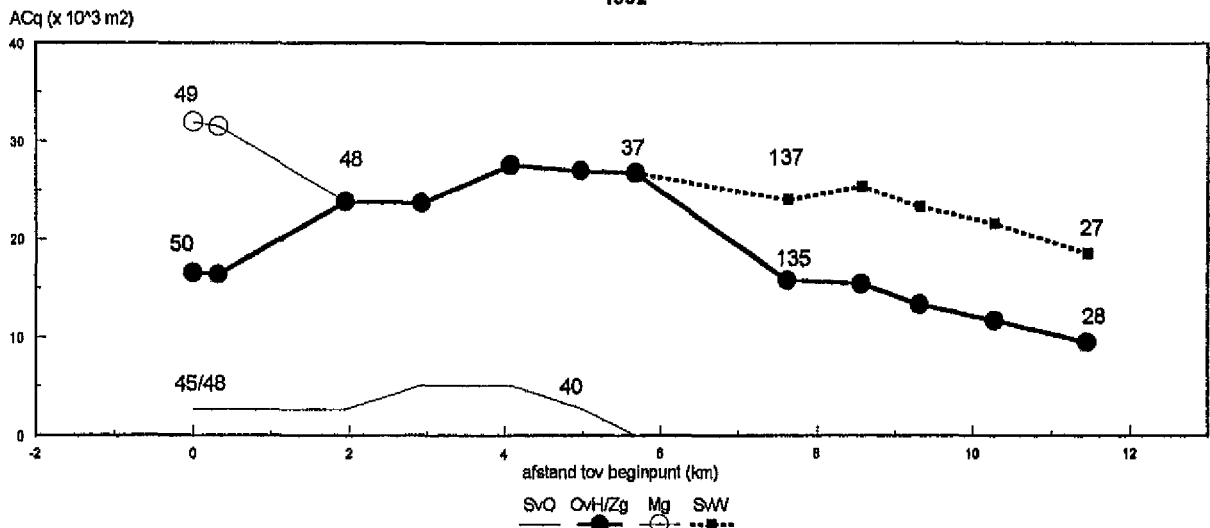
Verloop opp. stroomvoerende deel geul (ACq) over de Drempel van Hansweert 1960-61



1977-78

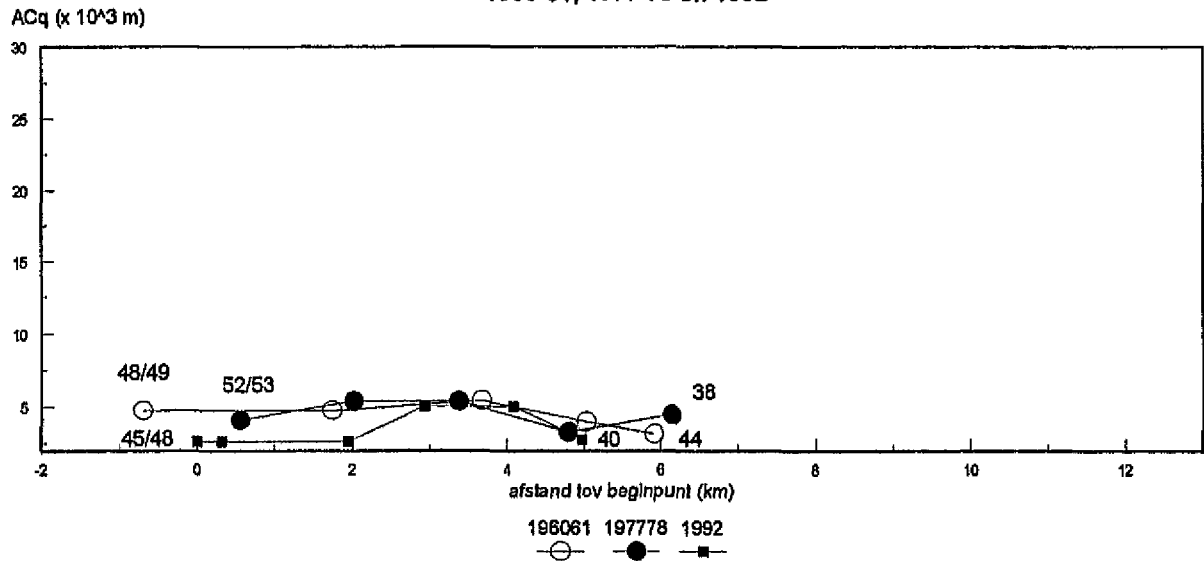


1992

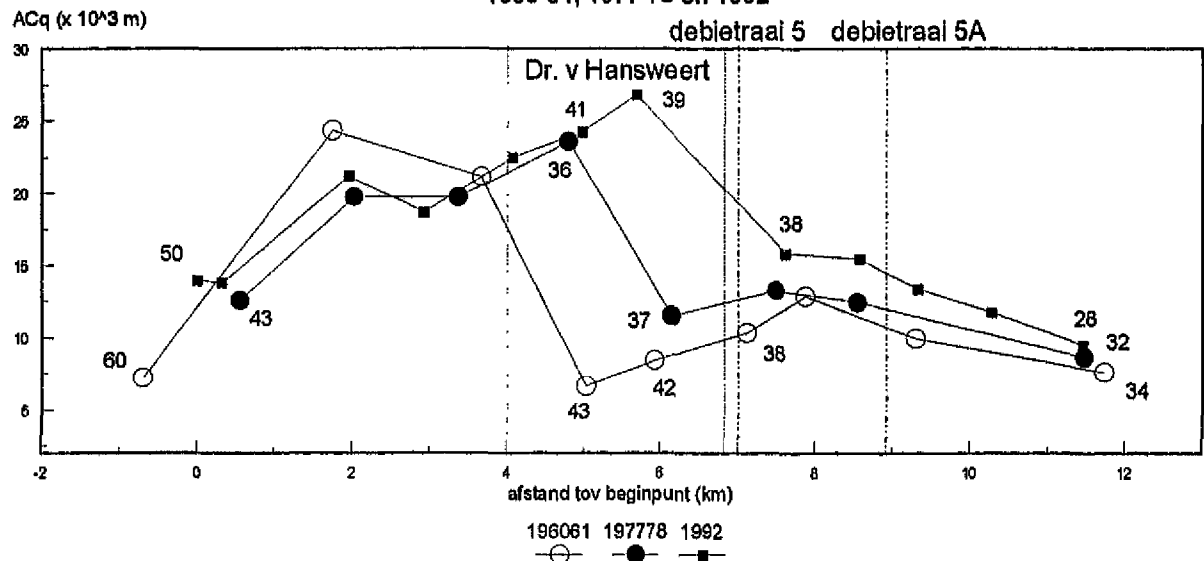


Bijlage E.8.b

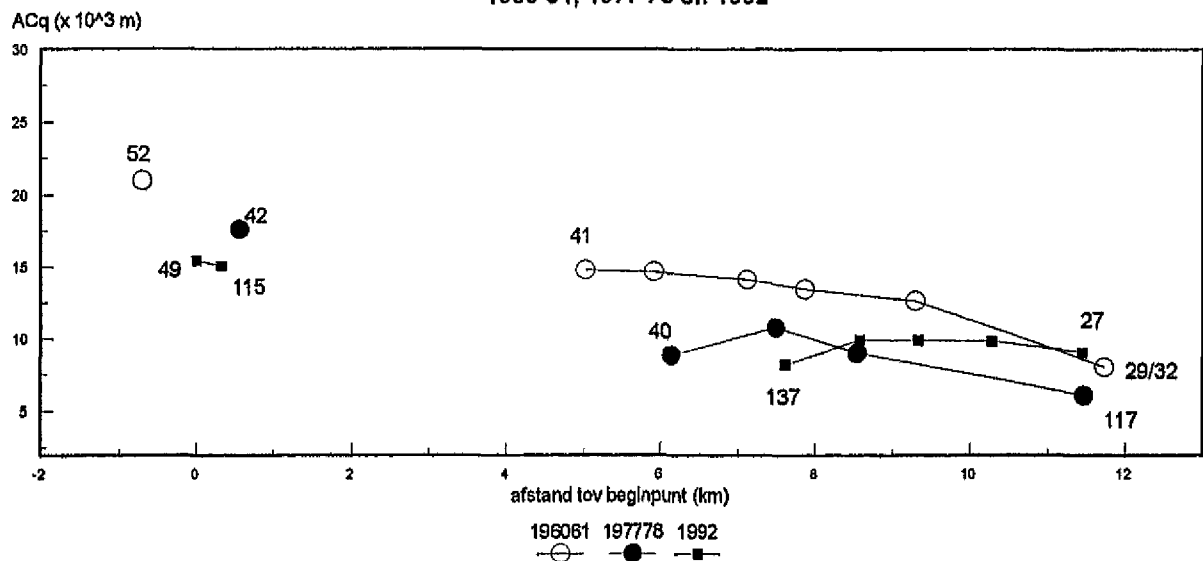
Verloop opp. stroomvoerende deel geul (ACq) in de Schaar van Ossenissee 1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop opp. str. voer. deel geul (ACq) in de Overl. van Hansweert en Zuidergat 1960-61, 1977-78 en 1992

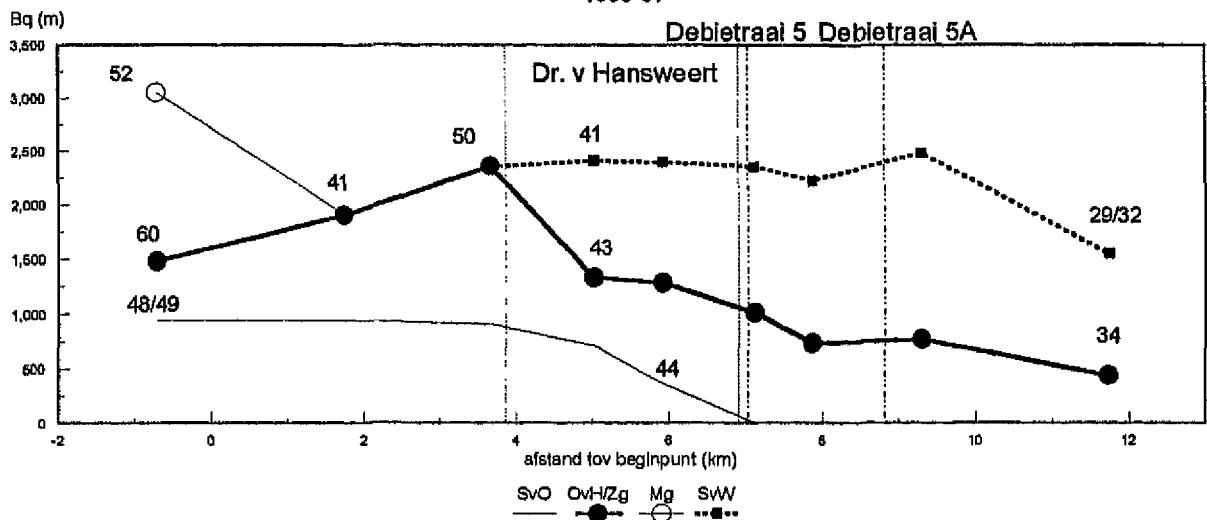


Verloop opp. str. voer. deel geul (ACq) in het Middelgat (l) & Sch v Waarde (r) 1960-61, 1977-78 en 1992

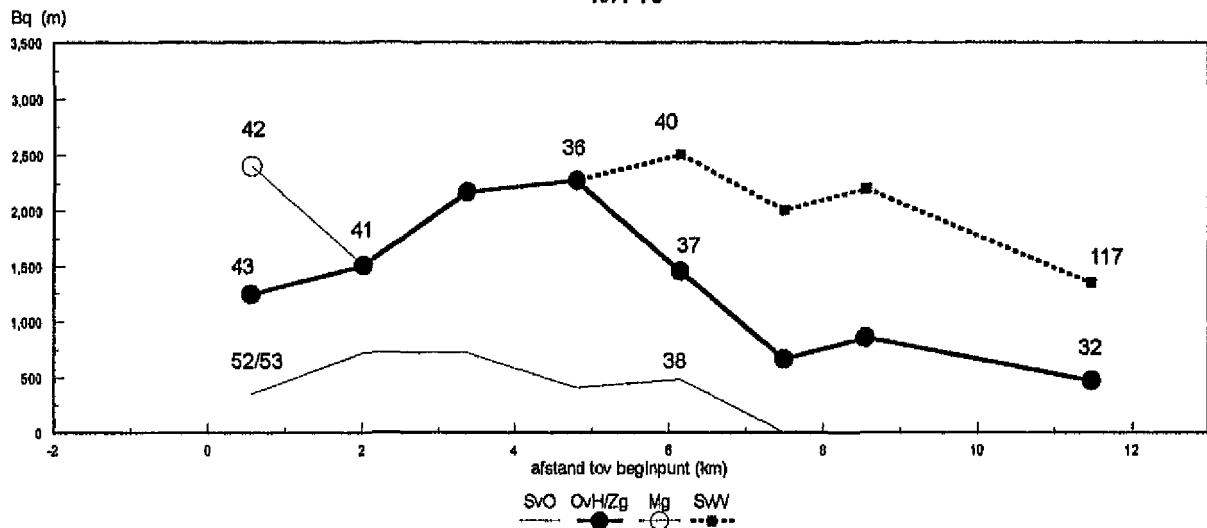


Bijlage E.9.a

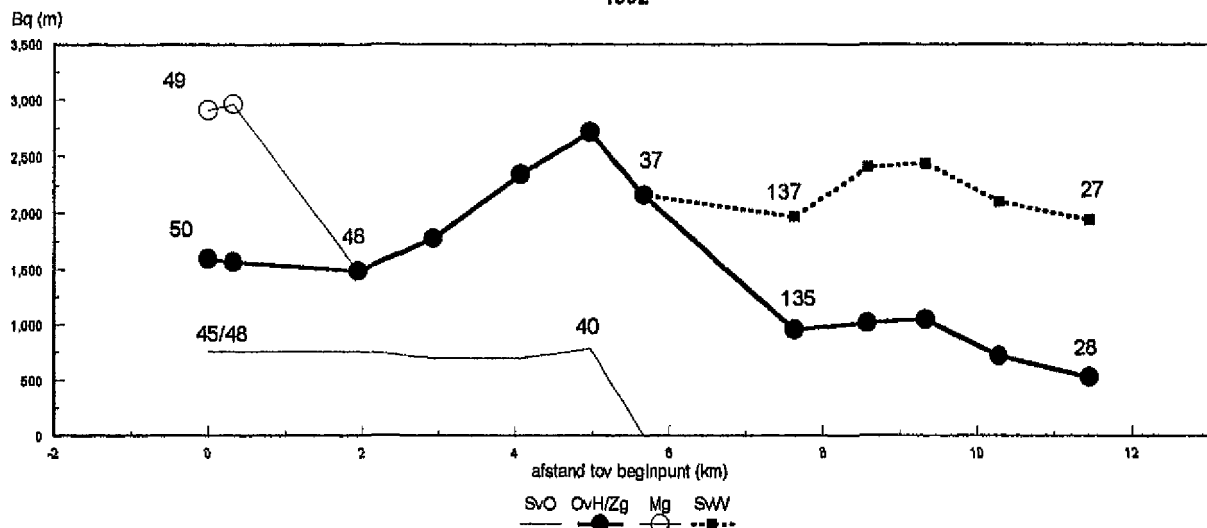
Verloop str. voer. breedte (Bq) over de Drempel van Hansweert
1960-61



