

De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961 - 1992

Kees van der Male

Werkdocument RIKZ / ABD 96.837x

Augustus 1996

Ministerie van verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Werkdocument

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

Aan
Belanghebbenden

Van
Kees van der Male

Datum
21 augustus 1996

Nummer
RIKZ/ABD 96.837x

Onderwerp
De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961 - 1992

Doorkiesnummer
(0118) 672316

Bijlage(n)

Project
VERDIEP / MOVE

1. Inleiding.	2
2. Dieptegegevens en verwerking	3
2.1 Inleiding.	3
2.2 Dieptegegevens van kaart naar digitaal bestand.	3
2.3 Van dieptecijfers en -lijnen naar regelmatig rooster.	4
3. De morfologische ontwikkeling van de Zeeschelde tussen 1961 en 1992.	5
3.1. Inleiding.	5
3.2. Vak 1	6
3.3. Vak 2.	10
3.4. Vak 3.	13
3.5. Vak 4	19
3.6. Vak 5.	22
3.7. Oppervlakte en inhoud totale gebied.	23
3.8. Totalen onderhoudsbaggeren en -storten.	24
4. Tenslotte.....	27
4.1. Zandbalans	27
4.2. Aanbeveling.	27

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon (0118) 67 22 00
Telefax (0118) 61 65 00

1. Inleiding.

Evenals in de Westerschelde is er in de Zeeschelde in de afgelopen decennia in morfologisch opzicht veel veranderd. Door de sterk toegenomen scheepvaart met steeds grotere schepen was verbreding en verdieping van de vaarweg noodzakelijk. Ook zijn er tussen Antwerpen en de grens nieuwe sluizen gebouwd en zijn er op de linkeroever nieuwe zeehavens aangelegd. Bij de vaarwegverruiming zijn grote hoeveelheden sediment vrijgekomen wat onder andere gebruikt is voor het opspuiten van haventerreinen. Een relatief klein deel is teruggestort in de rivier.

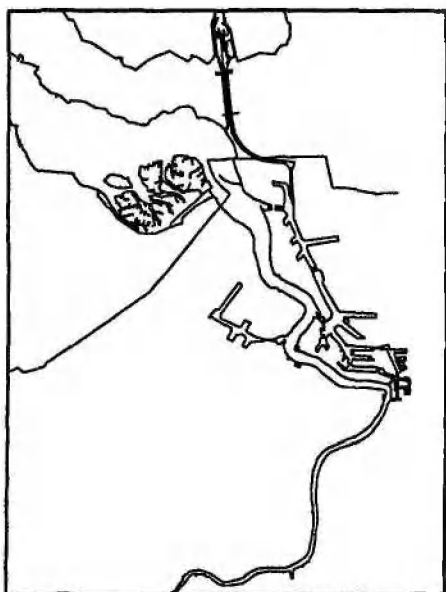


Fig.1 Zeeschelde

Bij het opstellen van zandbalansen van de Westerschelde is steeds aangenomen dat er geen natuurlijk resulterend transport van zand over de grens plaatsvindt. Lit 1. Een gefundeerde argumentatie daarvoor ontbrak echter door onvoldoende gegevens. In dit werkdocument is met behulp van nieuwe gegevens de juistheid van de veronderstelling onderzocht.

Als daaruit blijkt dat wel een relevante aan- of afvoer van sediment van de Zeeschelde naar de Westerschelde plaatsvindt, heeft dit consequenties voor de interpretatie van de zandbalans van de Westerschelde.

Voor de bouw van twee hydraulische modellen (een eendimensionaal en een tweedimensionaal model) van het Schelde-estuarium is de geometrie van de Zeeschelde van 1961 ingevoerd in ARC/INFO bestanden. In een eerder stadium is ook de geometrie van 1992 ingevoerd. Hierdoor is het mogelijk om de veranderingen in de geometrie van het gebied in kaart te brengen en te kwantificeren. Door vervolgens bij dit gegeven de hoeveelheden gebaggerd en gestort materiaal in rekening te brengen kan een zandbalans van het gebied worden opgesteld. Het beschouwde gebied loopt vanaf

Rupelmonde. Van het deel van de Zeeschelde dat stroomopwaarts van Rupelmonde gelegen is, zijn bij RIKZ tot nu toe geen gegevens voorhanden. Dit gebied is daarom buiten beschouwing gebleven.

Eerst wordt in hoofdstuk 2 de herkomst van de dieptegegevens en de erop uitgevoerde bewerkingen beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 per vak de veranderingen in de morfologie van de Zeeschelde beschreven aan de hand van de oppervlakte en inhoudsveranderingen in de beschouwde periode. Ook worden de menselijke ingrepen zoals bouw van sluizen en bagger- en stortactiviteiten beschreven. In hoofdstuk 4 wordt een en ander samengevat voor het totale gebied. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen gegeven.

2. Dieptegegevens en verwerking.

2.1 Inleiding.

Om adequaat veranderingen in de morfologie van een gebied te presenteren en te kwantificeren is digitale beschikbaarheid van dieptegegevens noodzakelijk. Voor de bouw van waterbewegingsmodellen waarin de Zeeschelde is opgenomen zijn dieptegegevens gedigitaliseerd van de situaties anno 1961 en 1992.

2.2 Dieptegegevens van kaart naar digitaal bestand.

De dieptegegevens van 1961 en 1992 zijn beschikbaar gesteld op dieptekaarten schaal 1:5000 door de afdeling Maritieme Schelde van het ministerie van de Vlaamse gemeenschap in Antwerpen. Op de dieptekaarten zijn dieptelijnen en een selectie van de gepeilde dieptecijfers weergegeven. Een voorbeeld van een gedeelte van een van de dieptekaarten is te vinden in bijlage 1. De kaartensets zowel van 1961 en als van 1992 zijn beide gekarteerd in de Belgische Lambert-projectie. Op de kaarten van 1992 zijn zowel de geografische als de Lambert coördinaten vermeld. Op die van 1961 zijn alleen de geografische coördinaten volledig vermeld, de Lambert coördinaten zijn in de randbeschrifting opgenomen.

De dieptelijnen en de dieptecijfers zijn met behulp van een digitaliseertafel in ARC/INFO bestanden opgeslagen. Daarbij is de kaartset van 1992 tijdens het digitaliseren rechtstreeks in Lambert-coördinaten opgenomen. De kaartset van 1961 is gedigitaliseerd via de geografische coördinaten die daarna zijn omgezet naar Lambertcoördinaten. Door de vertekening die in deze kaarten zat was het niet mogelijk de transformatie uit te voeren via de "standaard"routine, maar is gebruik gemaakt van de z.g. "Rubbersheeting". Daarbij wordt de transformatie uitgevoerd aan de hand van zoveel mogelijk bekende punten in de kaart.

Na het digitaal maken van de dieptegegevens zijn de coördinaten omgerekend naar het RDV-coördinatenstelsel met het programma MDKLUS2. Zowel bij 1992 als bij 1961 is er vanuit gegaan dat het geëpaste coördinatenstelsel op de kaarten LAMBERT70 is. Later is gebleken dit echter LAMBERT50 te zijn. Deze coördinatenstelsels zijn enkele honderden meters ten opzichte van elkaar verschoven. Echter Voor het doel van dit werkdocument is dit geen bezwaar. Voor de archivering van de gegevens is het juist wel noodzakelijk dit mettertijd recht te trekken.

Als reductieniveaus op de kaarten van 1961 is het zg NKD peil toegepast. Het N.K.D. peil ligt 0.08 m beneden het thans in België in gebruik zijnde T.A.W. peil, wat overeenkomt met het vlak N.A.P. -2.33 m. In het N.K.D. peil kunnen lokaal echter afwijkingen voorkomen van enkele cm. In tabel 1 is per dieptekaart de ligging van het N.K.D. niveau weergegeven tov NAP. Voor het uitvoeren van verdere bewerkingen zijn alle diepten weergegeven ten opzichte van het N.A.P.

Een uitgebreidere beschrijving van de verwerking van de kaarten van 1992 is te vinden in bijlage 2.

Dieptekaart	Niveau t.o.v. N.A.P. in meters.
Saeftinge - Doel	-2.44
Doel - Filip	-2.44
Filip - Oosterweel	-2.43
Rede van Antwerpen	-2.41
Burcht - Rupelmonde	-2.41

Tabel 1. Diepteniveau dieptecijfers per dieptekaart.

2.3 Van dieptecijfers en -lijnen naar regelmatig rooster.

Na de invoer van de gegevens in ARC/INFO zijn de dieptegegevens geschematiseerd op een regelmatig rooster van 20 x 20 m. Deze berekening is uitgevoerd met de interpolatiemodule van het Digi-beeld pakket. Lit 2.

Om rekentechnische redenen zijn de punten die de dieptelijnen weergeven, zodanig gereduceerd dat de onderlinge afstand ca. 50 m bedroeg.

In fig 2 is aangegeven welk deel van het gebied door dieptegegevens wordt gedekt. Van taluds van de waterkeringen en hoge delen van plaatgebieden zijn niet altijd gegevens aanwezig. Toch is het voor verschillende toepassingen van belang dat een gegeven van deze gebieden aanwezig is. In zulke gevallen zal met een schatting gewerkt moeten worden. De schatting van dieptegegevens is verkregen door de kruinlijn van de dijken op het niveau van NAP + 4 m te veronderstellen en de diepten in het tussenliggende gebied door interpolatie te berekenen.

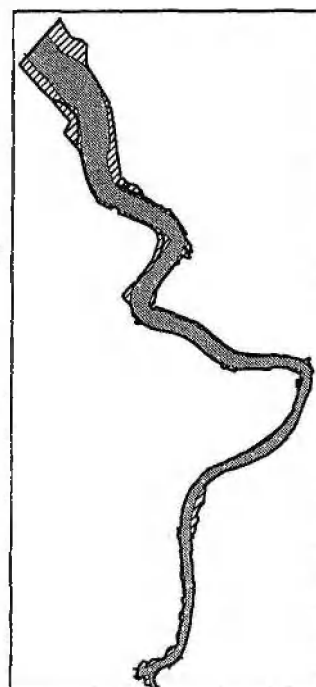


Fig.2 Gedekt gebied

3. De morfologische ontwikkeling van de Zeeschelde tussen 1961 en 1992.

3.1. Inleiding.

De morfologische ontwikkeling op de Zeeschelde is de laatste decennia sterk beïnvloed door menselijke handelingen. In het gebied tussen Antwerpen en de grens zijn een aantal grote zeehavens aangelegd. Ook zijn sluizencomplexen gebouwd die de toegang tot deze havens vormen. Om de vaarweg op diepte te brengen en te houden is en wordt op een aantal drempels baggerwerk uitgevoerd. Op sommige plaatsen, zoals de Drempel van Zandvliet gebeurt dit continue, op andere plaatsen slechts incidenteel. Rond 1970 is voor de verruiming van de vaarweg een aantal drempelgebieden verdiept. Dit gaf gedurende enkele jaren een sterke toename van de hoeveelheid gebaggerd materiaal. Bij al het baggerwerk komen grote hoeveelheden sediment vrij. Een deel van dit sediment is teruggestort in de rivier. Echter het grootste deel is elders verwerkt voor onder andere de aanleg van haventerreinen en is daarmee onttrokken aan het watersysteem. Naast alle hier genoemde menselijke activiteiten spelen uiteraard natuurlijke processen ook een rol in het morfologische ontwikkeling. Zo zijn de geuldelen tussen de drempelgebieden verruimd, waarschijnlijk door het toegenomen getijvolume.