1977-78

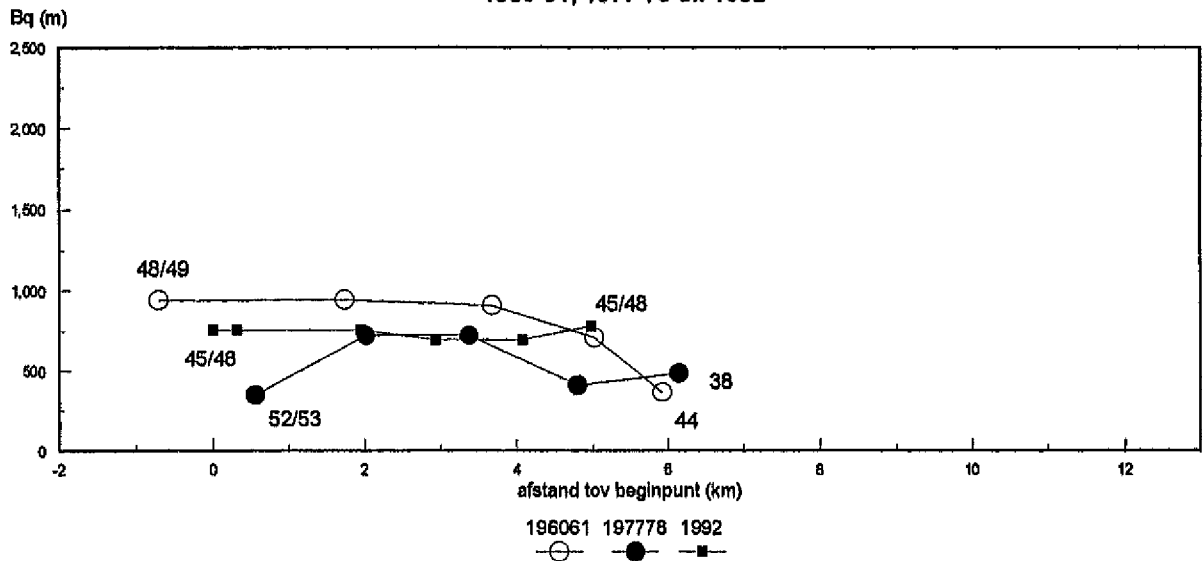


1992

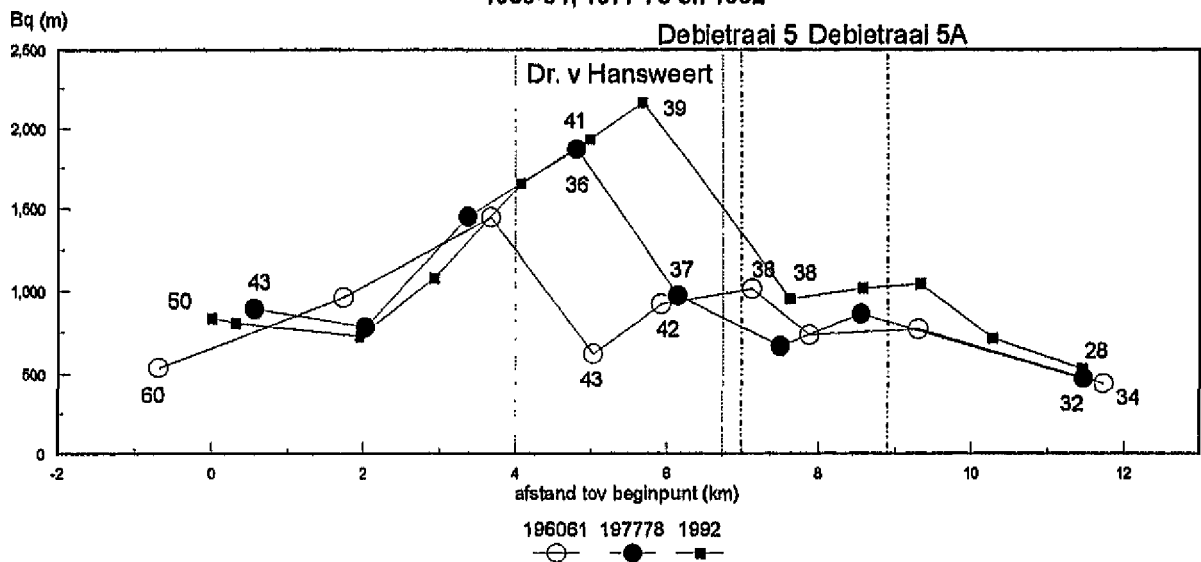


Bijlage E.9.b

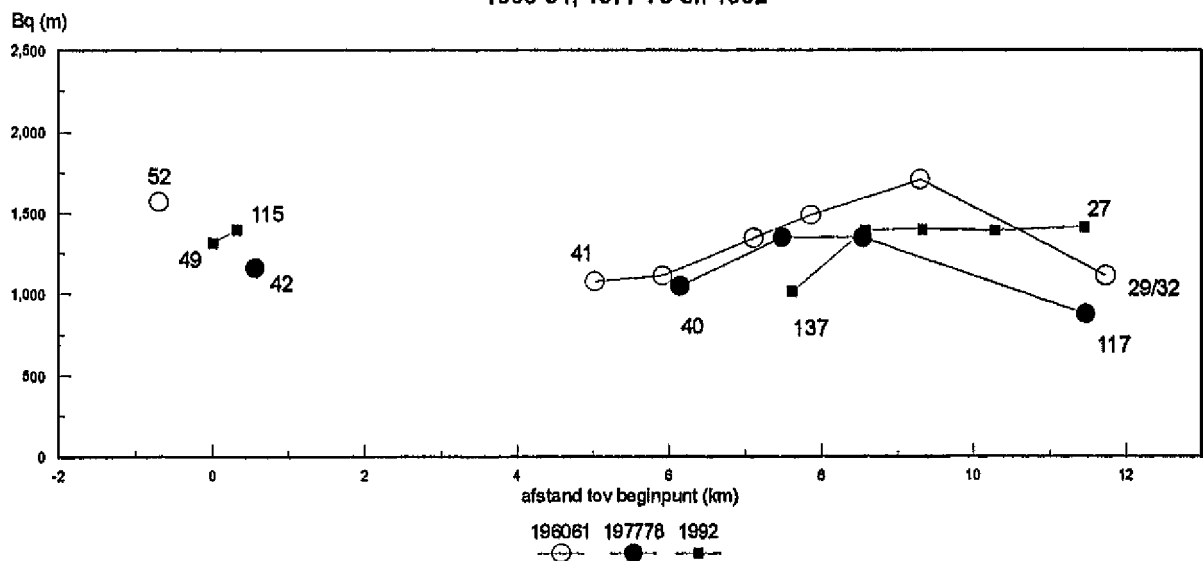
Verloop stroomvoerende. breedte (Bq) in de Schaar van Ossenisse
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop str. voer. breedte (Bq) in de Overl. van Hansweert en Zuidergat
1960-61, 1977-78 en 1992

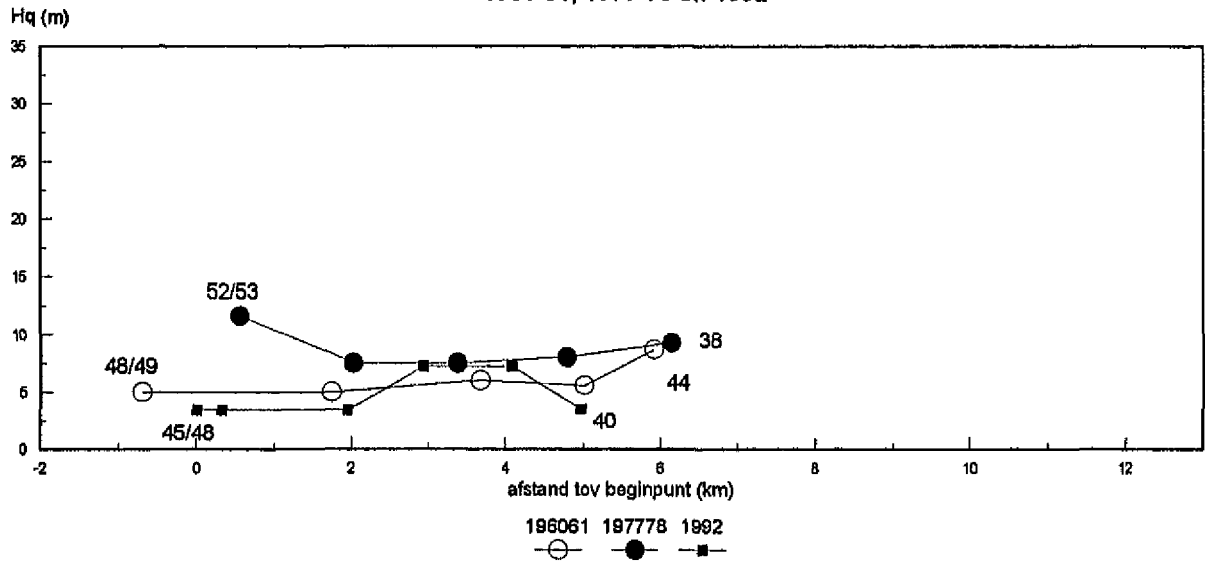


Verloop str. voer. breedte (Bq) in het Middelgat (l) en de Sch v Waarde (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

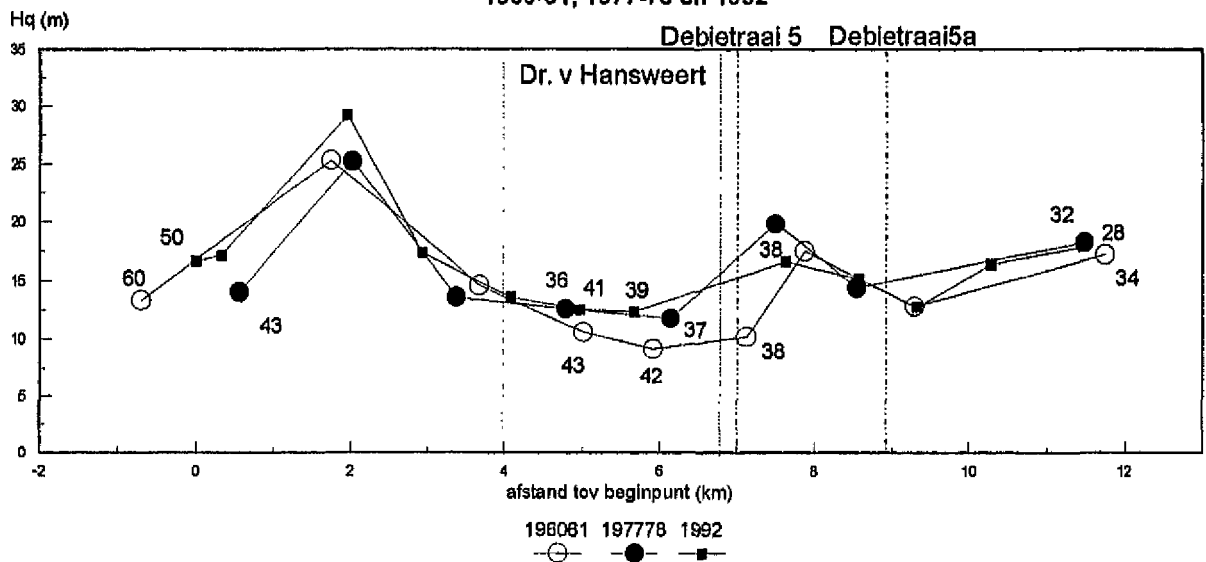


Bijlage E.10

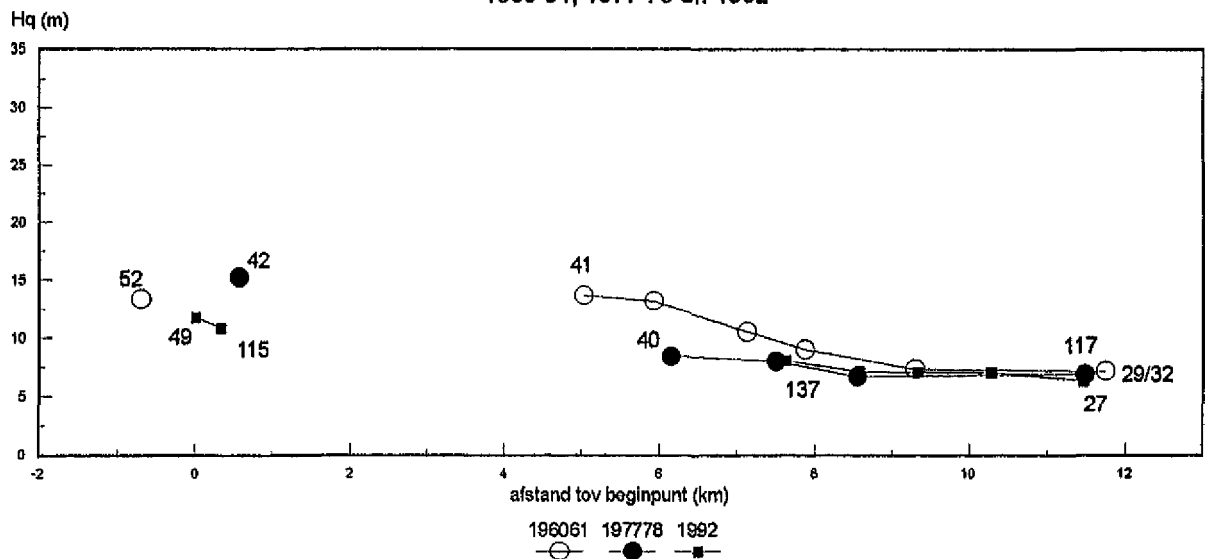
Verloop gem. stroomvoerende diepte (Hq) in de Schaar van Ossenisse
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop gem. str. voer. diepte (Hq) in de Overl. van Hansweert en Zuidergat
1960-61, 1977-78 en 1992