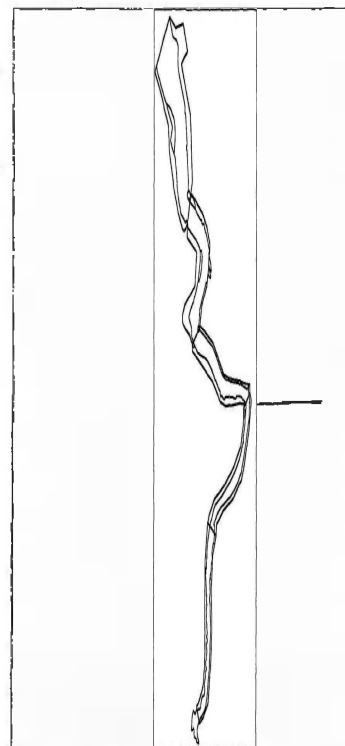


Fig 3 Vakindeling

Voor de presentatie en beschrijving van de morfologische ontwikkelingen is het gebied onderverdeeld in vijf vakken. Zie fig 3.

Per vak is de bodemligging in de jaren 1961 en 1992 weergegeven met een verschildieptekaart. Om een idee te geven van de veranderingen die de oeverlijn tussen 1961 en 1992 heeft ondergaan, is de ligging hiervan in 1961 in de kaartjes opgenomen.

Voor zowel 1961 als 1992 is de oppervlakte en de inhoud van ieder vak bepaald. Deze zijn gepresenteerd in grafiek- en tabelvorm. Om de diepteontwikkeling in de tijd enigszins te kunnen volgen zijn van een aantal drempelgebieden grafieken getekend waarop de diepte op de drempel als functie van de tijd is weergegeven. Tenslotte zijn de in dit verband relevante bagger- en stortactiviteiten beschreven. Tenslotte is aan de hand van de beschikbare gegevens van ieder vak een sedimentbalans opgesteld.

Een drempel vormt de overgangsgebied tussen twee geulen. In de Zeeschelde en de Westerschelde is het op een aantal drempels noodzakelijk om regelmatig te baggeren om de benodigde diepte voor de scheepvaart te handhaven.

3.2. Vak 1

Vak 1 loopt van de Nederlands - Belgische grens tot de lijn Lillo - Liefkenshoek. In dit vak hebben ingrijpende veranderingen plaatsgevonden.

In 1963-'64 is een regularisatie van de rechteroever tussen Frederik en de Ballastplaat uitgevoerd waarbij 4 miljoen m³ is gebaggerd. Deze hoeveelheid is elders verwerkt en dus onttrokken aan het watersysteem. Rond 1970 werd vlak ten noorden van vak 1 de geleidedam op de Ballastplaat aangelegd. Daaraanvolgend is een geleidedam op de Plaat van Doel aangelegd. In 1967 is de Zandvlietsluis (zie fig.4) gebouwd en in 1976 de Berendrechtsluis. Vlak ten zuiden van deze sluizen is een containerkade aangelegd terwijl ten noorden van de sluis buitendijks haventerrein is aangelegd.

Onderhoudsbaggerwerk werd verricht op de Drempel van Zandvliet, de toegangsgeulen naar de Zandvliet- en Berendrechtsluis, op de rand van de Plaat van Doel, op de Drempel van Frederik, in de omgeving van boei 95 en bij het steiger van Lillo. Stortplaatsen zijn de Schaar van Ouden Doel, de Plaat van Doel en de omgeving van Boei 82.

Diepte- en verschilkaart vak 1

In bijlage 3 zijn de dieptekaarten en verschilkaart weergegeven. In de dieptekaarten valt op dat de hoofdgeul tussen 1961 en 1992 aanmerkelijk breder is geworden. In de verschilkaart is te zien dat de plaatgebieden hoger zijn komen te liggen.

Oppervlakte en inhoud vak 1

In fig. 5 is de oppervlakte van het vak in 1961 en in 1992 als functie van de diepte weergegeven en in figuur 6 voor de inhoud. In tabel 2 worden de waarden tevens numeriek weergegeven. In de grafiek van 1992 zijn de oppervlakte en inhoud van de toegangsgeulen naar de Zandvliet- en Berendrechtsluis niet meegeteld.

De oppervlakte rond N.A.P. is niet noemenswaardig veranderd. Onder dit niveau valt echter een sterke toename van de oppervlakte te constateren. Rond het niveau N.A.P. -14 m is de oppervlakte zelfs verdrievoudigd.

De inhoud is rond N.A.P. toegenomen met 24 miljoen m³. De absolute toename is over alle niveaus tot N.A.P. -5 m gelijk, daarna neemt de hoeveelheid geleidelijk af tot nul op de maximale diepte. De maximale diepte van het vak is niet noemenswaardig toegenomen. De inhoudstoename heeft dus plaatsgehad onder N.A.P. -5 m. Een en ander houdt in dat de oevers dus steiler zijn geworden.

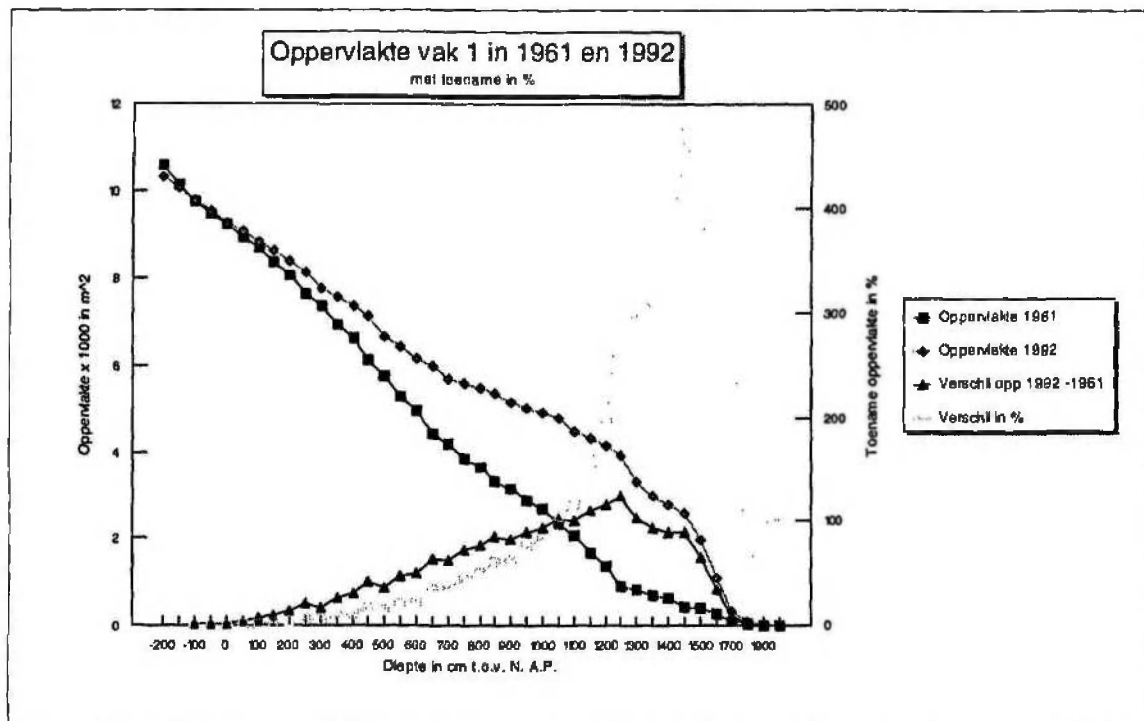


Fig 4. Oppervlakte vak 1

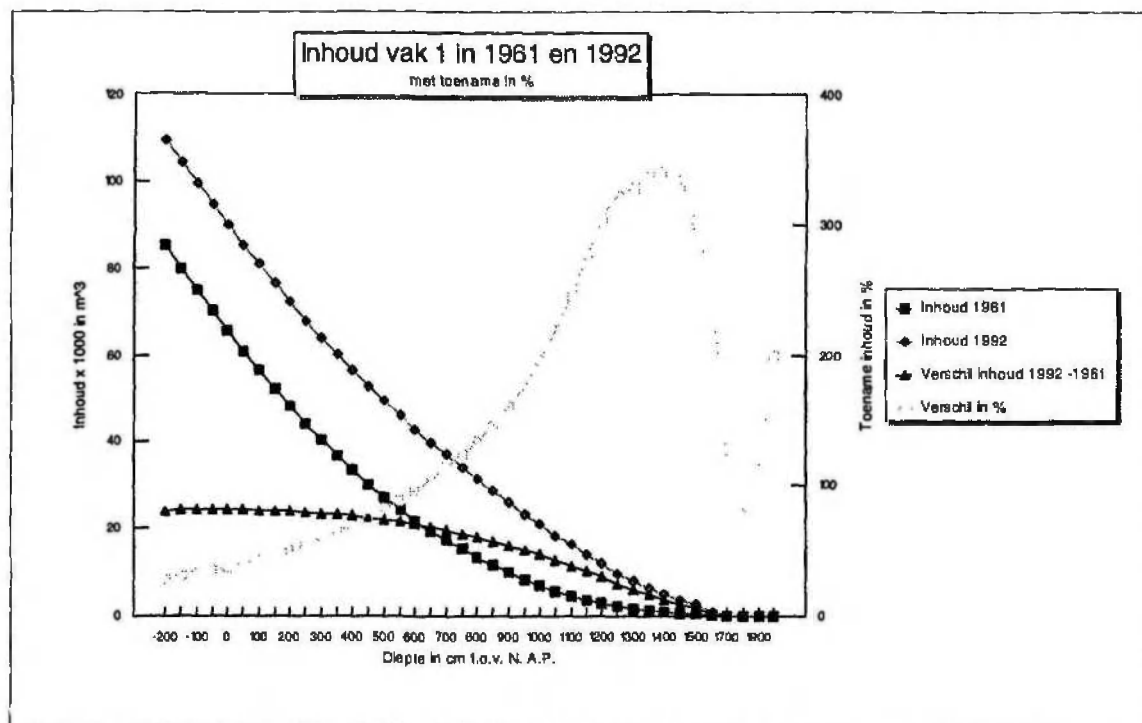


Fig 5. Inhoud vak 1.

Diepte t.o.v. N.A.P. in m	Oppervlakte 1961	Inhoud 1961	Oppervlakte 1992	Inhoud 1992	Opp 1992 zonder toegangs- geulen	Inhoud 1992 zon- der toe- gangs- geulen
-2	10594	85135	10711	115562	10333	109437
-1.5	10135	79961	10442	110276	10064	104340
-1.	9769	74987	10187	105119	9811	99371
-0.5	9478	70172	9906	100097	9531	94537
0	9221	65492	9646	95211	9272	89838
0.5	8934	60943	9419	90447	9049	85260
1	8681	56534	9212	85791	8844	80789
1.5	8372	52260	8996	81240	8632	76421
2	8067	48143	8775	76793	8412	72155
2.5	7630	44189	8505	72470	8142	68014
5	5766	27227	7009	52981	6664	49402
7.5	3839	15298	5914	36944	5592	34199
10	2669	7100	5225	23014	4924	21055
15	404	648	2271	3102	1994	2594
20	6	2	12	6	12	6

Tabel 2. Vak 1: Oppervlakte $\times 10^3$ in m^2 , Inhoud onder niveau $\times 10^3$ in m^3 .

Drempeldiepten vak 1.

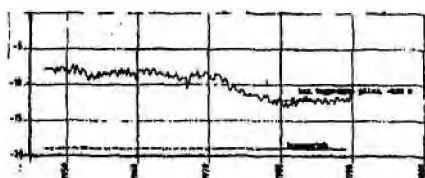


Fig 6 Drempeldiepte Zandvliet

Tot 1971 bedroeg de drempeldiepte op de Drempel van Zandvliet ca. 8 m - gllws. Daarna volgt tot 1980 een geleidelijke verdieping tot ca 12 m waarna de bodemdiepte rond hetzelfde niveau blijft.

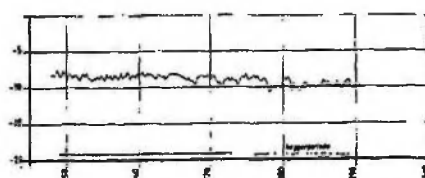


Fig 7 Drempeldiepte Frederik

Op de Drempel van Frederik bedraagt de diepte tot ca. 1978 8 m -gllws. Daarna 10 m - gllws.

Baggeren en storten vak 1.

De gebaggerde hoeveelheden op de Drempel van Zandvliet bedroegen tot ca 1967 gem ca 0.9 miljoen m³ per jaar. De hoeveelheid nam daarna toe tot ruim 2 miljoen m³ per jaar tot 1977 en nam daarna weer af tot ruim 1 miljoen m³ per jaar.

De gebaggerde hoeveelheden op de Drempel van Frederik bedroegen in de '60er jaren gem. 0.8 miljoen m³ per jaar. In 1970 werd de grootste hoeveelheid gebaggerd, nl 1.4 miljoen m³ per jaar. Daarna nam de hoeveelheid geleidelijk af tot 0.1 miljoen m³ per jaar.

De belangrijkste stortplaats op de Zeeschelde is de Schaar van Ouden Doel, waar tot in de eerste helft van de '60er jaren gem ca 0.4 miljoen m³ per jaar werd gestort. Vervolgens zijn tot 1973 geen hoeveelheden van betekenis gestort. Daarna werd van 1974 tot 1990 gemiddeld ruim 1 miljoen m³ per jaar gestort. Op de stortplaats omgeving boei 82 werd tussen '83 en '87 gem 0.4 miljoen m³ per jaar gestort.

Balans vak 1

In dit vak bedraagt het inhoudsverschil t.o.v. N.A.P. tussen 1961 en 1992 :

(De toegangsgeulen van de zeesluizen niet meegerekend) 90 milj - 65 milj = 25 miljoen m³.

Bij de regularisatie van de rechterbocht tussen Frederik en de Ballastplaat is 4 miljoen m³ onttrokken.

Bij het onderhoudsbaggerwerk op de Drempel van Zandvliet en de Drempel van Frederik is in totaal onttrokken:	57 miljoen m ³ .
Gestort in Schaar van Ouden Doel en omg boei 82 totaal	26 miljoen m ³ .
Verschil tussen gebaggerd en gestort, dus netto is onttrokken tussen 1961 en 1990	31 miljoen m ³ .

Omgerekend naar periode 1961 - 1992, 32/30 x 31 =	33 miljoen m ³ onttrokken
---	--------------------------------------

Omerekend vanuit middelen van vervoer naar reële hoeveelheid:

$$0.83 \times 33 = 27.5 \text{ miljoen m}^3.$$

Totaal onttrokken: $4 + 27 = 31$ miljoen m^3 . Het berekende inhoudsverschil is 25 miljoen m^3 , dus er is langs natuurlijke weg 6 miljoen m^3 sediment geïmporteerd.

3.3. Vak 2.

Vak 2 loopt van de lijn Lillo - Liefkenshoek tot de lijn fort Filip - St Marie. De bouw van de Kalloosluis met toegangsgeul is de grootste ingreep tussen 1961 en 1992 in dit vak. De Boudewijnsluis was al in 1955 gebouwd, dus voor de hier besproken periode. Onderhoudsbaggerwerk wordt in dit gebied uitgevoerd op de Drempel van Lillo, de Drempel van de Parel, de Plaat van de Parel en de toegangsgeul van de Kalloosluis. Het storten van specie vindt plaats op de Ketelplaat.

Oppervlakte en inhoud vak 2.

In fig 8 is de oppervlakte en in fig 9 de inhoud van het vak in 1961 en in 1991 uitgezet in een grafiek, in tabel 3 zijn de numerieke waarden opgenomen.

De oppervlakte van het gebied is boven het niveau N.A.P. -8 m met ca. 5 % toegenomen. Onder dit niveau is de toename veel groter, tot 100 % rond N.A.P. -12.5 m.

De inhoud van het vak is over het gehele dieptebereik toegenomen. Rond N.A.P. bedraagt de toename ca 20 %.

(Bij de berekening van de oppervlakte en inhoud van vak 2 zijn de Boudewijnsluis en de Kalloosluis niet meegenomen wegens het ontbreken van gegevens in 1961)

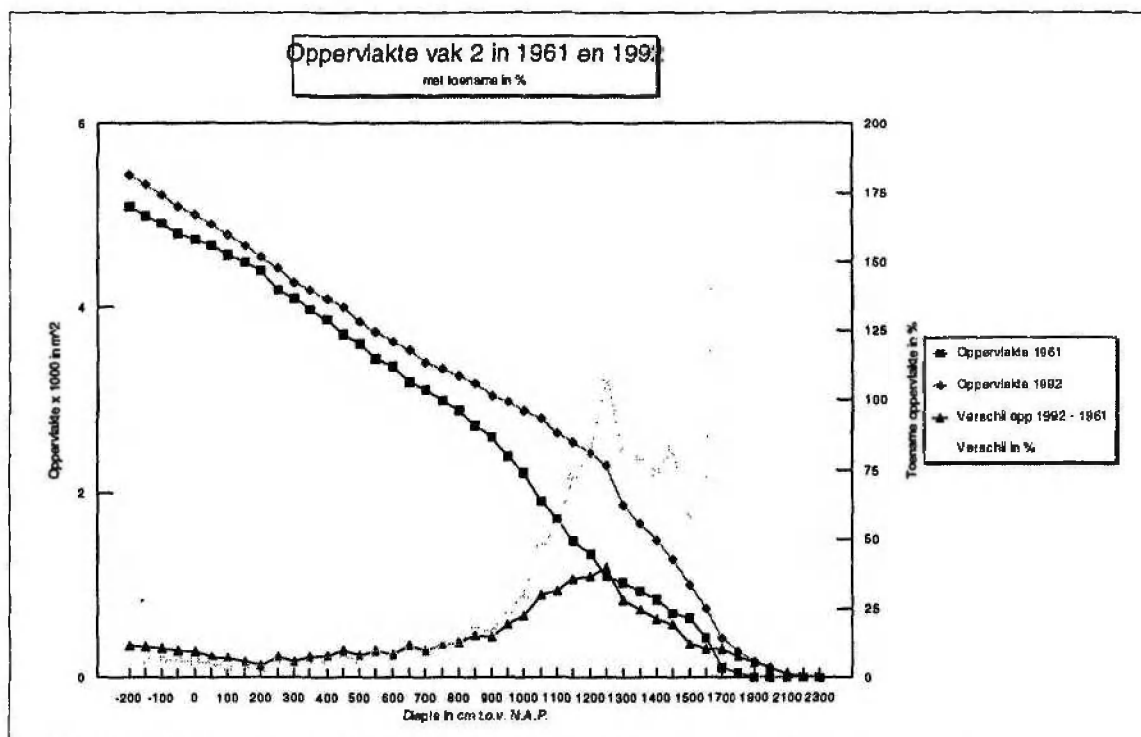


Fig 8. Oppervlakte vak 2.

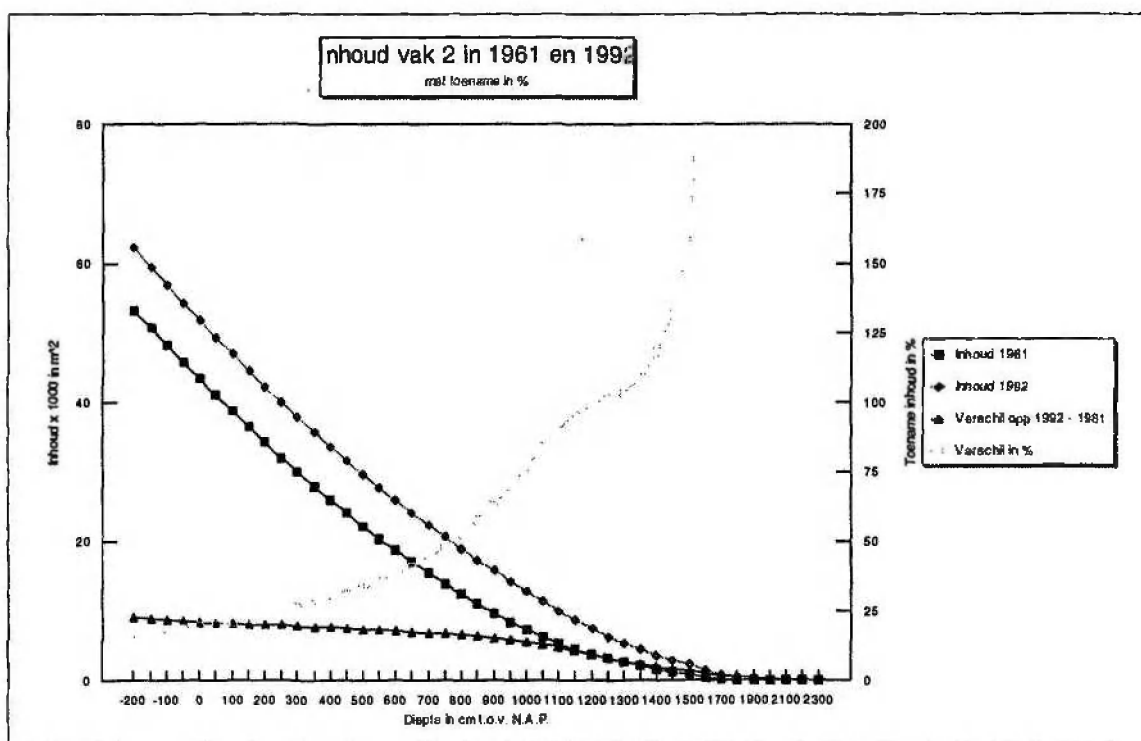


Fig 9. Inhoud vak 2.