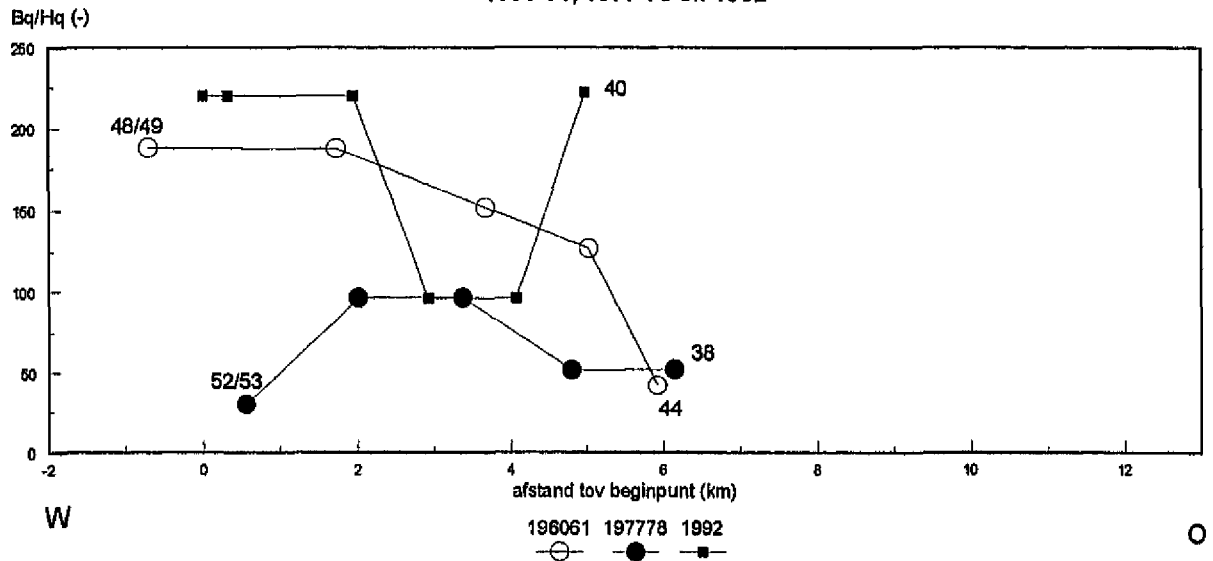


Verloop gem. str. voer. diepte (Hq) in het Middelgat (l) en de Sch v Waarde (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

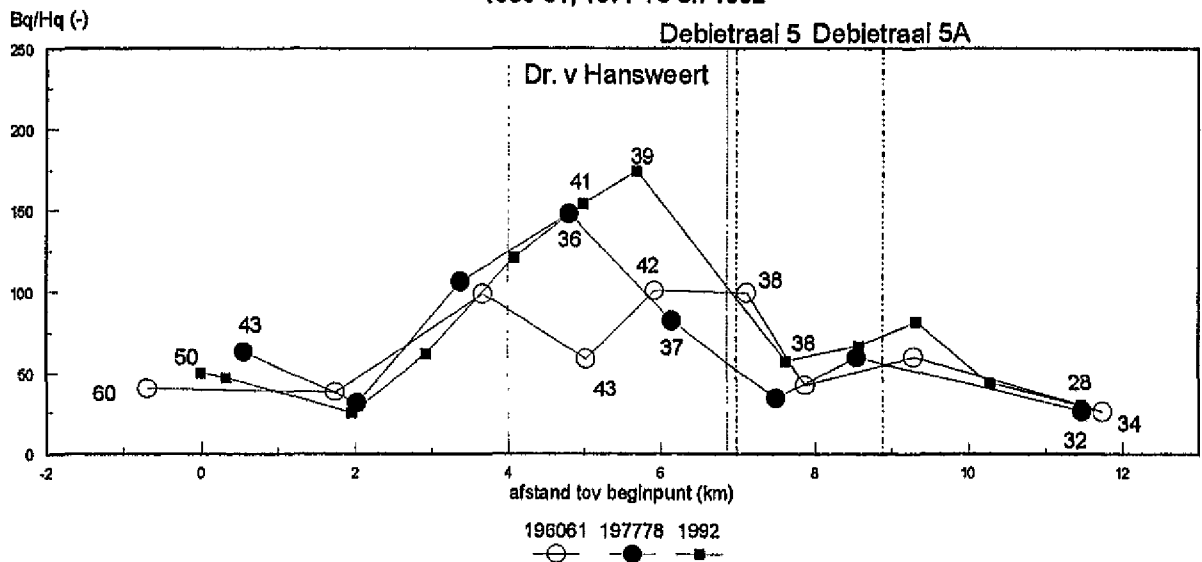


Bijlage E.11

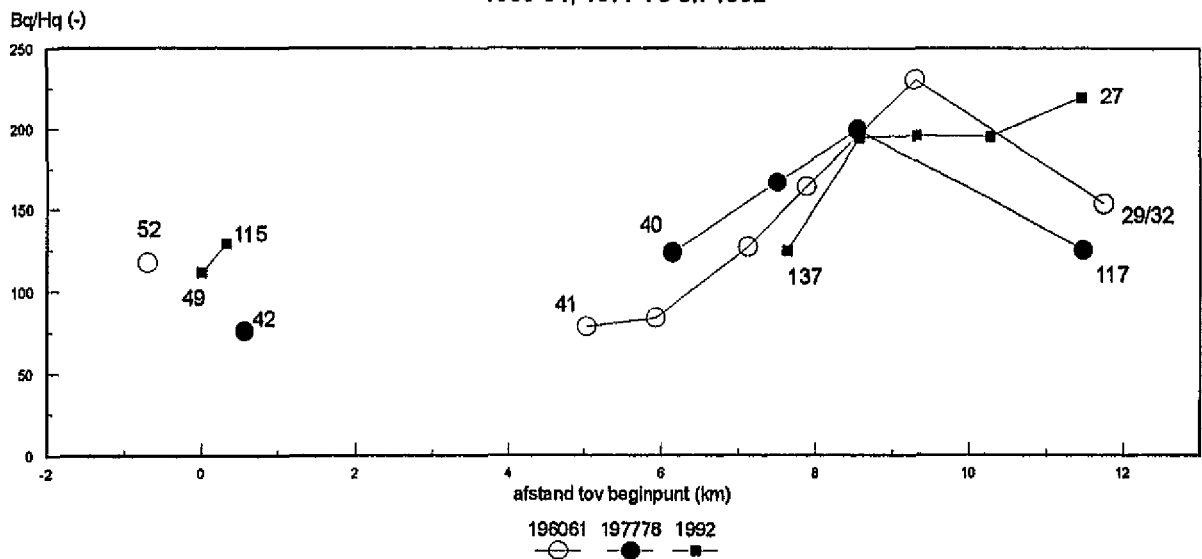
Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) in de Schaar van Ossensisse
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) Overl. v Hansweert & Zuidergat
1960-61, 1977-78 en 1992

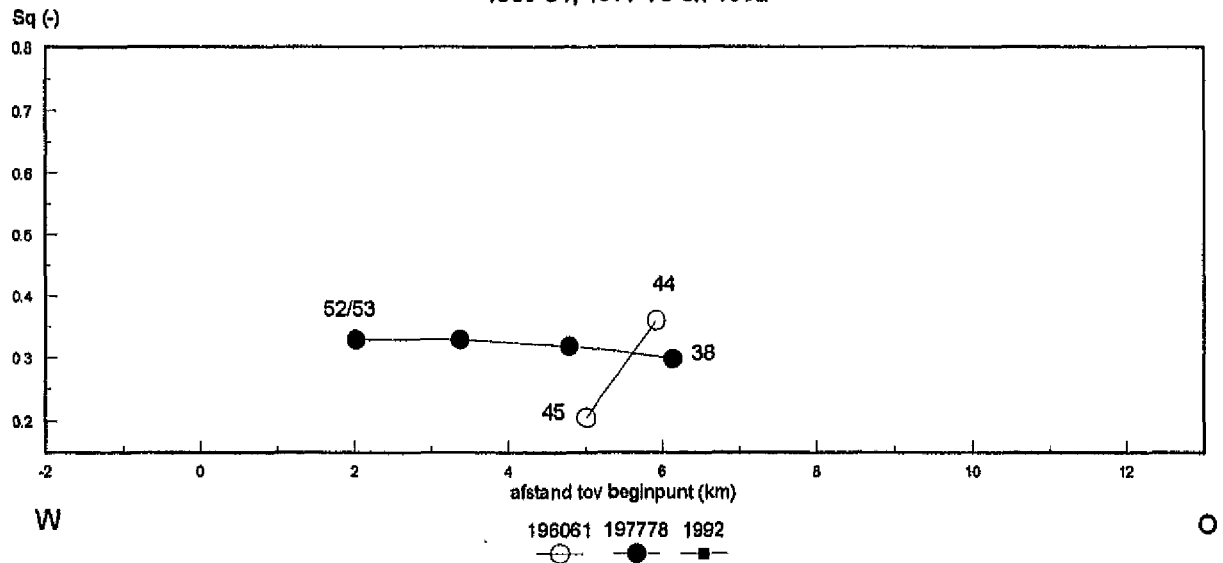


Verloop str. voer. breedte/diepte-ratio (Bq/Hq) in Middelgat (l) en Sch v W (r)
1960-61, 1977-78 en 1992