Diepte t.o.v. N.A.P. in m	Oppervlakte 1961	Inhoud 1961	Oppervlakte 1992	Inhoud 1992	opp 1992 zonder toegangs- geulen	Inhoud 1992 zon- der toe- gangsgeu- len
-2	5121	53151	5700	65069	5447	62163
-1.5	5014	50619	5586	62247	5334	59467
-1.	4912	48137	5475	59482	5226	56828
-0.5	4816	45706	5353	56773	5106	54243
0	4741	43317	5254	54123	5013	51714
0.5	4675	40964	5139	51521	4907	49232
1	4589	38648	5032	48979	4798	46807
1.5	4500	36374	4904	46494	4674	44438
2	4409	34147	4776	44076	4550	42134
2.5	4193	31968	4653	41720	4429	39890
5	3603	22165	4043	30833	3844	29540
7.5	2989	13908	3507	21431	3339	20592
10	2216	7255	3030	13254	2884	12806
15	641	902	1006	2327	1006	2327
20	2	1	111	130	111	130

Tabel 3. Vak 2: Oppervlakte $\times 10^3$ in m^2 , Inhoud $\times 10^3$ onder niveau in m^3 .

Drempeldiepten vak 2.

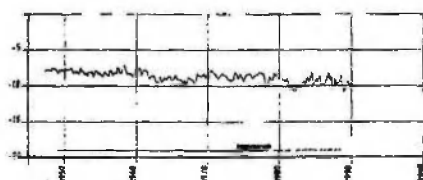


Fig 10. Drempeldiepte Lillo

Op de Drempel van Lillo bedroeg tot ca 1980 de drempeldiepte 8 à 9 m - gllws. Na 1981 varieert de diepte tussen 8 en 10 m - gllws.

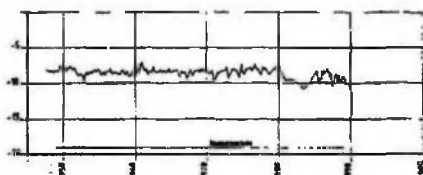


Fig 11. Drempeldiepte Parel

Op de Drempel van de Parel bedroeg de drempeldiepte tussen 1960 en 1980 ca 8 m - gllws. Daarna volgde een geleidelijke verdieping tot dieper dan 10 m - gllws. Sinds 1985 varieert de diepte tussen 8 en 10 m.

Baggeren en storten vak 2.

In de '60 jaren bedroeg de hoeveelheid gebaggerd materiaal op de Drempel van Lillo 0.1 à 0.2 miljoen m³ per jaar. Tussen 1970 en 1980 steeg de hoeveelheid tot gem. 0.7 miljoen m³ per jaar. Na 1980 verminderde de hoeveelheid weer tot 0.1 à 0.2 miljoen m³ per jaar.

Op de Drempel van de Parel werd in de '60er jaren een hoeveelheid van gem. 0.8 miljoen m³ per jaar gebaggerd. Daarna volgde een toename tot 3.4 miljoen m³ per jaar. Na 1975 bedroeg de hoeveelheid gem. 0.5 miljoen m³ per jaar. Bij de Plaat van de Parel is tussen 1971 en 1973 gem. ruim 1 miljoen m³ per jaar gebaggerd.

In de toegangsecul van de Kalluosluis is tussen 1984 en 1988 rond de 0.5 miljoen m³ per jaar gebaggerd.

Op de Ketelplaat is in 1983 eenmalig een hoeveelheid gestort.

Balans vak 2

Het inhoudsverschil in dit vak bedraagt op N.A.P. tussen 1961 en 1992:

$$(\text{exclusief toegangseculen sluisen}) 51.7 - 43.3 = 8.4 \text{ miljoen m}^3.$$

(Onderhouds)baggerwerk is uitgevoerd op de Drempel van Lillo, Drempel van de Parel, de Plaat van de Parel en in de toegangsecul van de Kalluosluis waarbij in totaal 32 miljoen m³.

Is onttrokken.

De gestorte hoeveelheid in dit vak is te verwaarlozen.

De hoeveelheid gebaggerd sediment omgerekend naar het tijdvak 1961 - 1992,

$$32/30 \times 32 = \text{onttrokken: } 34 \text{ miljoen m}^3$$

Omgerekend vanuit middelen van vervoer naar reële hoeveelheid: $0.83 \times 34 = 28.3$ miljoen.

Er is dus langs natuurlijke weg $28.3 - 8.4 = 20$ miljoen m³ sediment aangevoerd.

3.4. Vak 3.

Vak 3 grenst aan vak 2 en loopt stroomopwaarts tot door de bocht nabij het loodsgebouw in Antwerpen. Gebaggerd wordt op de Drempel van Krankeloon, de Drempel van draaiende sluis en de Drempel van Oosterweel. Een stortplaats bevindt zich op de Plaat van Boomke.

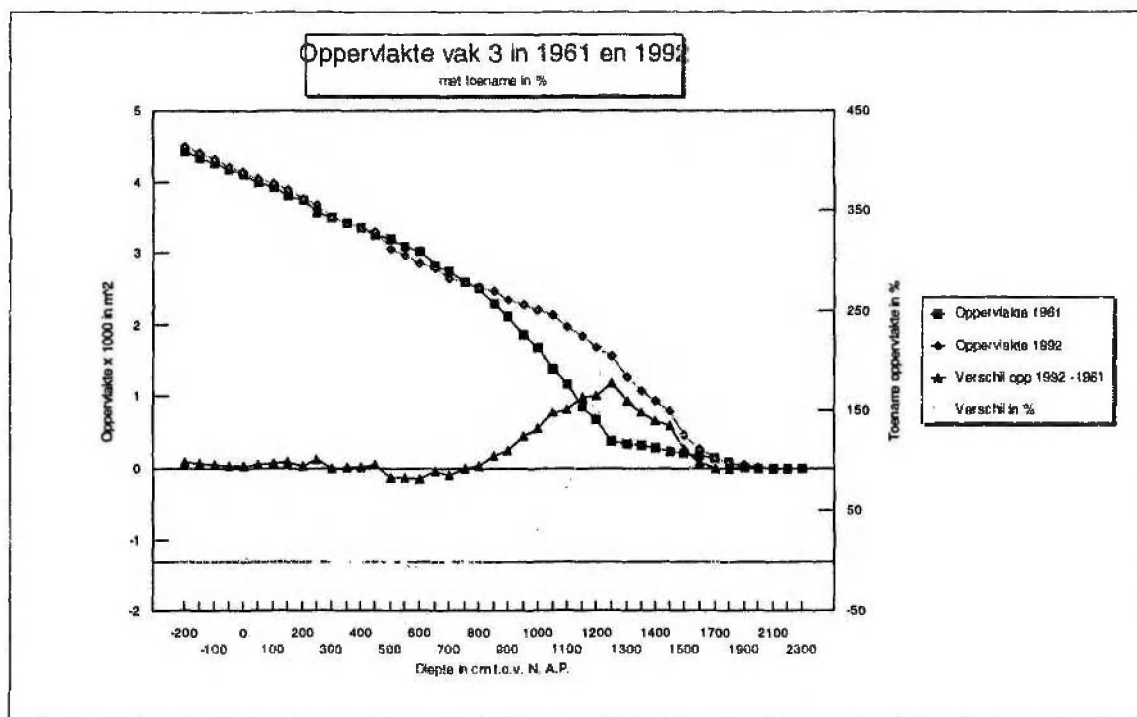


Fig 12. Oppervlakte vak 3.

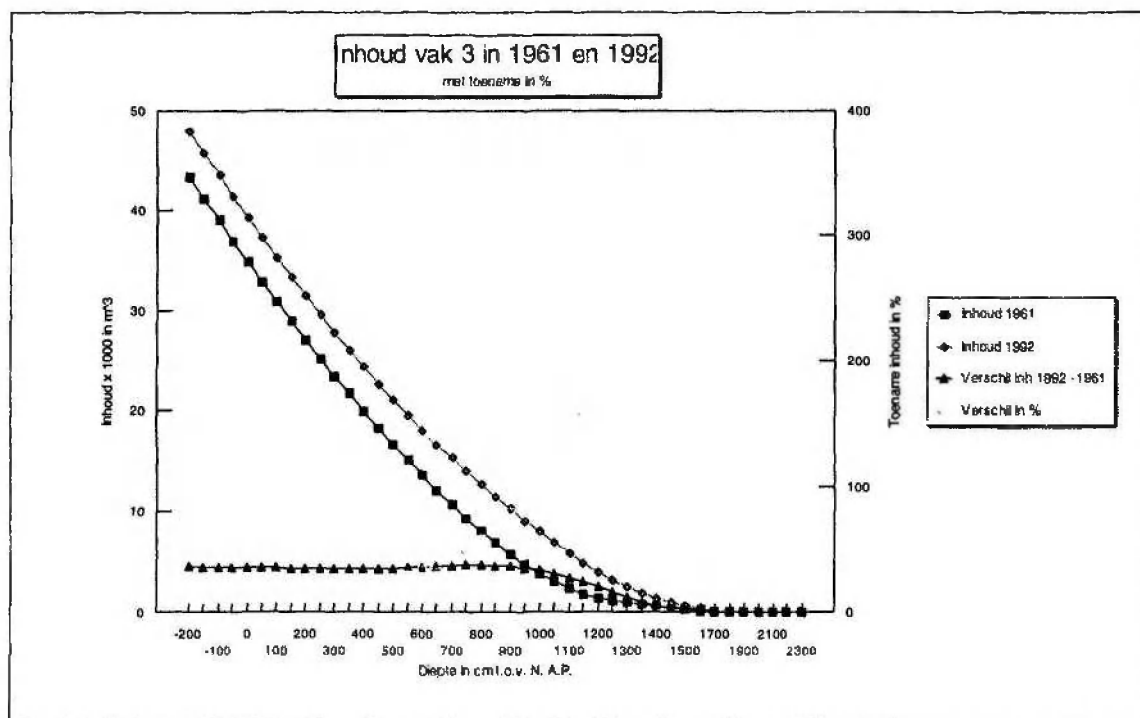


Fig 13. Inhoud vak 3.

Diepte t.o.v. N.A.P. in m	Oppervlakte 1961	Inhoud 1961	Oppervlakte 1992	Inhoud 1992
-2	4428	43395	4502	47968
-1.5	4340	41205	4409	45742
-1.	4273	39052	4320	43560
-0.5	4182	36939	4210	41423
0	4111	34866	4136	39337
0.5	4007	32831	4049	37288
1	3924	30845	3981	35280
1.5	3813	28906	3899	33308
2	3746	27015	3774	31390
2.5	3566	25162	3680	29528
5	3202	16674	3064	21050
7.5	2603	15091	2599	13998
10	1680	3814	2216	7979
15	208	475	460	718
20	1	0	12	10

Tabel 4. Vak 3: Oppervlakte $\times 10^3$ in m^2 , Inhoud $\times 10^3$ onder niveau in m^3 .

Oppervlakte en inhoud vak 3

In fig 12 is de oppervlakte van vak 3 per niveau weergegeven. In fig. 13 wordt de inhoud weergegeven.

De oppervlakte boven N.A.P.-8 m is niet noemenswaardig veranderd. Onder dit niveau is de oppervlakte toegenomen. De grootste toename zit rond N.A.P. -13 m, waar de oppervlakte met een factor 2.5 is toegenomen.

De inhoud is tussen 1961 en 1992 ook toegenomen. De toename tot ca. 10 m diepte is vrijwel constant, daaronder heeft dus de uitruiming plaats gehad.

Drempeldiepten vak 3

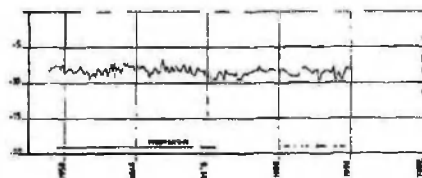


Fig 14. drempeldiepte Krankeloon

De drempeldiepte op de Drempel van Krankeloon bedraagt de gehele periode rond 8 m -gliws.

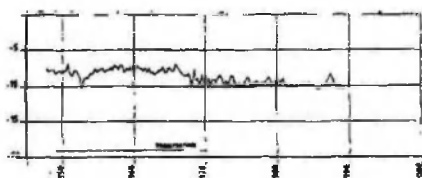


Fig 15. Drempeldiepte draaiende sluis

De drempeldiepte op de Drempel van draaiende sluis bedroeg tot 1968 7.5 m en varieert sindsdien tot heden tussen -9 en -10 m.

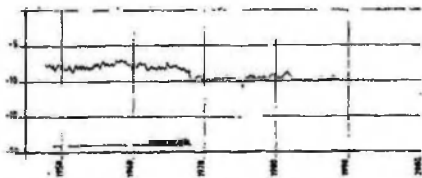


Fig 16. Drempeldiepte Oosterweel

De diepte van de Drempel van Oosterweel bedroeg tot 1968 ca 7.5 m. Vanaf 1968 tot heden bedraagt de diepte bijna 10 m.

Baggeren en storten vak 3.

Tot 1969 werd op de drempel van Krankeloon een hoeveelheid van 0.3 miljoen m^3 gebaggerd. Tussen 1981 en het einde van de periode werd gem 0.2 miljoen m^3 per jaar gebaggerd. Op de Drempel van draaiende sluis is tot 1970 gem 0.2 miljoen m^3 per jaar gebaggerd. Op de Drempel van Oosterweel is tot aan 1968 een hoeveelheid van $0.1 m^3 \times 10^6$ per jaar gebaggerd. Na resp. 1970 en 1968 hebben op beide lokaties geen baggeractiviteiten meer plaatsgehad.

Op de Plaat van Boomke is tussen 1984 en 1989 een hoeveelheid van ca. 0.4 miljoen m^3 per jaar gestort.

Balans vak 3

Het inhoudsverschil op N.A.P. tussen 1961 en 1992 bedraagt $39.3 - 34.9 = 4.4$ miljoen m^3 .

Baggeren en storten 1961 tm 1992:

Gebaggerd op Drempel van Krankeloon, Drempel van draaiende sluis en de Drempel van Oosterweel :	5.8 miljoen m^3 .
Gestort op de Plaat van Boomke:	2.7 miljoen m^3 .

Verschil tussen baggeren en storten, dus netto onttrokken aan de rivier,	3.1 miljoen m^3 .
Omerekend naar het tijdvak 1962 - 1992: $32/30 \times 3.1 = 3.3$ miljoen m^3	

Omerekend vanuit middelen van vervoer naar reële hoeveelheid: $0.83 \times 3.3 = 2.8$ miljoen.

Uitgaande van deze cijfers kan worden geconcludeerd dat $4.4 - 2.8 = \text{ca } 1.5$ miljoen m^3 langs natuurlijke weg is geëxporteerd naar elders.

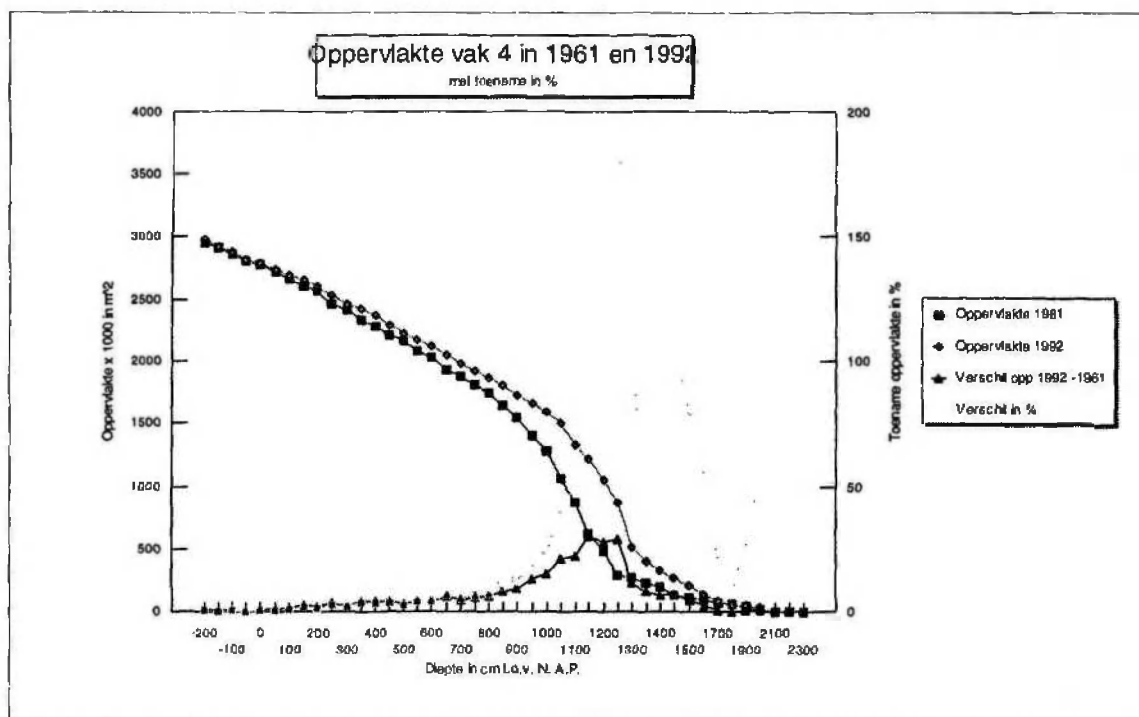


Fig 17. Oppervlakte vak 4.

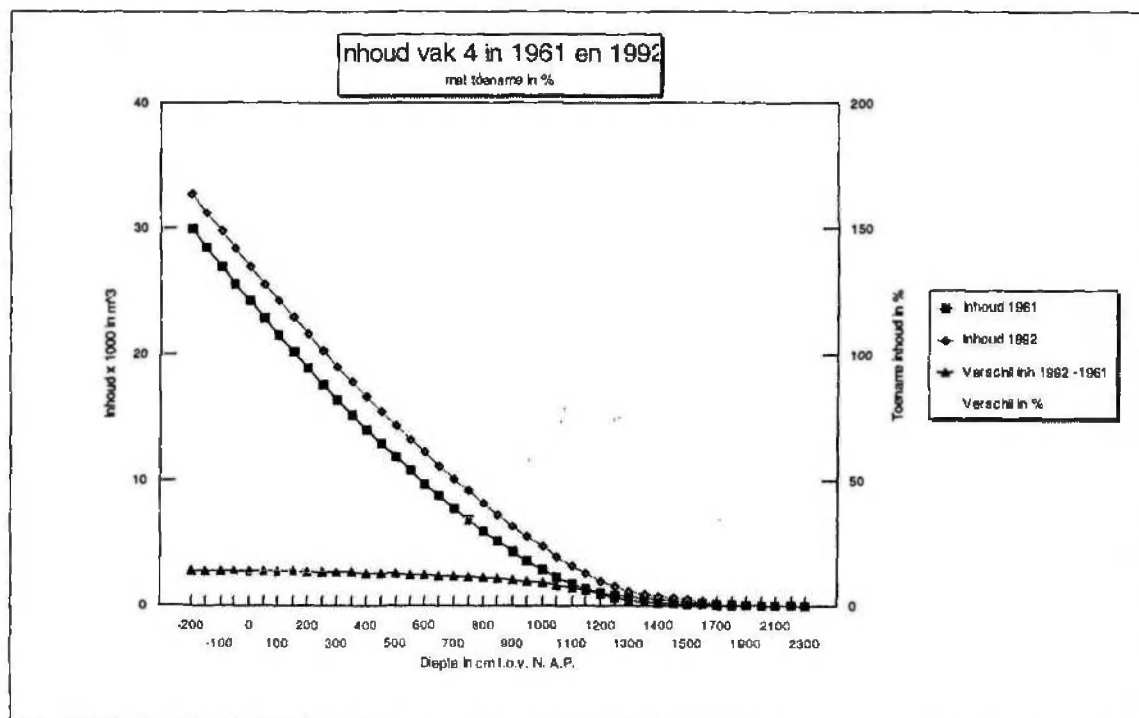


Fig. 18. Inhoud vak 4.

Diepte t.o.v. N.A.P. in m	Oppervlakte 1961	Inhoud 1961	Oppervlakte 1992	Inhoud 1992
-2	2954	29919	2979	32710
-1.5	2090	28455	2921	31238
-1.	2865	27012	2881	29788
-0.5	2815	25592	2822	28363
0	2775	24196	2792	26961
0.5	2719	22820	2741	25579
1	2668	21471	2704	24216
1.5	2603	20149	2657	22876
2	2564	18855	2610	21559
2.5	2469	17587	2539	20270
5	2163	11790	2227	14306
7.5	2083	6816	1920	9109
10	1284	2848	1594	4691
15	119	335	211	489
20	22	7	34	24

Tabel 5. Vak 4: Oppervlakte in $m^2 \times 10^3$, Inhoud onder niveau in $m^3 \times 10^3$.

3.5 Vak 4

In dit gebied zijn geen werken uitgevoerd die noemenswaardige invloed op de geometrie gehad hebben. Wel is baggerwerk uitgevoerd op de Palingplaat en de Drempel van Burcht.

Inhoud vak 4

De oppervlakte van vak 4 is tot N.A.P. - 8 m met enkele procenten toegenomen. Daaronder is de toename veel sterker, rond N.A.P. -12 m is de oppervlakte verdubbeld.

De inhoud is tot ca. N.A.P. -8 m met zo'n 3 miljoen m^3 toegenomen. Daaronder is de toename minder. Dit wil zeggen dat de inhoudstoename onderin het profiel heeft plaatsgevonden.

Drempeldiepte vak 4

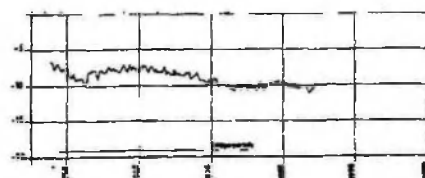


Fig 19. Drempeldiepte Palingplaat

Van de drempel bij de Palingplaat bedraagt de drempeldiepte nam tussen 1961 en 1970 geleidelijk toe van 7.5 naar 10 m. Na 1970 blijft de drempeldiepte constant.