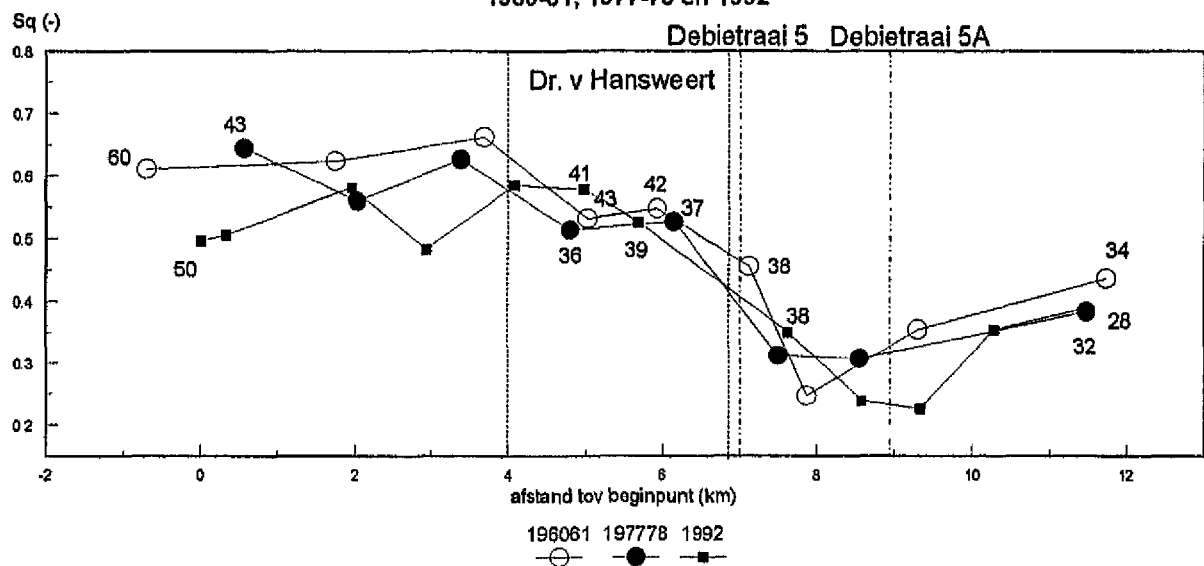


Bijlage E.12

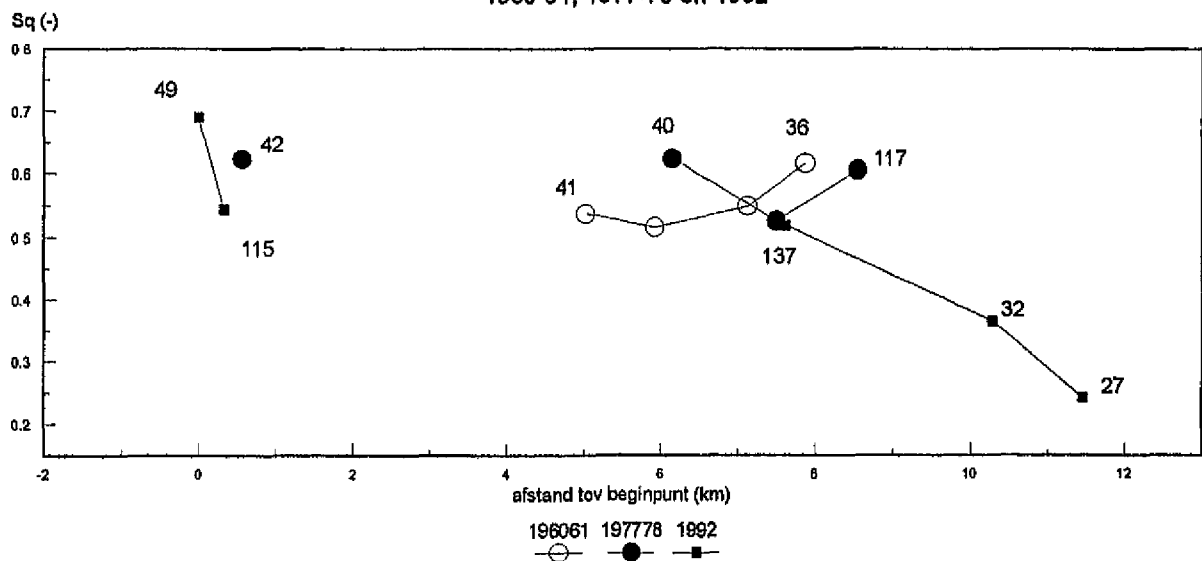
Verloop scheefheid str. voer. deel geul (Sq) in de Schaar van Ossenisse
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop scheefheid str. voer. deel geul (Sq) in Overl. v Hansweert en Zuidgat
1960-61, 1977-78 en 1992



Verloop scheefh. str. voer. deel geul (Sq) in Middelgat (l) en Sch v Waarde (r)
1960-81, 1977-78 en 1992



Bijlage F

Lokaties van de debietraaien in het oosten van de Westerschelde

Bijlage G

Verloop van karakteristieken van de getijvolumina in 5 debietraaien in het oosten van de Westerschelde in de periode 1960 - 1990

- G.1 Debietraai 1: Verloop van het getijvolume, doorstroomoppervlak, getijvolumeverdelings-getal, dominantie en evenwicht tussen 1971 en 1991
- G.2 Debietraai 2: Verloop van het getijvolume, doorstroomoppervlak, getijvolumeverdelings-getal, dominantie en evenwicht tussen 1972 en 1994
- G.3 Debietraai 3: Verloop van het getijvolume, doorstroomoppervlak, getijvolumeverdelings-getal, dominantie en evenwicht tussen 1963 en 1990
- G.4 Debietraai 5: Verloop van het getijvolume, doorstroomoppervlak, getijvolumeverdelings-getal, dominantie en evenwicht tussen 1957 en 1990
- G.5 Debietraai 6: Verloop van het getijvolume, doorstroomoppervlak, getijvolumeverdelings-getal, dominantie en evenwicht tussen 1957 en 1994
- G.6 De waarden van de getijvolumina en getijparameters van de debietraaien 1, 2, 3, 5 en 6

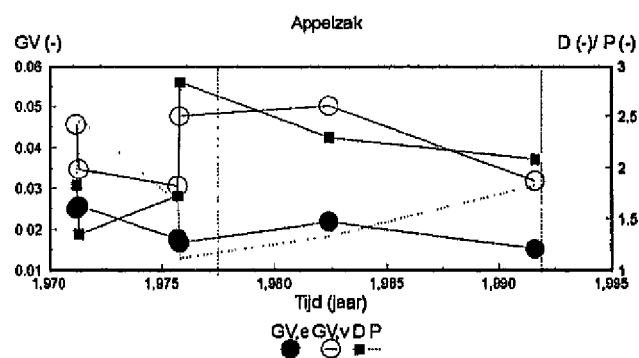
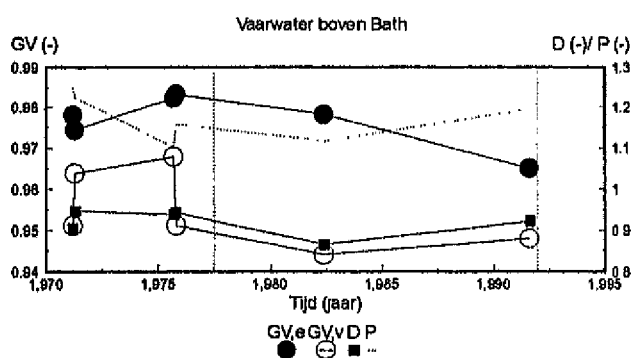
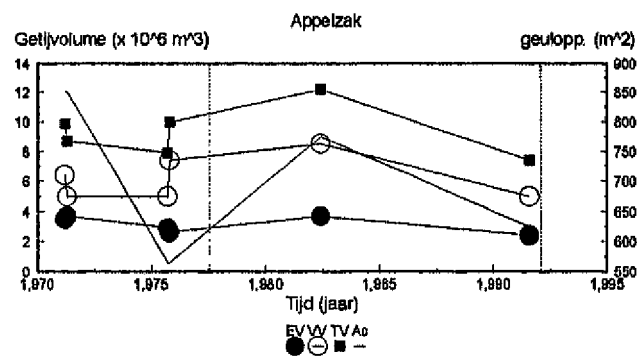
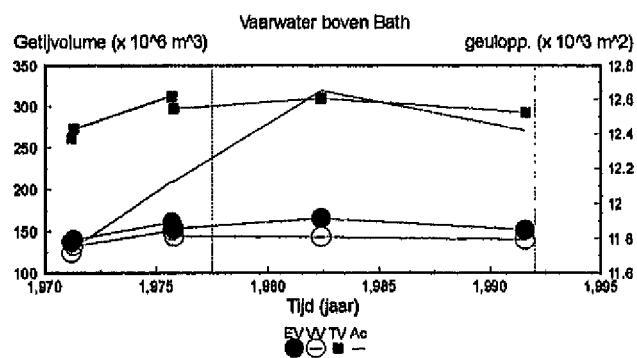
Verklaring afkortingen getijparameters:

EV	= ebvolume (m^3)
VV	= vloedvolume (m^3)
TV	= totaal volume (m^3)
Ac	= oppervlak geul onder NAP (m^2)
GV _e	= getijvolumeverdelings-getal van de ebvolumina (-)
GV _v	= getijvolumeverdelings-getal van de vloedvolumina (-)
D	= dominantie (-)
P	= evenwichtsparameter (-)

Bijlage G.1

Westerschelde, Debietraai 1

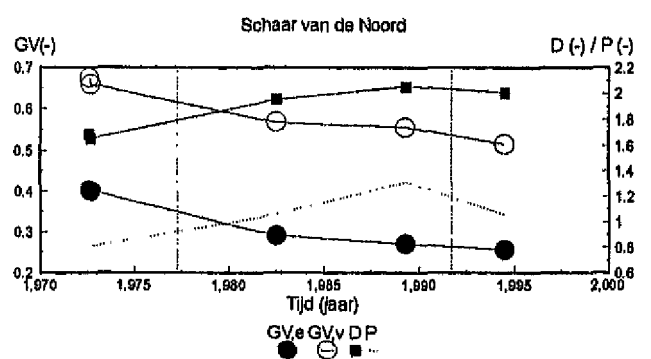
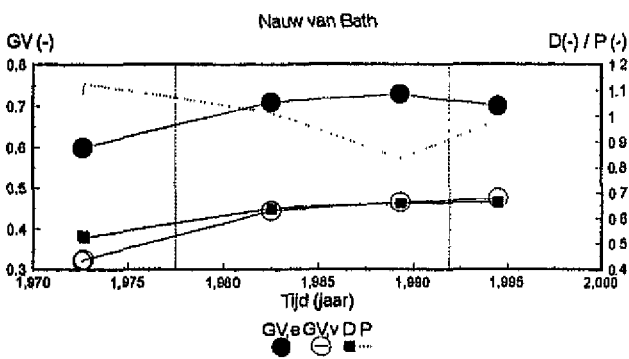
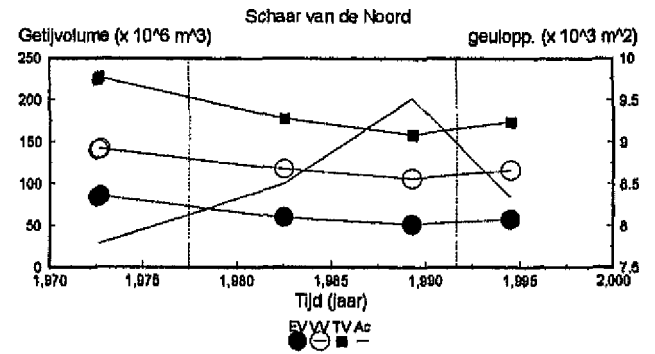
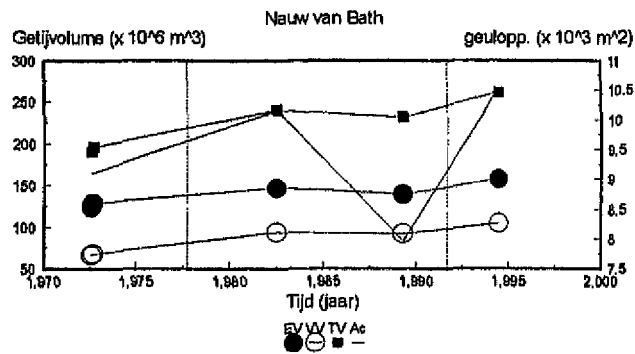
Verloop getijvolumina, geuloppervlak, getijvolume-verdelingsgetallen, dominantie en evenwichtsparameter
1971- 1991



Bijlage G.2

Westerschelde, Debietraal 2

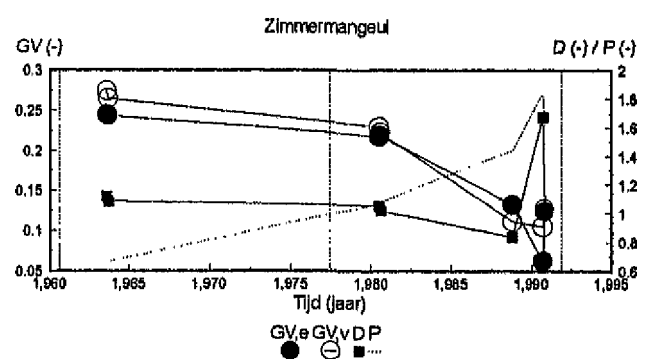
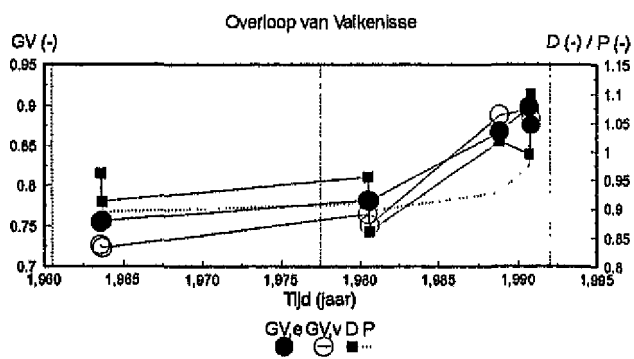
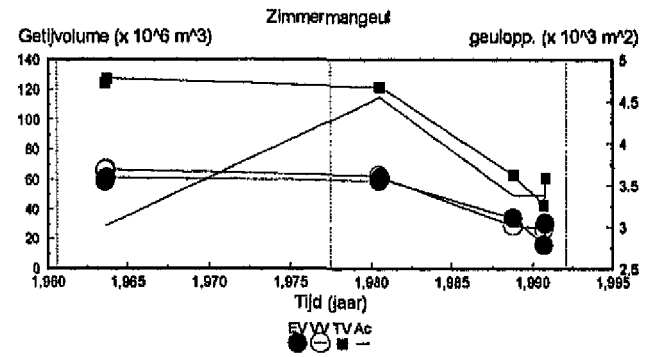
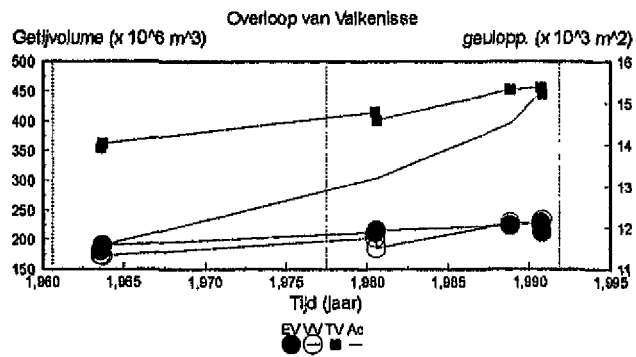
Verloop getijvolumina, geuloppervlak, getijvolume-verdelingsgetallen, dominantie en evenwichtsparameter
1972 - 1994