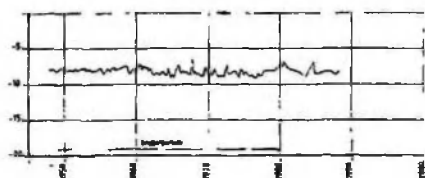


Fig 20. Drempeldiepte Burcht

Op de Drempel van Burcht bedraagt de diepte blijft over het hele tijdvak constant ca. 8 m.

Baggeren en storten vak 4.

Tot aan het het begin van de '70 jaren is bij de Palingplaat baggerwerk uitgevoerd, waarbij ca. 0.1 miljoen m³ per jaar aan sediment werd gewonnen.

Op de Drempel van Burcht is tot 1980 ca 0.1 miljoen m³ per jaar gebaggerd.

In vak 4 werden geen noemenswaardige hoeveelheden gestort.

Balans vak 4

Het inhoudsverschil op N.A.P. tussen 1961 en 1992 bedraagt $26.9 - 24.1 = 2.8$ miljoen m³.

Bij het onderhoudsbaggerwerk op bij de Palingplaat en op de Drempel van Burcht is 2 miljoen m³ sediment vrijgekomen. Deze hoeveelheid sediment is niet teruggestort in de rivier.

Omgerekend vanuit middelen van vervoer naar reële hoeveelheid: $0.83 \times 2 = 1.7$ miljoen m³.

De resulterende hoeveelheid $2.8 - 1.7 =$ ruim 1 miljoen m³ sediment moet dus langs natuurlijke weg naar elders afgevoerd zijn.

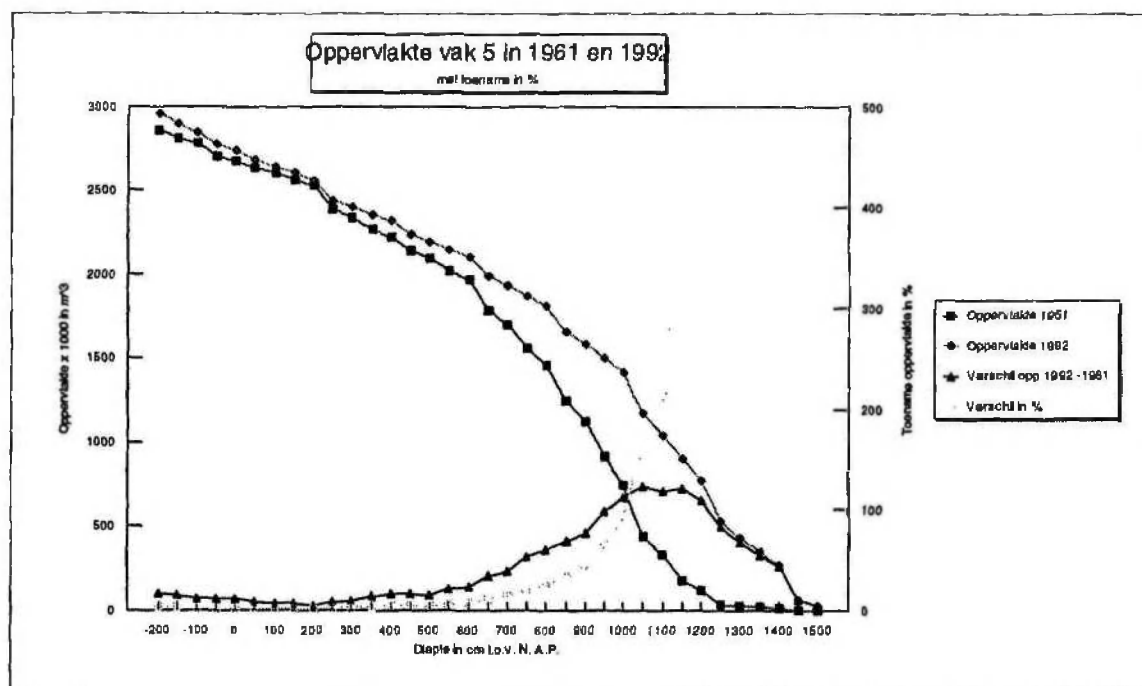


Fig 21. Oppervlakte vak 5.

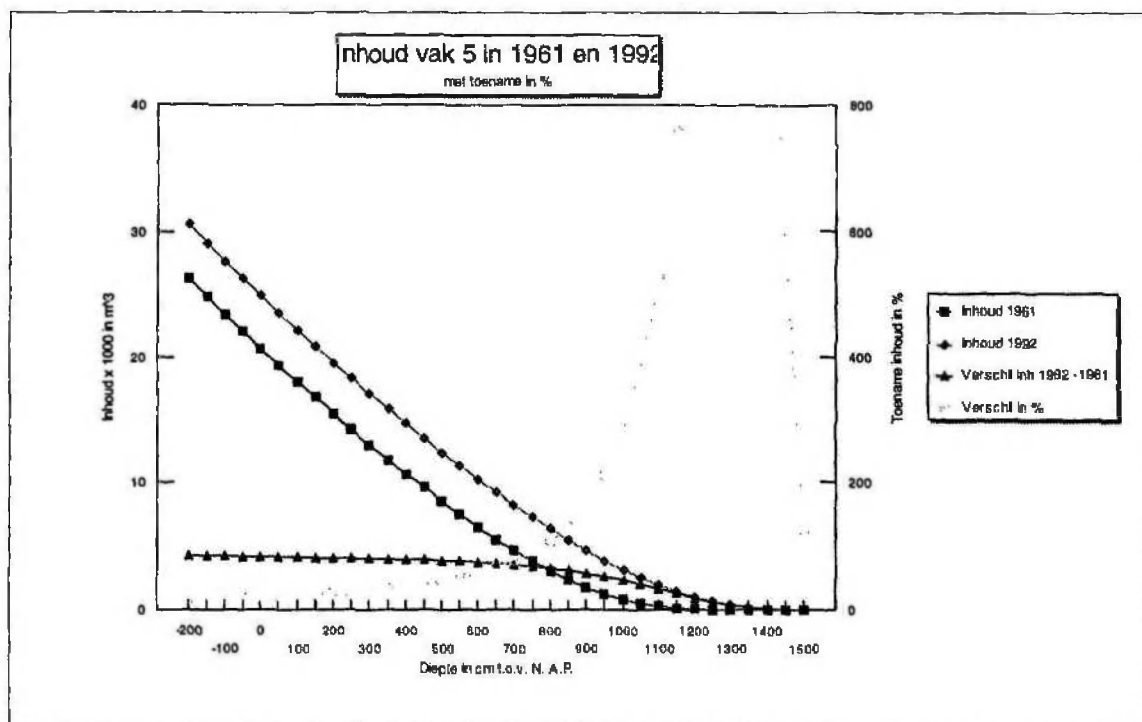


Fig 22. Inhoud vak 5..

Diepte t.o.v. N.A.P. in m	Oppervlakte 1961	Inhoud 1961	Oppervlakte 1992	Inhoud 1992
-2	2856	26112	2957	30435
-1.5	2805	24698	2894	28977
-1.	2776	23303	2847	27542
-0.5	2699	21935	2771	26142
0	2670	20592	2740	24765
0.5	2631	19267	2681	23412
1	2599	17959	2641	22081
1.5	2559	16668	2599	20772
2	2533	15396	2562	19482
2.5	2386	14145	2438	18228
5	2101	8519	2196	12400
7.5	1558	3824	1874	7284
10	744	836	1419	3170
15	1	5	26	11

Tabel 6. Vak 5: Oppervlakte x 10^3 in m^2 , Inhoud onder niveau x 10^3 in m^3

3.6. Vak 5.

Dit vak loopt van de stroomopwaartse begrenzing van vak 4 tot stroomafwaarts van het splitsingspunt van de Schelde en de Rupel. Werken die noemenswaardige invloed op de geometrie gehad hebben, zijn in dit vak niet uitgevoerd. Baggeren en storten van betekenis heeft binnen dit vak niet plaatsgehad

Oppervlakte en inhoud vak 5.

In fig. 21 en fig. 22 is de oppervlakte en inhoud van vak 5 weergegeven. Evenals van de overige vakken is de oppervlakte en de inhoud van vak 5 toegenomen. De oppervlakte hoger dan N.A.P. - 6 m is vrijwel gelijk gebleven. Onder dit niveau tot aan de maximale diepte is de oppervlakte fors toegenomen, het sterkst rond N.A.P. -11 m.

De inhoud is over het hele dieptebereik met een vrijwel constante hoeveelheid toegenomen. Dit wil zeggen dat de inhoudstoename in hoofdzaak onder in het profiel heeft plaatsgehad.

Balans vak 5

Het inhoudsverschil over 1961 - 1992 bedraagt: $24.7 - 20.6 = 4.1$ miljoen m^3 .

In dit vak hebben voorzover bekend geen bagger- en of stortactiviteiten plaatsgehad, zodat de hoeveelheid van 4 miljoen m^3 sediment langs natuurlijke weg naar elders moet zijn afgevoerd.

3.7. Oppervlakte en inhoud totale gebied.

In tabel 6 zijn ten opzichte van het N.A.P. niveau voor het gehele gebied de inhoud, oppervlakte en gemiddelde diepte van de beide jaargangen vermeld met de absolute en procentuele toename.

Jaar	Inhoud in $m^3 \times 10^3$	Oppervlakte in $m^2 \times 10^3$	gemiddelde diepte
1992	240397	24568	9.8
1961	188463	23518	8.0
Toename (absoluut)	51934	1050	1.8
Toename (in %)	27.6 %	4.5%	

Tabel 6. Inhoud en oppervlakte Zeeschelde op N.A.P. vlak.

Het blijkt dat de inhoud van de Zeeschelde met 27.5 % is toegenomen en de oppervlakte op N.A.P. met 4.5 %. Dit heeft geresulteerd in een toename van de gemiddelde diepte t.o.v. N.A.P. van 8 m naar 9.8 m.