Bijlage G.3

Westerschelde, Debietraai 3

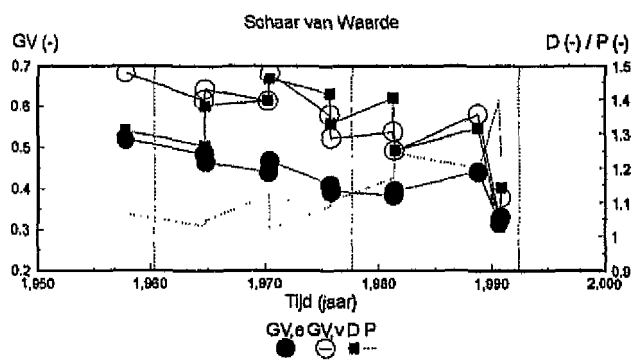
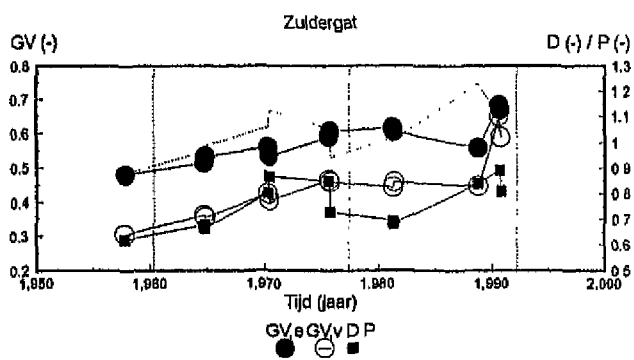
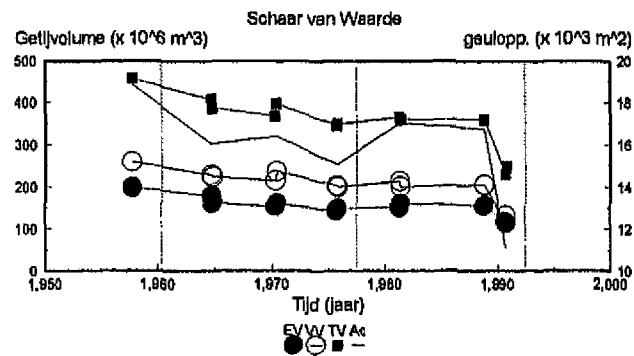
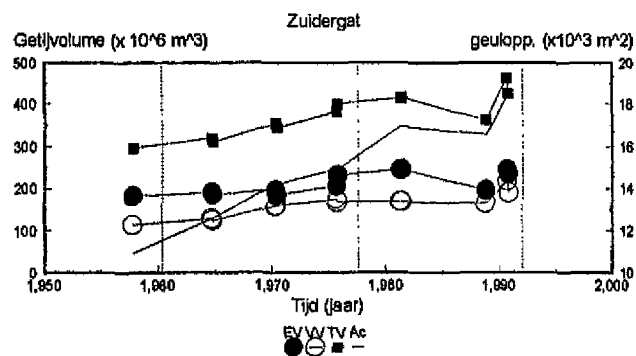
Verloop getijvolumina, geuloppervlak, getijvolume-verdelingsgetallen, dominantie en evenwichtsparameter 1963- 1990



Bijlage G.4

Westerschelde, Debletraal 5

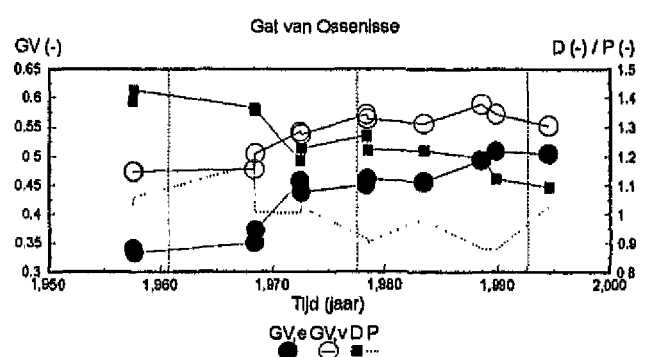
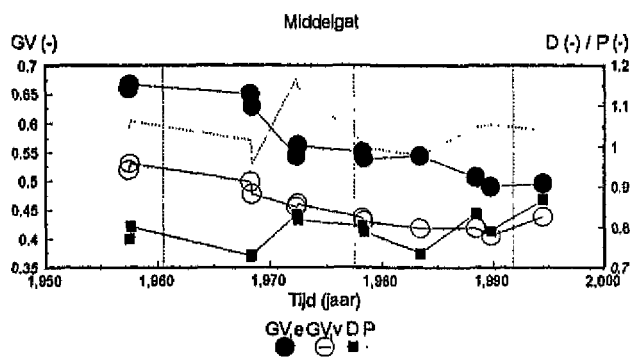
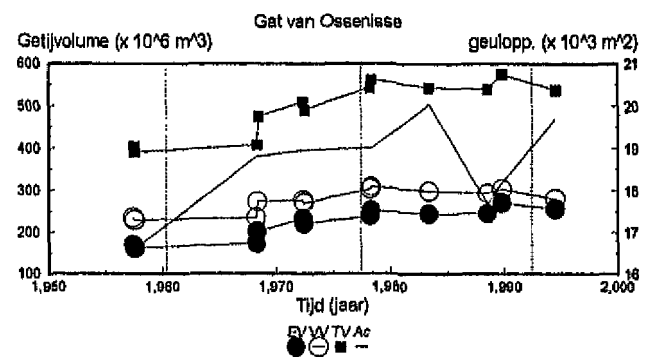
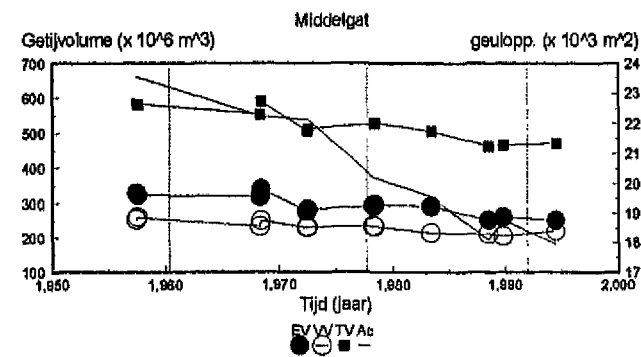
Verloop getijvolumina, geuloppervlak, getijvolume-verdelingsgetallen, dominantie en evenwichtsparameter 1957- 1990



Bijlage G.5

Westerschelde, Debietraal 6

Verloop getijvolumina, geuloppervlak, getijvolume-verdelingsgetallen, dominantie en evenwichtsparemeter 1957- 1994



Debietgegevens herleid naar gemiddeld getij
 Getijvolumina in 10⁶ Mm³
 Oppervlakken geulprofielen (Ac) in m²

Debietraai 1

	VwbS EV	VV	TV	Ac	Az EV	VV	TV	Ac	Tot EV	VV	TV	Ac	VwbS GV,e	GV,v	D	P	Az GV,e	GV,v	D	P
1971.2	137.6	124.5	262.1	11750	3.5	6.4	9.9	850	140.7	130.9	271.6	12600	0.977967	0.951108	0.904797	1.249462	0.024876	0.045487	1.828571	1.943313
1971.3	140.5	132.9	273.4	11750	3.7	5	8.7	850	144.2	137.9	282.1	12600	0.974341	0.963742	0.945907	1.223673	0.025659	0.034674	1.351351	2.48744
1975.7	161.1	151	312.1	12125	2.9	5	7.9	565	164	156	320	12690	0.982317	0.967949	0.937306	1.10126	0.017683	0.030488	1.724138	1.653416
1975.8	153.1	144.2	297.3	12125	2.6	7.4	10	565	155.7	151.6	307.3	12690	0.983301	0.951187	0.941868	1.158805	0.016689	0.047527	2.846154	1.117173
1982.4	165.8	143.5	309.3	12650	3.7	8.5	12.2	775	169.5	152	321.5	13425	0.978171	0.944079	0.865501	1.116374	0.021829	0.050147	2.297297	1.334094
1991.6	152.1	140.2	292.3	12420	2.4	5	7.4	624	157.6	147.9	305.5	10044	0.965102	0.947938	0.921762	1.194802	0.015228	0.031726	2.083333	1.626074

Debietraai 2

	NvB EV	VV	TV	Ac	SwN EV	VV	TV	Ac	Tot EV	VV	TV	Ac	NvB GV,e	GV,v	D	P	SwN GV,e	GV,v	D	P
1972.6	124.4	66.5	190.9	9110	83.5	140.4	223.9	7785	207.9	206.9	414.8	16985	0.598365	0.321411	0.534566	1.071523	0.401635	0.675325	1.681437	0.811326
1972.7	128.6	67.9	196.5	9110	85.7	141.4	227.1	7785	214.3	209.3	423.6	16895	0.600093	0.324415	0.527964	1.036528	0.399907	0.659823	1.649942	0.805588
1982.5	146.5	93.7	240.2	10150	60.1	117.4	177.5	8500	206.6	211.1	417.7	18650	0.7091	0.443865	0.63959	1.013753	0.2909	0.568248	1.953411	1.059387
1989.3	139.4	92.1	231.5	7973	51.8	106.3	158.1	9515	191.2	198.4	389.6	17488	0.729079	0.464214	0.660689	0.836879	0.270921	0.555962	2.052124	1.309722
1994.5	157.2	104.3	261.5	10535	57.7	115.8	173.5	8335	224.9	220.1	445	18870	0.698977	0.473876	0.663486	0.980586	0.256558	0.514896	2.006932	1.053175

Debietraai 3

	OvV EV	VV	TV	Ac	Zimg EV	VV	TV	Ac	Tot EV	VV	TV	Ac	OvV GV,e	GV,v	D	P	Zim GV,e	GV,v	D	P
1963.6	180.8	173.8	354.6	11570	58.7	65.6	124.3	3020	239.5	239.4	478.9	14590	0.754906	0.725982	0.961283	0.936351	0.245094	0.273804	1.117547	0.673607
1963.7	189.4	172.9	362.3	11570	61.1	66.3	127.4	3020	250.5	239.2	489.7	14590	0.756088	0.722826	0.912883	0.893834	0.243912	0.264671	1.085105	0.666495
1980.5	212.4	202.9	415.3	13200	59.2	62.4	121.6	4550	271.6	265.3	536.9	17750	0.782032	0.764795	0.955273	0.909333	0.217968	0.22975	1.054054	1.066917
1980.6	215.6	185.7	401.3	13200	60.3	61.5	121.8	4550	275.9	247.2	523.1	17750	0.781443	0.751214	0.861317	0.895837	0.218557	0.222907	1.0199	1.08253
1988.8	224.5	228.6	453.1	14503	34.3	28.8	63.1	3382	258.8	257.4	516.2	17885	0.867465	0.888112	1.018263	0.928294	0.132535	0.111283	0.83965	1.442724
1990.7	229	227.8	456.8	15260	16	26.8	42.8	3376	255	254.6	509.6	18636	0.898039	0.894737	0.99476	0.975041	0.062745	0.105098	1.675	1.843195
1990.8	212.2	233.3	445.5	15260	30.1	30.8	60.9	3376	242.3	264.1	506.4	18636	0.875774	0.883378	1.099434	1.052235	0.124226	0.127115	1.023256	1.603819

Debietraai 5

	Zg EV	VV	TV	Ac	SW EV	VV	TV	Ac	Tot EV	VV	TV	Ac	Zg GV,e	GV,v	D	P	SW GV,e	GV,v	D	P
1957.8	182.4	113.2	295.6	10934	198	259.1	457.1	18867	380.4	372.3	752.7	29801	0.479495	0.304056	0.620614	0.877118	0.520505	0.681125	1.308586	1.065465
1964.7	190.4	129.1	319.5	12585	179.4	227.2	406.6	16025	369.8	356.3	726.1	28610	0.514873	0.362335	0.678046	0.967141	0.485127	0.614386	1.268444	1.032033
1964.8	186.3	124.1	310.4	12585	161.9	223.7	385.6	16025	348.2	347.8	696	28610	0.535037	0.356814	0.66613	0.988426	0.464963	0.642447	1.381717	1.04818
1970.3	196.2	157.4	353.6	14190	153.2	213.9	367.1	16375	349.4	371.3	720.7	30565	0.561534	0.423916	0.802243	1.058247	0.438466	0.612192	1.396214	1.120145
1970.4	184.6	160.1	344.7	14190	160.8	235	395.8	16375	345.4	395.1	740.5	30565	0.534453	0.405214	0.867281	1.124746	0.465547	0.680371	1.461443	1.01957
1975.7	207.1	175.7	382.8	14900	142.9	202.5	345.4	15075	350	378.2	728.2	29975	0.591714	0.464569	0.848382	1.052713	0.408286	0.578571	1.417075	1.089271
1975.8	231.4	168.9	400.3	14900	150.1	199.6	349.7	15075	381.5	368.5	750	29975	0.606553	0.458345	0.729905	0.942164	0.393447	0.523198	1.32978	1.105097
1981.3	243.7	169.5	413.2	16950	151.5	212.7	364.2	17000	395.2	382.2	777.4	33950	0.61665	0.443485	0.695527	1.017696	0.38335	0.538209	1.40396	1.169459
1981.4	248.5	168.8	415.3	16950	159.5	199.7	359.2	17000	406	368.5	774.5	33950	0.607143	0.458073	0.684787	1.006135	0.392857	0.491872	1.252038	1.245588
1988.8	197.2	165.7	362.9	16566	155.2	204.3	359.5	16736	352.4	370	722.4	33302	0.559591	0.447838	0.840264	1.229177	0.440409	0.579739	1.316366	1.198635
1990.7	244.4	217.8	462.2	18321	113.5	116.8	230.3	11155	357.9	334.6	692.5	29386	0.682872	0.650926	0.891162	1.096861	0.317128	0.326348	1.029075	1.397431
1990.8	234.1	190	424.1	18321	115.7	132.4	248.1	11155	349.8	322.4	672.2	29386	0.66924	0.58933	0.811619	1.145121	0.33076	0.378502	1.144339	1.232779