3.8. Totalen onderhoudsbaggeren en -storten.

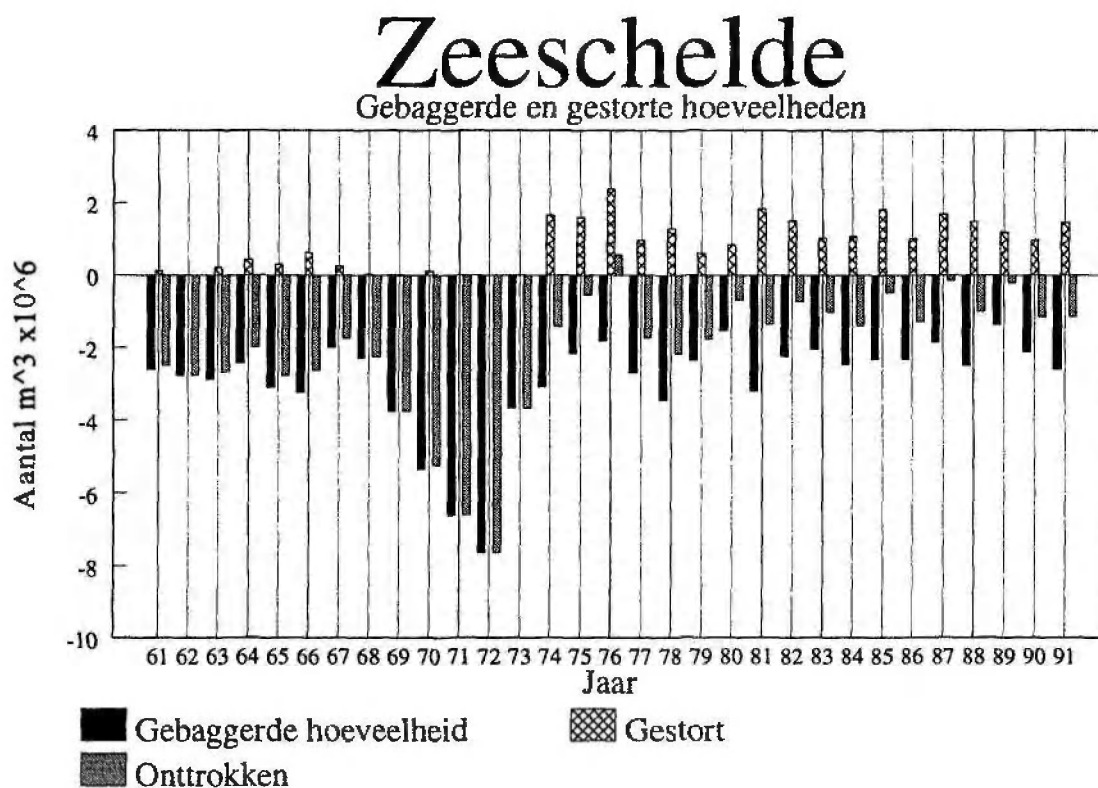


Fig 23 Totaal gebaggerde, gestorte en onttrokken hoeveelheden m

In fig. 23 staan de totale gebaggerde en gestorte hoeveelheden sediment op de Zeeschelde over het tijdvak 1961 tot en met 1992 weergegeven. Deze hoeveelheden hebben alleen betrekking op onderhoudsbaggerwerk. De hoeveelheden die zijn gebaggerd en gestort voor de aanleg van toeleidinggeulen voor sluizen, voor bochtveruiming enz. zijn hierbij niet vermeld.

In de grafiek staat de hoeveelheid gebaggerd materiaal die niet in de rivier is teruggestort vermeld als onttrokken. Het blijkt dat veel meer materiaal elders is verwerkt, bijvoorbeeld voor de aanleg van haventerreinen, dan dat is teruggestort in de rivier. Tot 1968 werden jaarlijks gemiddeld zo'n 2 miljoen m³ sediment gebaggerd, waarvan jaarlijks enkele honderdduizenden m³ werden teruggestort. Gedurende de jaren 1969 tot 1973 zijn grote hoeveelheden voor de verruiming van de vaarweg gebaggerd. Vrijwel al het daarbij vrijgekomen materiaal is elders verwerkt.

Vanaf 1974 wordt jaarlijks tussen 2 en 3,5 miljoen m³ sediment gebaggerd, waarvan per jaar 1 à 2 miljoen m³ wordt teruggestort in de rivier.

De in fig 23 weergegeven hoeveelheden staan ook vermeld in tabel 7.

Jaar	Gebaggerd	Gestort	Onttrokken
1961	2.62	0.12	2.50
1962	2.77	0.01	2.77
1963	2.98	0.20	2.68
1964	2.43	0.45	1.99
1965	3.10	0.31	2.79
1966	3.25	0.62	2.63
1967	2.00	0.26	1.75
1968	2.28	0.03	2.25
1969	3.77	0.02	3.76
1970	5.36	0.11	5.26
1971	6.62	0.01	6.62
1972	7.64	0.00	7.64
1973	3.67	0.00	3.67
1974	3.08	1.67	1.41
1975	2.16	1.61	0.55
1976	1.82	2.38	-0.56
1977	2.71	0.98	1.73
1978	3.45	1.29	2.16
1979	2.36	0.60	1.76
1980	1.54	0.83	0.71
1981	3.20	1.84	1.36
1982	2.25	1.51	0.74
1983	2.05	1.02	1.02
1984	2.46	1.07	1.39
1985	2.31	1.83	0.48
1986	2.31	1.01	1.30
1987	1.85	1.70	0.15

1988	2.50	1.49	1.01
1989	1.39	1.19	0.20
1990	2.13	0.96	1.16
1991	2.61	1.46	1.15

Tabel 7. Totaal gebaggerde en gestorte hoeveelheden

In totaal is over het tijdvak 1961 tot 1991 gebaggerd:
gestort:

90.6 miljoen m³
26.6

Onttrokken:

64.0 miljoen m³

4. Tenslotte.....

4.1. Zandbalans.

In bijlage 4 is de zandbalans van het hele gebied weergegeven met de netto hoeveelheden sediment die de vakgrenzen zijn gepasseerd.

Het blijkt dat in de vakken 1 en 2 langs natuurlijke weg import van sediment heeft plaatsgehad en in de vakken 3, 4 en 5 export. Over het totale gebied gerekend is een hoeveelheid van 19.5 miljoen m³ van elders aangevoerd.

Een aanname van een aanvoer van stroomopwaarts tussen de 0 en 10 miljoen m³, resulteert in een aanvoer van stroomafwaarts van tussen 10 en 20 miljoen m³. Bij de vakgrenzen zijn de daaruit berekende gepasseerde hoeveelheden vermeld.

4.2. Aanbeveling.

De berekeningen voor dit werkdocument zijn uitgevoerd aan de hand van tot nu toe bekende gegevens. Zo ontbreken de hoeveelheden sediment die zijn vrijgekomen bij de aanleg van de toegangseu len van verschillende sluizencomplexen. De plaatgebieden op de Zeeschelde zijn ook niet altijd volledig opgenomen.

De gebieden waarvan de gegevens ontbreken zijn of niet in de berekening meegenomen of er is een schatting gemaakt van de diepteligging.

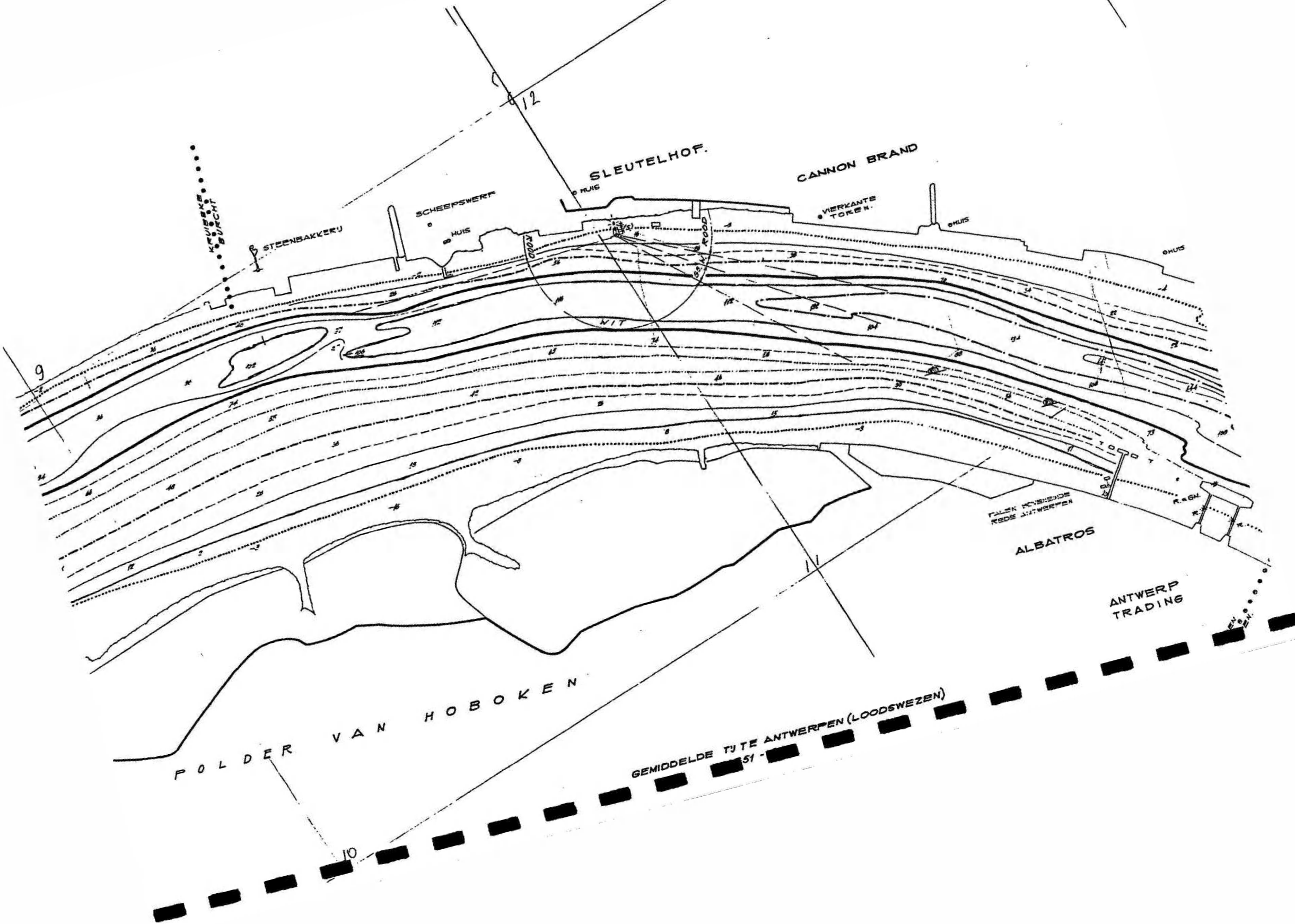
Als elders nog nadere gegevens beschikbaar zijn, kan dit misschien nog leiden tot een vollediger en / of nauwkeuriger berekening.

Literatuurlijst.

1. Uit den Bogaard L.A. , 'Resultaten Zandbalans Westerschelde 1955 - 1993', rapport R95-08, Rijksuniversiteit Utrecht, Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek Utrecht, februari 1995
2. TNO-TPD Handleiding DIGIBEELD.
3. Van Dam D, & C.J. Quartel: 'Zandhuishouding en drempeldiepten in de Westerschelde 1985 t / m 1990', Notitie NWL-92.29, Rijkswaterstaat, directie Zeeland. April 1992.

Bijlagen:

1. Voorbeeld dieptekaart
2. Werkdocument RIKZ/ABD-94.856x.
3. Kaartjes per vak met bodemligging 1961 en 1992 met verschildieptekaart.
4. Zandbalans Zeeschelde van Rupelmonde tot de Nederlandse grens.