Debietraai 6

	Middelgat EV	VV	TV	Ac	GvO EV	VV	TV	Ac	Tot EV	VV	TV	Ac	Mg GV,e	GV,v	D	P	GvO GV,e	GV,v	D	P
1957.5	328.6	253.9	582.5	23529	169.3	235	404.3	16600	497.9	488.9	986.8	40129	0.659972	0.519329	0.772672	1.047706	0.340028	0.471982	1.388069	1.03358
1957.6	323.7	260	583.7	23529	161.2	229.7	390.9	16600	484.9	489.7	974.6	40129	0.667756	0.530937	0.803213	1.063566	0.33244	0.473706	1.424938	1.057428
1968.3	320.5	253.4	553.9	22250	172.5	235	407.5	18800	493	468.4	961.4	41050	0.650101	0.498292	0.726237	1.015794	0.349899	0.476673	1.362319	1.17056
1968.4	340.5	249.2	589.7	22250	201.5	273.3	474.8	18800	542	522.5	1064.5	41050	0.628229	0.478938	0.731865	0.956129	0.371771	0.504244	1.356328	1.06519
1972.4	277	230.4	507.4	22100	232.6	275.9	508.5	18950	509.6	506.3	1015.9	41050	0.543564	0.455066	0.831769	1.167391	0.456436	0.541405	1.186156	1.004989
1972.5	282.2	231.2	513.4	22100	220	270.1	490.1	18950	502.2	501.3	1003.5	41050	0.561928	0.461201	0.819277	1.14588	0.438072	0.537834	1.227727	1.026569
1978.3	292.6	235	527.6	20200	239.1	303.6	542.7	19000	531.7	538.6	1070.3	39200	0.55031	0.436316	0.803144	1.010138	0.44969	0.570999	1.268762	0.915705
1978.4	296.1	233.8	529.9	20200	252.6	308.6	561.2	19000	548.7	542.4	1091.1	39200	0.539639	0.431047	0.789598	0.988198	0.460361	0.56242	1.221694	0.900868
1983.4	292.3	215.1	507.4	19570	244.4	298.3	542.7	20050	536.7	513.4	1050.1	39620	0.544625	0.418972	0.735888	0.979638	0.455375	0.555904	1.22054	0.983478
1988.5	252.6	211.1	463.7	18110	245.6	293.3	538.9	17670	498.2	504.4	1002.6	35780	0.507025	0.418517	0.835709	1.049032	0.492975	0.588719	1.194218	0.881512
1989.8	260.7	206.4	467.1	18790	270.5	303.5	574	18183	531.2	509.9	1041.1	36973	0.490776	0.404785	0.791715	1.054604	0.509224	0.571348	1.121996	0.876618

Bijlage H

Uitvoerige beschrijving en synthese van de ontwikkeling tussen 1960/61 en 1992 de van de geul- en getijparameters rondom en op de Drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert in het oosten van de Westerschelde

H.1 Drempel van Bath

H.2 Drempel van Valkenisse

H.3 Drempel van Hansweert

Bijlage H.1

Drempel van Bath

Geulparameters

De lokatie van de dwarsprofielen is te vinden in bijlagen D.2 t/m D.4

Ontwikkeling tussen 1960/61 en 1992 van de geulparameters is te vinden in bijlage E.1 t/m E.6.

Het doorstroomvermogen (Qq) van de geulen in het gehele dwarsprofiel neemt in de periode 1960-61 tot 1992 toe met circa $20 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$; de toename was vooral sterk tussen 1960-61 en 1977-78 (Bijlage E.1.a en E.1.b). Deze toename is vooral het gevolg van de vergroting van het doorstroomvermogen met ongeveer 20 à $30 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ van de hoofdgeul die hier bestaat uit het Vaarwater boven Bath en de Drempel van Bath zich bevindt. Het doorstroomvermogen van het Nauw van Bath neemt in het oostelijk deel met circa $10 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ toe in de periode 1960-61 tot 1992. De Schaar van de Noord neemt vooral in het westelijk deel met circa $15 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ toe in dezelfde periode. De Appelzak neemt in het noordelijk deel sterk af, vooral tussen 1960-61 en 1977-78.

Het stroomvoerend oppervlak (ACq) laat op geringe verschillen na dezelfde ontwikkeling zien als de ontwikkeling van het doorstroomvermogen (Bijlage E.2.a en E.2.b). Stroomvoerend vermogen en stroomvoerend oppervlak zijn dan ook nauw aan elkaar gerelateerd, zoals al eerder is opgemerkt. Het stroomvoerend oppervlak van de drempel van Bath neemt op sommige plaatsen netto ongeveer 5000 m^2 in grootte toe.

De totale stroomvoerende breedte (Bq) in de geulen rondom de drempel neemt in de periode 1960-61 tot 1992 met ongeveer 200 m af (bijlage E.3.a en E.3.b). Het stroomafwaartse deel van de het Vaarwater boven Bath, dus daar waar de drempel zich bevindt wordt circa 150 m smaller in de periode 1960-61 tot 1977-78 maar neemt vervolgens tussen 1977-78 en 1992 weer met circa 200 m toe. Het oostelijk deel van het Nauw van Bath neemt in de gehele beschouwde periode netto 100 m af in stroomvoerende breedte. De Schaar van de Noord neemt aanvankelijk toe tussen 1960-61 en 1977-78 met 150 m. In de daaropvolgende periode 1977-78 tot 1992 neemt de geul, vooral in het oosten, in breedte af met circa 200 m. De Appelzak wordt in het noorden netto ongeveer 100 m minder breed; in het zuidelijke deel neemt de breedte juist netto circa 200 m toe.

De stroomvoerende gemiddelde diepte (Hq) van de drempel in het Vaarwater boven Bath neemt tussen 1960-61 en 1977-78 met ongeveer 3 m toe (Bijlage E.4). In de periode erna, 1977-78 tot 1992, wordt de drempel weer 1 à 2 m ondieper. Het zuidelijk deel van het Vaarwater boven Bath evenals het Nauw van Bath wordt in de totale periode 3 à 4 m dieper. De Schaar van de Noord wordt netto over de hele linie 2 à 3 m dieper tussen 1960-61 en 1992. De diepte van de Appelzak neemt in het noorden af met in totaal ongeveer 5 m; in het zuiden is er sprake van een geringe toename van de diepte van in totaal ongeveer 2 m.

De veranderingen in de stroomvoerende breedte en de stroomvoerende gemiddelde diepte uiten zich in veranderingen van de ratio stroomvoerende breedte/stroomvoerende diepte. De breedte/diepte-ratio van de drempel neemt in de periode 1960-61 tot 1992 toe met circa 25; aanvankelijk was er tussen 1960-61 en 1977-78 sprake van een afname van 25, maar vervolgens nam de ratio tussen 1977-78 en 1992 weer met 50 toe (bijlage E.5). Het drempelprofiel is dus relatief breed en ondiep geworden. Het zuidelijk deel van het Vaarwater boven Bath en het Nauw van Bath verkrijgen netto een kleinere breedte/diepte-ratio: het geulprofiel wordt dus 'puntiger'. De breedte/diepte-ratio Schaar van de Noord neemt vooral in het oosten gedurende de gehele periode fors af met ongeveer 125. De oorzaak hiervan is een afname van de breedte en vooral een toename van de diepte. De ratio van het noordelijk deel van de Appelzak neemt iets toe (vooral door verondieping); in het zuidelijk deel neemt ze iets af. Kenmerkend is dat de ratio breedte/diepte van de Schaar van de Noord en de Appelzak, beide vloedscharen, zeer hoog is in vergelijking met de doorgaande (ebgedomineerde) hoofdgeul: de vloedscharen zijn dus relatief breed en ondiep.

De scheefheid van het stroomvoerende deel van de geul (Sq) neemt in het Nauw van Bath tussen 1960-61 en 1992 af en in het Vaarwater boven Bath toe (bijlage E.6). Dit houdt voor beide geulen in dat ze symmetrischer worden. De verandering in scheefheid is het grootst van 1977-78 tot 1992. De Schaar van de Noord wordt over het algemeen minder asymmetrisch. De hoofdgeul is het over het algemeen asymmetrischer dan de nevengeulen.

Getijparameters

Ontwikkeling van de getijparameters tussen circa 1972 en 1992.

De lokaties van de debietraaien zijn te vinden in bijlage F.

De ontwikkeling van de getijparameters in raai 1 en 2 is te vinden in bijlage G.1 en G.2.

Debietraai 1 (bijlage G.1)

Het eb- en het vloedvolumina in het Vaarwater boven Bath nemen beide ongeveer 10 % toe tussen 1971 en 1991 en dus ook de totale getijvolumina; de toename is het sterkst in het begin van de jaren '70. Tussen 1982 en 1991 is er een geringe afname waarneembaar. De ebvolumina zijn ongeveer $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ groter dan de vloedvolumina. Het doorstroomoppervlak laat een soortgelijk ontwikkeling zien: een toename tot 1982, gevolgd door een geringe afname.

Het getijvolumeverdelings-getal van zowel de eb- als de vloedvolumina is in het Vaarwater boven Bath hoog: meer dan 95 % van het totale debiet in de dwarssectie gaat door deze geul. Wel is er na een aanvankelijke toename van beide getijvolumeverdelings-getallen in het begin van de jaren '70 een afname te zien van enkele procenten tot 1991. De dominantie fluctueert in de gehele periode van 1971 tot 1991 rond de 90%; de geul is licht ebgedomineerd. Tot 1982 is er een licht dalende en na 1982 een licht stijgende trend in de dominantie te zien. De evenwichtsparameter (P) ligt tussen de 1.1 en 1.2. Dit geeft aan dat de geul 'te ruim' is voor het dominerende (eb-)volume. Het verloop van deze parameter vertoont eenzelfde tendens als de dominantie: licht afnemend tot 1982 en vervolgens weer licht toenemend.

De getijvolumes in de Appelzak zijn, in verhouding tot die in het Vaarwater boven Bath, zeer gering -circa $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ - en vertonen tussen 1971 en 1982 een lichte afname gevolgd door een geringe toename van 1983 tot 1991. Het oppervlak van het dwarsprofiel laat een soortgelijke verloop zien. Het neemt netto af tussen 1971 en 1991. De getijvolumeverdelings-getallen van de Appelzak zijn zeer laag -circa 3 % van het totale getijvolume in raai 1- en ze vertonen een afname. De dominantie is gemiddeld 2. Dit geeft aan dat deze geul sterk vloedgedomineerd is. De geul is gedurende de gehele periode 1971 - 1991 te ruim (P tussen 1.05 en 2.5).

Debietraai 2 (bijlage G.2)

De eb- en vloedvolumina in het Nauw van Bath worden in de periode 1972 tot 1994 per saldo respectievelijk 25 en 34 % groter; waarbij er tussen 1982 en 1989 een geringe afname te zien is. De ontwikkeling van de getijvolumina, dus inclusief de geringe afname tussen 1982 en 1989, komt overeen met die van het oppervlak van de geul. De geul wordt per saldo 1500 m^2 groter.

Het getijvolumeverdelings-getal van de eb is circa 0.65. Dit impliceert dat het merendeel van de ebvolumina in debietraai 2 door het Nauw van Bath gaat. Het getijvolumeverdelings-getal van de vloed is circa 0.4. Beide getijvolumeverdelings-getallen nemen netto toe tussen 1972 en 1994 hetgeen dus impliceert dat het Nauw van Bath ten opzicht van de Schaar van de Noord in de loop van de tijd zowel meer eb- als vloedvolume is gaan

voeren. De dominantie is circa 0.65 -het Nauw van Bath is dus vrij sterk ebgedomineerd- en dit neemt in de gehele periode toe.

In de Schaar van de Noord nemen zowel de eb- als de vloedvolumina respectievelijk met 30 en 20 % af. Deze afname is het sterkst in de jaren '70. Het doorstroomoppervlak neemt echter tussen 1972 en 1994 netto toe met circa 800 m².

De getijvolumeverdelings-getallen van de eb en de vloed nemen in de loop van de tijd af: voor de ebvolumina van 0.40 naar 0.25 en voor de vloedvolumina van 0.68 naar 0.51. De dominantie is ongeveer 2 -de Schaar van de Noord is sterk vloedgedomineerd- en laat tussen 1972 en 1994 een stijgende trend zien, waarbij de stijging vooral in het begin van de jaren '70 is opgetreden. De evenwichtsparameter P neemt in de periode 1972 tot 1994 netto toe en ligt vanaf 1975 boven de 1. Dit geeft aan dat de geul te ruim is voor het dominerende vloedvolume.

Synthese ontwikkeling geulparameters en debieten

De geringe vergroting van de totale getijvolumina in de raaien 1 en 2 na 1977 komt overeen met de eveneens geringe toename na 1977-78 van het totale doorstroomvermogen en de stroomvoerend oppervlak van de geulen rondom de drempel van Bath. In de periode 1971-72 tot 1977 nemen de totale getijvolumes in de raaien vrij aanzienlijk toe. Dit komt hoogst waarschijnlijk overeen met de relatief grote toename van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak van de geulen in de periode 1960-61 tot 1977-78.

De toename van de getijvolumes in de periode 1977 tot 1992 heeft zich met name voorgedaan in de doorgaande hoofdgeul, die bestaat uit het Vaarwater boven Bath en het Nauw van Bath. Dit loopt parallel met de toename tussen 1977-78 en 1992 van het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak in met name het Vaarwater boven Bath en in geringere mate ook in het Nauw van Bath. Tussen 1971-72 en 1977 is de getijvolumevergroting groter geweest dan in de periode erna. Deze ontwikkeling kan zeer waarschijnlijk gekoppeld worden aan de toename van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak van het Vaarwater en het Nauw van Bath tussen 1960-61 en 1977.

In de periode 1977-78 tot 1992 is de stroomvoerende breedte van de hoofdgeul (inclusief de drempel) toegenomen en de gemiddelde stroomvoerende diepte is in geringe mate afgenomen (behalve in het zuidelijk deel van het Vaarwater boven Bath) met als gevolg een toegenomen breedte/diepte-ratio. De geringe toename in de getijvolumina in de doorgaande hoofdgeul had dus een relatieve verbreding en verondieping van het dwarsprofiel tot gevolg. In de daaraan voorafgaande periode, waarin in ieder geval tussen 1971-72 en 1977, de getijvolumina in de hoofdgeul vrij sterk toenamen nam de breedte/diepte-ratio juist af hetgeen een smallere maar diepere geul impliceert.

Het lijkt erop dat de relatief sterke toename van de getijvolumina voor 1977 in de hoofdgeul een relatief diepe en smalle geulprofiel tot gevolg had; toen vervolgens de toename van de getijvolumina afnam nam de breedte toe en nam de diepte af. Dat ondanks deze aanpassing van het dwarsprofiel de hoofdgeul te ruim is voor het dominerende getijvolume duidt er waarschijnlijk op deze aanpassing van het geulprofiel nog niet voltooid is. Mogelijk wordt deze ontwikkeling volledig gestuurd door het baggeren.

In de periode 1977 tot 1994 nemen de getijvolumina in de Schaar van de Noord af. In diezelfde periode nemen het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak ook af. De breedte neemt af en de diepte neemt toe hetgeen op een afname van de breedte/diepte-ratio, dus een relatief smal en diep geulprofiel, duidt. In de periode tussen 1972 en 1977 namen de getijvolumina relatief sterk af. In de periode 1960-61 tot 1977-78 namen het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak evenals de stroomvoerende breedte en gemiddelde diepte

juist toe. Dat de ontwikkeling van de geulparameters in relatie met de ontwikkeling van de getijvolumina in deze periode niet overeenkomt met die in de periode 1977-78 tot 1992-94 ligt hoogst waarschijnlijk aan het feit dat de gegevens van de waterbeweging en de morfologie elkaar maar gedeeltelijk overlappen. Daarnaast wordt de Schaar van de Noord, zeker in verhouding tot de geulen van de doorgaande hoofdgeul, gekenmerkt door een sterk variabel karakter, zodat tijdstip van meting een grote rol speelt. De ontwikkeling van de Schaar van de Noord kan mogelijk geheel verklaard worden door de baggerwerkzaamheden.

De ontwikkeling van het getij in de Appelzak wordt in de periode 1977 tot 1991 gekenmerkt door afname van de toch al geringe volumina. In diezelfde periode neemt het doorstroomvermogen, het stroomvoerend oppervlak, de stroomvoerende breedte en gemiddelde diepte af. In de periode 1971 tot 1977 komen de toename van de getijvolumina overeen met de toename van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak van het zuidelijk deel -dat het dichtst bij debietraai 1 ligt- van de Appelzak tussen 1960-61 en 1977-78. De ontwikkeling van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak in het noordelijk deel van de Appelzak zijn juist tegenovergesteld aan de ontwikkeling van de getijvolumina. Mogelijk spelen de baggerwerkzaamheden in deze ontwikkeling een grote rol. Ook hier geldt, zij het in mindere mate als voor de Schaar van de Noord, dat de Appelzak een variabel karakter heeft en dat omdat beide perioden niet geheel overlappen de ontwikkelingen van getijvolumina en morfologie niet goed aan elkaar te koppelen zijn, zeker niet in verhouding tot die in de hoofdgeul.

Drempel van Valkenisse

Geulparameters

Ontwikkeling geulparameters tussen 1960 en 1992

De lokaties van de geulprofielen op en rondom de drempel van Valkenisse staan aangegeven in bijlage D.2 t/m D.4.

Het totale stroomvoerende vermogen (Qq) van het dwarsprofiel rondom de drempel neemt gedurende de gehele periode 1960-61 tot 1992 toe met circa $30 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ (bijlage E.1.a en E.1.b). Deze toename treed vooral op in de Overloop van Valkenisse en in mindere mate in het Nauw van Bath. Ze treed daarmee ook bij de drempel op, zij het dat in het bovenstroomse deel van de drempel een geringe afname te bespeuren is. De nevengeulen Zimmermangeul en de Schaar van de Noord nemen tussen 1960-61 en 1977-78 in doorstroomvermogen toe en in de daarop volgende periode 1977-78 tot 1992 weer af. De netto verandering van de Schaar van de Noord is circa $15 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ en van de Zimmermangeul verwaarloosbaar.

Het stroomvoerend oppervlak (ACq) van alle geulen rondom de Drempel van Valkenisse laat een aan het stroomvoerend vermogen identieke ontwikkeling zien in tijd en ruimte (bijlage E.2.a en E.2.b). De doorsnede ter plaatse van de drempel zelf neemt tussen 1960-61 en 1992 met ongeveer 5000 m^2 toe.

De som van de stroomvoerende breedten (Bq) van de geulen in de totale dwarssectie in de buurt van de drempel neemt over het algemeen tussen 1960-61 en 1977-78 toe met 200 m om vervolgens tussen 1977-78 en 1992 weer af te nemen met ongeveer 200 m. De toename van de totale breedte in de eerste periode komt voor rekening van de Zimmermangeul en de Schaar van de Noord (enkele 100-en m's); de breedte van de Overloop van Valkenisse en van het Nauw van Bath nemen dan met 100 m af. In de periode erna neemt de breedte van de Overloop van Valkenisse toe en de breedte van het Nauw van Bath neemt circa 50 m af. Per saldo neemt over de gehele periode de breedte met 250 m af. De Zimmermangeul en de Schaar van de Noord nemen in deze periode tussen 1978-78 en 1992 respectievelijk 300 m en 100 m in breedte af.

De stroomvoerende gemiddelde diepte (Hq) neemt in de eerste periode in de Overloop van Valkenisse en in het Nauw van Bath met circa 4 m toe. In de periode erna wordt het de Overloop van Valkenisse ongeveer 1 m ondieper, de diepte van het Nauw van Bath neemt nog enigszins -1 m- toe. De diepte van de Schaar van de Noord neemt evenals die van de Zimmermangeul tussen 1960-61 en 1992 netto toe. De Zimmermangeul met 3 m en de Schaar van de Noord met 2 à 3 m.

De ontwikkeling van de stroomvoerende breedte en de gemiddelde diepte zorgen voor een afname van de breedte/diepte-ratio van de Overloop en het Nauw van Bath tussen 1960-61 en 1977-78. Tussen 1977-78 en 1992 neemt de breedte/diepte-ratio in deze geulen weer enigszins toe, maar de ratio blijft in het drempelgebied onder de waarde van 1960-61 en in de Overloop van Valkenisse wordt deze gelijk aan de ratio in 1960-61. In de eerste periode wordt het geulprofiel van de hoofdgeul dus relatief smal en diep en in de periode erna wordt het geulprofiel weer relatief breder en ondieper. In de Zimmermangeul neemt de ratio per saldo tussen 1960/61 en 1992 af; in de Schaar van de Noord is er dan ook sprake van een afnemende tendens.

De scheefheid van het stroomvoerende deel van de geul (Sq) neemt tussen 1960-61 en 1977-78 in het Nauw van Bath af van 0.7 tot 0.6 en op het bovenstroomse deel van de drempel, hetgeen impliceert dat de geul symmetrischer wordt. In de Overloop van Valkenisse stijgt de waarde van de scheefheid van 0.35 tot 0.40 en dat houdt ook in dat de geul symmetrischer wordt. In de periode 1977-78 tot 1992 neemt in het Nauw van Bath en het bovenstroomse deel van de drempel symmetrie iets toe. Ook de Overloop van Valkenisse wordt daarentegen weer

asymmetrischer. De Schaar van de Noord wordt tussen 1960-61 en 1992 symmetrischer. Wat de Zimmermangeul doet is onduidelijk bij gebrek aan voldoende gegevens.

Getijparameters

Het verloop van de getijvolumina en de daarvan afgeleide parameters in debietraai 2 en 3 is grafisch weergegeven in bijlage G. De waarden zijn opgesomd in bijlage G.6.

Debietraai 2 (bijlage G.2)

Voor een beschrijving van de ontwikkeling van de getijparameters in de raai 2 in het westelijk deel van het Nauw van Bath en in de Schaar van de Noord (bijlage H.1) wordt verwezen naar de beschrijving bij de Drempel van Bath.

Debietraai 3 (bijlage G.3)

Deze debietraai ligt ongeveer 1 km stroomafwaarts van de Drempel van Valkenisse. De raai omvat de Overloop van Valkenisse en de Zimmermangeul (bijlage F). De scheiding tussen beide geulen wordt gevormd door de Platen van Valkenisse.

De eb- en de vloedvolumina in de Overloop van Valkenisse nemen tussen 1963 en 1990 toe met respectievelijk 20 en 30 %. Ook het dwarsoppervlak van deze geul neemt in deze periode voortdurend toe: de toename is bijna 4000 m². De toename in de getijvolumina in de Overloop wordt voor een deel veroorzaakt door een totale toename van de getijvolumina in dit deel van het estuarium en voor een deel door een verandering van de debietverdeling. Deze verandering gaat ten koste van de Zimmermangeul.

Dit laatste fenomeen uit zich in een toename in deze periode van het getijvolumeverdelings-getal van zowel de eb als de vloed. Deze toename is vooral sterk tussen 1980 en 1990: het getijvolumeverdelings-getal in de Overloop van Valkenisse loopt op van circa 0.75 tot 0.88. De dominantie is in 1963 circa 0.9 -lichte ebdominantie van de geul- en deze neemt, vooral na 1980, toe tot iets boven 1, hetgeen een omslag inhoudt van de dominantie van de geul ter plekke van raai 3. De Overloop van Valkenisse is volgens de evenwichtsparameter in 1963 licht te krap; in de loop van de tijd neemt deze krapte af en in 1990 is de geul min of meer in evenwicht met het dominante getijvolume.

In de Zimmermangeul zijn de eb- en vloedvolumina tussen 1963 en 1980 min of meer constant, circa $60 \cdot 10^6$ m³ voor beide getijfasen. Na 1980 nemen deze volumina vrij sterk af tot ongeveer de helft van hun oorspronkelijke grootte. Het dwarsoppervlak van de geul neemt tussen 1963 en 1980 1500 m² toe en vervolgens tot 1990 weer 1200 m² af. De afname komt overeen met de afname in de debieten in deze periode. Het getijvolumeverdelings-getal van de eb en de vloed neemt af gedurende de gehele beschouwde periode tot circa 10 %. Het sterkst is deze afname na 1980. De dominantie slaat in rond 1980 even om van licht vloedgedomineerd naar licht ebgedomineerd. Maar reeds in 1990 heeft er weer een omslag van de dominantie plaatsgevonden: de Zimmermangeul is dan weer vrij sterk (1.6) vloedgedomineerd. De geul is voor 1980 enigszins te krap voor het dominante getijvolume maar daarna vindt er een omslag plaats en in 1990 is de geul veel te ruim (1.8).

Synthese ontwikkeling geulparameters en debieten

De vergroting van de getijvolumina in het Nauw van Bath (debietraai 2) komt na 1972 overeen met de vergroting van het stroomvoerend vermogen en het stroomvoerend oppervlak in deze geul. Ook de Overloop van Valkenisse neemt sterk toe. Zowel de vergroting van de getijvolumina als het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak zijn in de Overloop van Valkenisse (debietraai 3) aanzienlijk groter dan in die in het Nauw van Bath. Kijken we naar de periode 1963-1990 dan neemt het getijvolumina tussen 1980 en 1988 in raai 3 in de Overloop van Valkenisse het sterkst toe en dat stemt overeen met de vergroting van de Qq en de ACq tussen 1977-78 en 1992. In het drempelgebied is de grootste toename van deze beide parameters juist tussen 1960-61 en 1977-78 opgetreden.

De toename van het stroomvoerend oppervlak in het Nauw van Bath die ter hoogte van raai 2 tussen 1977-78 en 1992 is het gevolg van een toename van de breedte en de diepte van deze geul. De breedte/diepte-ratio is hierdoor licht toegenomen. Tussen 1960 en 1977-78 nam de breedte af en de diepte toe, terwijl de getijvolumina in ieder geval tussen 1972 en 1977 toenamen. De ratio blijft rond de overgang Drempel van Valkenisse/Nauw van Bath aanzienlijk onder de waarde van 1960-61 liggen.

In de Overloop van Valkenisse, inclusief het drempelgebied, neemt tussen 1963 en 1980 de getijvolumina toe; in de periode neemt de breedte af en neemt de diepte toe. Dit heeft een afnemende breedte/diepte-ratio tot gevolg. In de periode daarna van 1980 tot 1990 hebben de toename van de getijvolumina in deze geul een toename van de breedte gecombineerd met een over het algemeen licht afnemende diepte tot gevolg. In de periode 1977-78 tot 1992 neemt daardoor de breedte/diepte-ratio weer toe zodat deze in het westelijk deel van de Overloop van Valkenisse op de oude waarde van 1960-61 is terecht gekomen en in het drempelgebied in het westelijk deel nog ruim onder de waarde van 1960-61 blijft liggen.

De relatief grote vermindering van de getijvolumina van de Zimmermangeul tussen 1980 en 1990 komt zowel overeen met afname van het doorstroomvermogen als het stroomvoerend oppervlak van deze geul in de periode 1977-78 tot 1992. De geul versmalt dan en neemt in diepte af met als gevolg een hogere breedte/diepte-ratio. De relatief kleine afname van de getijvolumina in de periode 1963 tot 1980 correspondeert niet met de relatief forse toename van het doorstroomvermogen en het doorstroom oppervlak tussen 1960-61 en 1977-78. Een aannemelijk verklaring voor de afwijking in deze periode is de al eerder genoemde variabiliteit van de Zimmermangeul zodat tijdstip van opname -van de bodem en de debieten- overeen moeten komen als wil beide gegevens met elkaar vergeleken moeten worden.

De relatie tussen de getijvolumina en de geulparameters in de Schaar van de Noord is al onder de Drempel van Bath behandeld. De grote variabiliteit van deze schaar beïnvloedt waarschijnlijk de relatie tussen de niet gelijktijdig gemeten variabelen sterk.

De asymmetrie van de hoofdgeulen neemt af tussen 1960-61 en 1992. Dit is niet wat er verwacht werd omdat bij toegenomen getijvolumina in een te krappe geul hogere snelheden ontstaan, die weer zouden leiden tot grotere secundaire stromen en een sterke verdieping van de buitenbocht.

Drempel van Hansweert

Het Zuidergat, de Schaar van Waarde, de Schaar van Ossenissee en ook, zij het in iets mindere mate, de Overloop van Hansweert en het Middelgat zijn van belang voor de ontwikkeling van de Drempel van Hansweert.

Geulparameters

Ontwikkeling geulparameters tussen 1960/61 en 1992

De lokaties van de geulprofielen rondom de Drempel van Hansweert staan aangegeven in bijlage D.5 t/m D.7.

Het doorstroomvermogen (Q_g) neemt in de dwarssecties rond de Drempel van Hansweert in de periode 1960-61 tot 1992 met circa $10 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ iets toe; in de periode 1960-61 tot 1977-78 vindt eerst wel een geringe afname van het doorstroomvermogen plaats van ongeveer $2 \text{ à } 3 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ maar in de daaropvolgende periode wordt dit gecompenseerd (bijlage E.7.a en E.7.b). In de Put van Hansweert is er een netto afname waarneembaar in dezelfde periode van $25 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$. Een netto toename van circa $100 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ vindt plaats in de hoofdgeul en dan met name in het deel van het Zuidergat waar de drempel zich bevindt en in mindere mate in het meer stroomopwaarts gelegen deel van het Zuidergat. Het overgrote deel van de netto toename vindt in de periode van 1960-61 tot 1977-78 plaats op het noordelijk deel van de drempel; in de daarop volgende periode van 1977-78 tot 1992 treedt er vooral in het zuidelijk deel van de drempel een vergroting van het doorstroomvermogen op. De vergroting van het doorstroomvermogen is in de loop van de tijd als het ware naar het zuiden opgeschoven. Gedeeltelijk is dit een gevolg van het naar het zuiden verschuiven van de ondiepe zandrug die een duidelijke begrenzing vormde tussen Zuidergat en Schaar van Waarde. In de Schaar van Ossenissee, het Middelgat en de Schaar van Waarde neemt het doorstroomvermogen in de periode 1960-61 tot 1992 met respectievelijk circa $30 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$, $35 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ en $30 \cdot 10^3 \text{ m}^{8/3}$ af.

Het stroomvoerend oppervlak van de geulen (AC_g) laat in deze periode een aan het doorstroomvermogen identieke ontwikkeling zien (bijlage E.8.a en E.8.b). Netto is er in de gehele dwarssectie op een direct rond de drempel een geringe toename te zien van $1 \text{ à } 2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. De drempel in het Zuidergat zelf neemt op sommige plekken netto $20 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ toe. Deze zeer forse toename wordt veroorzaakt het al eerder genoemde verdwijnen van de scheiding tussen Zuidergat en de Schaar van Waarde.

De stroomvoerende breedte (B_g) van de gehele dwarssectie direct rond de drempel neemt tussen 1960-61 en 1992 over het algemeen netto met circa 300 m af (bijlage E.9.a en E.9.b). De afname van de breedte wordt vooral veroorzaakt door een afname van de breedte van de nevengeulen als de Schaar van Ossenissee (250 m) en de Schaar van Waarde (300 m). In de hoofdgeul neemt de drempel aanzienlijk in breedte toe; in het drempelgebied is de toename tussen 1960-61 en 1977-78 in het noordelijk deel circa 500 m en tussen 1977-78 en 1992 in het zuidelijk deel circa 700 m. Ook hier speelt het effect van het verdwijnen van de scheiding tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde een rol. Het Zuidergat wordt netto 200 m breder en de verbreding treedt vooral op tussen 1977-78 en 1992.

De stroomvoerende gemiddelde diepte (H_g) in de hoofdgeul neemt over de gehele linie netto toe (bijlage E.10). In het drempelgebied is de toename netto ongeveer 3 m ze treedt voor het overgrote deel op in de periode 1960-61 tot 1977-78, in de periode daarna is de toename geringer, ongeveer 0.5 m. De Schaar van Ossenissee neemt

evenals de Schaar van Waarde in diepte af met circa 3 m.

De ratio tussen de stroomvoerende breedte en gemiddelde diepte (B_q/H_q) neemt in de hoofdgeul (bijlage E.11) in de totale periode 1960-61 tot 1992 over het algemeen netto toe. In de eerste periode, 1960-61 tot 1977-78, treedt deze toename alleen op in het benedenstroomse deel van de drempel; in de overige delen van de hoofdgeul is er dan over het algemeen een geringe afname waarneembaar van de ratio. In de tweede periode, 1977-78 tot 1992, neemt over de hele lengte van de hoofdgeul de ratio over het algemeen weer toe en deze toename is in het stroomopwaartse deel van de drempel vrij aanzienlijk. In het drempelgebied kan de netto toename zelfs op lopen tot circa 150. Ook hier speelt het al eerder genoemde effect van het naar het zuiden oprukken van de scheiding tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde een rol. Ook in het de Put van Hansweert en Zuidergat vindt een kleine netto toename plaats. Het geulprofiel van de hoofdgeul wordt eerder breder dan dieper.

In de Schaar van Ossenissee neemt in de eerste periode de ratio aanvankelijk af en vervolgens weer toe tot ongeveer het oude niveau in de tweede periode. In de Schaar van Waarde neemt de ratio, met name in het westelijk deel, af. Deze afname treedt in de tweede periode op; daarna zijn de veranderingen gering.

De scheefheid van het stroomvoerende deel (S_q) van het Zuidergat komt over het algemeen netto tussen 1960-61 en 1992 verder van 0.5 te liggen; de geul wordt dus asymmetrischer (bijlage E.12). In de Put van Hansweert/O-verloop van Hansweert is er daarentegen juist sprake van een afname van de asymmetrie. Terwijl de Schaar van Waarde met name na 1977-78 weer veel asymmetrischer wordt. De Schaar van Ossenissee wordt symmetrischer tussen 1960-61 en 1977-78. Van 1992 ontbreken de gegevens voor de Schaar van Ossenissee omdat deze dan uit twee geulen bestaat.

Getijparameters

Het verloop van de getijvolumina en de daarvan afgeleide parameters in debietraai 5 en 6 is grafisch weergegeven in bijlage G. De waarden zijn opgesomd in bijlage G.6.

Debietraai 5

Debietraai 5 ligt in het Zuidergat en de Schaar van Waarde; in het Zuidergat kruist deze raai het zuidelijke deel van de Drempel van Hansweert (bijlage F). In 1990 is de raai circa een kilometer in stroomopwaartse richting verplaatst en de raai heet nu 5A (bijlage F). Deze verplaatsing vond plaats om scheiding in de debieten te houden tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde omdat in de loop van de tijd de ondiepte die het Zuidergat van de Schaar van Waarde scheidde minder geprononceerd was geworden. In raai 5A worden beide geulen nu gescheiden door de Plaat van Walsoorden.

In het Zuidergat nemen in de periode 1957 tot 1990 de volumina van de eb en de vloed toe met respectievelijk circa 30 en 70 %. Deze toename is het sterkst tussen 1964 en 1977 en tussen 1988 en 1990. De ontwikkeling van het oppervlak van het profiel is hieraan gelijk; deze neemt in de periode 1957 tot 1990 netto ongeveer 8000 m² toe. Tussen 1981 en 1988 is de gelijktijdig optredende deuk in de trend van zowel het ebvolume -en in mindere mate het vloedvolume- als het doorstroomoppervlak tussen 1981 en 1988 opvallend.

In de periode 1957 tot 1990 nemen zowel het getijvolumeverdelings-getal van de eb als de vloed in het Zuidergat toe tot respectievelijk 0.67 en 0.59. De dominantie neemt in de hele periode van 1957 tot 1990 toe van 0.6 tot uiteindelijk circa 0.8; het Zuidergat gaat in deze periode over van een aanzienlijk ebgedomineerde geul tot een

licht ebgedomineerde geul. Dit wordt vooral veroorzaakt door de aanzienlijke toename van de vloedvolumina ten opzichte van de ebvolumina: de vloedvolumina nemen met circa $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ toe en de ebvolumina nemen met circa $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ toe tussen 1957 en 1990.

In 1957 is het Zuidergat aanvankelijk iets te krap ($P = 0.9$) voor het dominerende getijvolume. Vanaf halverwege de jaren '60 is de geul iets te ruim ($P = 1.1$).

De eb- en vloedvolumina in de Schaar van Waarde nemen tussen 1957 en 1990 geleidelijk aan af tot de ongeveer de helft van de oorspronkelijke waarde. De eb neemt circa 40 en de vloed 50 % af. Het dwarsoppervlak van geul neemt in samenhang daarmee ook, zij het iets minder geleidelijk, netto af met ongeveer 7500 m^2 .

De vrij hoge waarde van ongeveer 0.55 van het getijvolumeverdelings-getal van zowel de eb als de vloed reduceert in de loop van de tijd aanzienlijk namelijk tot uiteindelijk ongeveer 0.35. De dominantie neemt netto in de periode 1957 tot 1990 af van ongeveer 1.3 tot 1.05: de geul gaat van een sterk vloedgedomineerde geul over in licht vloedgedomineerd. Ondanks het afnemende dominerende getijvolume en het afnemende oppervlak van de geul neemt de 'evenwichtsparameter' toe van 1.05 in 1957 tot 1.3 in 1990: de geul wordt steeds meer te ruim.

Debietraai 6

Debietraai 6 ligt ongeveer 10 km benedenstrooms van de Drempel van Hansweert in het Middelgat en het Gat van Ossensisse (bijlage F). De ontwikkeling van de getijvolumina in debietraai 6 worden niet verondersteld direct van invloed te zijn op de ontwikkeling van de Drempel van Hansweert, zeker niet in vergelijking met debietraai 5. Daarom wordt hier volstaan met een kort kenschets van de ontwikkeling van de debieten in raai 6.

De eb- en vloedvolumina en het geuloppervlak in het Middelgat nemen tussen 1957 en 1994 geleidelijk aan af respectievelijk met 20 en 15 % en 5500 m^2 . De getijvolumina in het Middelgat namen ondanks de vergroting van de totale getijvolumina in raai 6 af door een verandering in de verhouding van de volumina in het Middelgat en het Gat van Ossensisse; het getijvolumeverdelings-getallen van de eb en de vloed in het Middelgat nemen af met respectievelijk 25 en 20 %. De geul blijft gedurende deze hele periode ebdominant alhoewel de dominantie afneemt.

In het Gat van Ossensisse nemen de eb- en vloedvolumina tussen 1957 en 1994 aanzienlijk toe met respectievelijk 50 en 25 %. Dit wordt veroorzaakt door een absolute toename van de getijvolumina en een vergroot getijvolumeverdelings-getal. De vloeddominantie van de geul neemt enigszins af. De geul was aanvankelijk in 1957 licht te ruim maar is in de loop van de jaren licht te krap geworden.

Synthese ontwikkeling geulparameters en debieten

De toegenomen getijvolumina tussen 1957 en 1990 in het Zuidergat stemmen overeen met de toename van het doorstroomvermogen en stroomvoerend oppervlak in de periode 1960-61 tot 1992. Tussen 1960-61 en 1977-78 neemt in het Zuidergat en dus op de Drempel van Hansweert de diepte en in geringe mate de breedte toe. In de periode 1977-78 tot 1992 is de diepte min of meer constant en verbreedt de geul zich. Deze sequentie, eerst verdiepen van de geulen en daarna verbreden van de geul, trad ook op bij de drempels van Bath en Valkenisse. De toegenomen getijvolumina in het Zuidergat gaan ten kostte van de getijvolumina in de Schaar van Waarde: er treed in de Schaar van Waarde dan ook een verkleining van het doorstroomvermogen en stroomvoerend oppervlak op. Deze verandering die hoofdzakelijk in de eerste periode tussen 1960-61 en 1977-78 optreedt en heeft een smallere en ondiepere geul tot gevolg. De getijvolumina in de Schaar van Waarde zijn in de loop van de tijd afgenomen.

De ontwikkeling van de geulparameters in de Schaar van Ossensisse is niet aan de getijvolumina te koppelen omdat geen volumina van deze geul beschikbaar zijn.

De ontwikkeling van het doorstroomvermogen en het stroomvoerend oppervlak van de Overloop van Hansweert en het Middelgat zijn wel aan de ontwikkelingen van de getijvolumina in debietraai 6 te koppelen. Welke gevolgen deze ontwikkeling van de getijvolumina voor de Drempel van Hansweert heeft is moeilijk te achterhalen omdat er op de drempel die circa 10 km van deze debietraai afligt nooit gemeten is. Op het punt waar het Middelgat en de Overloop van Hansweert samenkomen, de Put van Hansweert, is een netto afname van het stroomvoerend vermogen/stroomvoerend oppervlak waarneembaar. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een afgenomen scheiding van de stroomdraden van de eb en de vloed. Deze afname van de scheiding was mogelijk een gevolg van een andere aanstroming van de eb- en vloedstromen in de Put van Hansweert. Dit kan een gevolg zijn geweest van de rolwisseling van het Middelgat en de Overloop van Hansweert/Gat van Ossensisse, waardoor deze een kleiner dwarsprofiel krijgt (Van Kleef, 1994).