Werkdocument

Afdeling van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren)

Aan
Oostwest

Van
G.P. Bollebakker, K. Hendrikse, C. vd. Male
Datum
26 juli 1994
Nummer
RIKZ/ABD-94.856x
Onderwerp
Bodemligging Zeeschelde

Doorkiesnummer
01180-72316
Bijlagen
Project
OOSTWEST

1. Inleiding.

In het project OOSTWEST vindt studie plaats naar de ontwikkeling en het herstel van de fysische en ecologische structuur van het Schelde-estuarium. In dit kader zijn in OOSTWEST een aantal mogelijkheden aangegeven, o.a. kombergingsvergroting langs de Zeeschelde. Om de invloed op de waterbeweging en de effectiviteit van deze maatregelen en de gevolgen van bijvoorbeeld de toekomstige verdieping van de Westerschelde te onderzoeken worden getijsimulaties uitgevoerd met waterbewegingsmodellen. De modellen die hiervoor worden toegepast zijn een eendimensionaal model DUFLOW en een tweedimensionaal Waquamodel DETWES. De te nemen maatregelen worden in het model gebracht, waarna de relatieve veranderingen in de waterbeweging vastgesteld kunnen worden door vergelijking met de uitgangssituatie.

Om een en ander uit te kunnen voeren is het noodzakelijk dat ook de Zeeschelde (traject Rupelmonde - Nederlandse grens) volgens de actuele situatie is gemodelleerd. Concreet wil dit zeggen dat in het DUFLOW model de bodemligging, die dateert van ca. 1970, moet worden geactualiseerd. In DETWES is het Belgische deel van het estuarium slechts als bergingsgebied gemodelleerd. Dit is het model SCALDIS geworden. Het gedeelte Ned. grens tot Rupelmonde is gemodelleerd op een kromlijng netwerk, terwijl stroomopwaarts van Rupelmonde de Schelde schematisch, dus alleen als bergingsgebied, in het model is gebracht. De zeewaartse rand van SCALDIS komt te liggen op de lijn Zeebrugge - Westkapelle.

2. Herkomst dieptegegevens

De dieptegegevens die zijn gebruikt voor de aanpassingen van de Zeeschelde in de modellen zijn ontleend aan lodingen die in kaartvorm zijn aangeleverd door de Antwerpse Zeehavendienst. In de tabel wordt van deze kaarten een overzicht gegeven. De posities van

de op de kaarten voorkomende dieptecijfers zijn gedigitaliseerd. Op de kaarten is het Lambert72 coördinatenstelsel toegepast. Omdat het SCALDIS model is gemodelleerd in het RDV-stelsel, zijn alle gedigitaliseerde posities omgezet naar het RDV-coördinatenstelsel. Vanwege de relatief vrij grote onderlinge afstand tussen de dieptepunten, zijn in aanvulling op de dieptepunten ook een aantal isolijnen gedigitaliseerd. (Deze dieptelijnen zijn tevens opgenomen in ARC/INFO bestanden.)

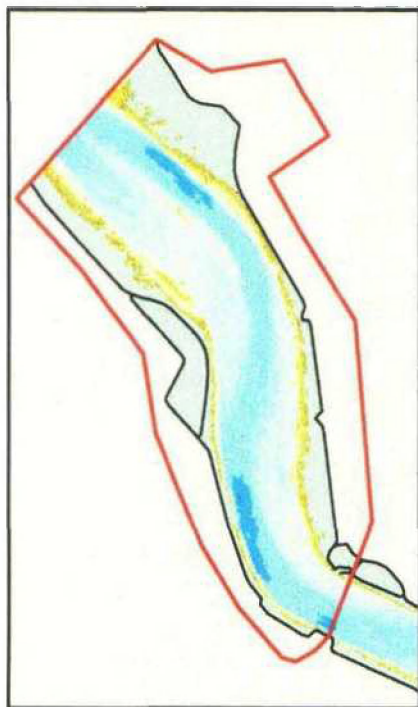
Van de hoger gelegen gedeelten, m.n. aan de randen van de geulen, zijn meestal geen dieptegegevens beschikbaar. Om te voorkomen dat in de schematisaties blanco gebieden zouden ontstaan is ook de kruinlijn van de dijken gedigitaliseerd. Ten behoeve van de interpolatie is deze lijn verondersteld te liggen op NAP + 4 m. (Hiervoor is niet de werkelijke kruinhoogte van NAP + 7 à 8 m genomen, anders zouden in de schematisatie de bedoelde gebieden systematisch te hoog komen te liggen.) De dieptecijfers op de kaarten zijn weergegeven t.o.v. LLWS of t.o.v. TAW. In de onderstaande tabel is van iedere kaart het toegepaste reductievlak t.o.v. NAP aangegeven. Voor de verwerking zijn alle dieptewaarden omgerekend naar het NAP vlak.

Tekeningnr	Gebied	Reductievlak	Opnameperiode
C3-800	Saeftinge - Doel	NAP - 2.70m	Maart 1992
C3-815	Doel - Filip	NAP - 2.60m	April 1992
C3-578	Filip-Oosterweel	NAP - 2.60m	juli 1991
C3-553	Rede Antwerpen	NAP - 2.60m	juni 1991
C3-10023	Rupelmonde	NAP - 2.30m	mei-juni 1989

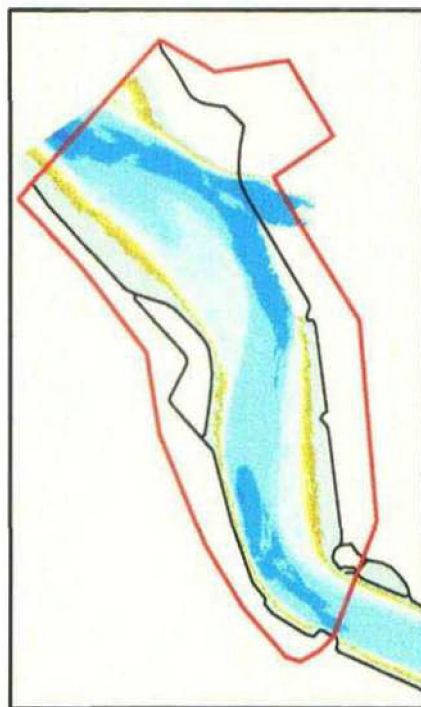
Tabel. Overzicht lodingkaarten Zeeschelde.

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grensloperweg 31

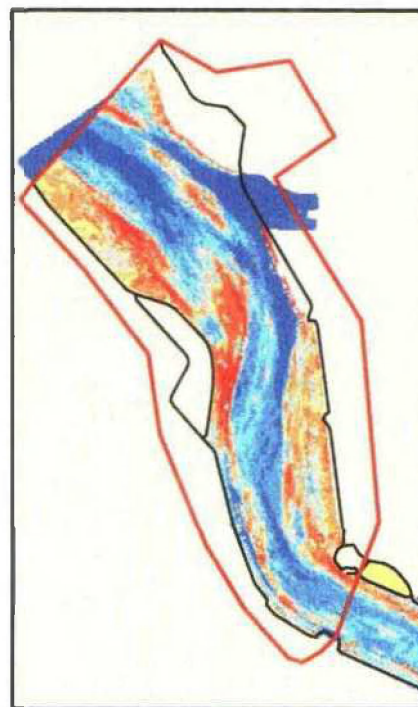
Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16900



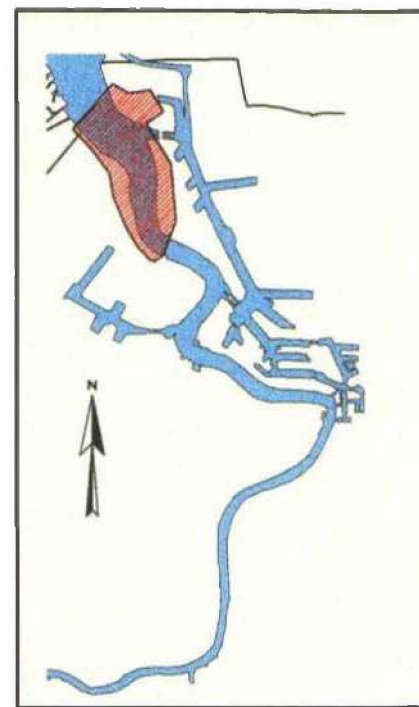
Bodemligging 1961



Bodemligging 1992



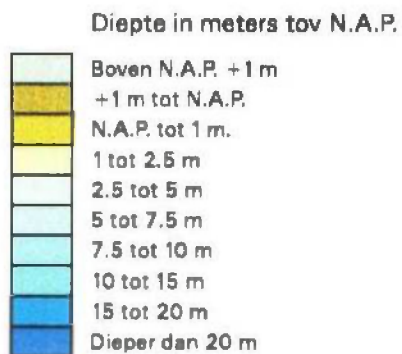
Verschildiepte 1992 - 1961



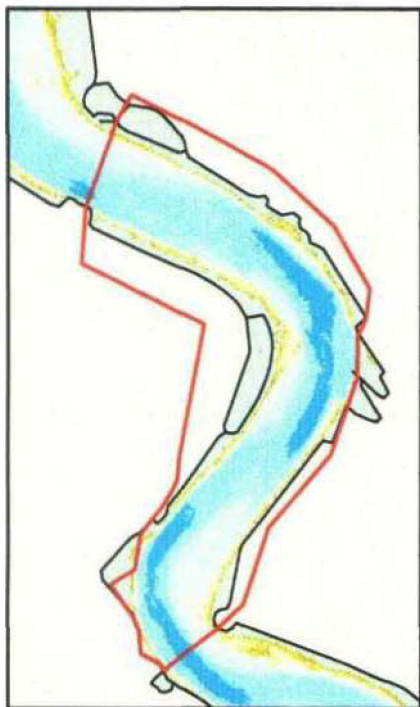
Zeeschelde Rupelmonde - Ned. grens

ZEESCHELDE vak 1

Bodemligging in 1961 en 1992
met verschildieptekaart



Schaal 1:100000



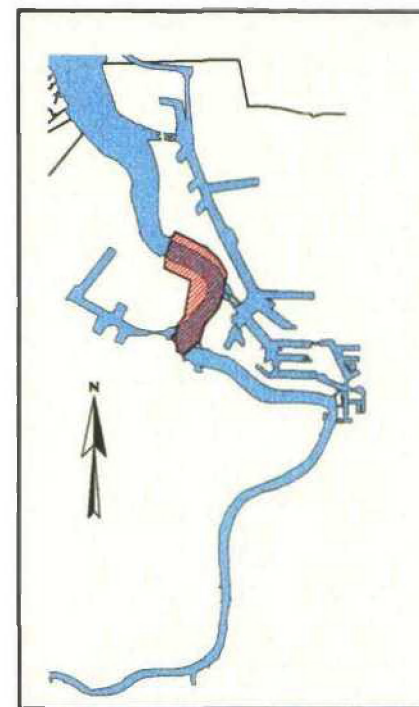
Bodemligging 1961



Bodemligging 1992



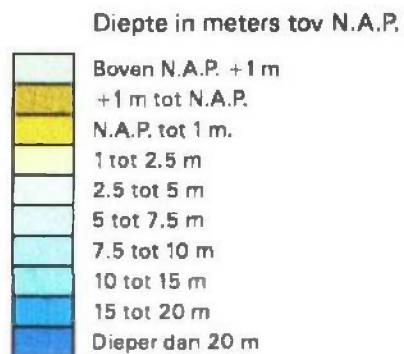
Verschildiepte 1992 - 1961



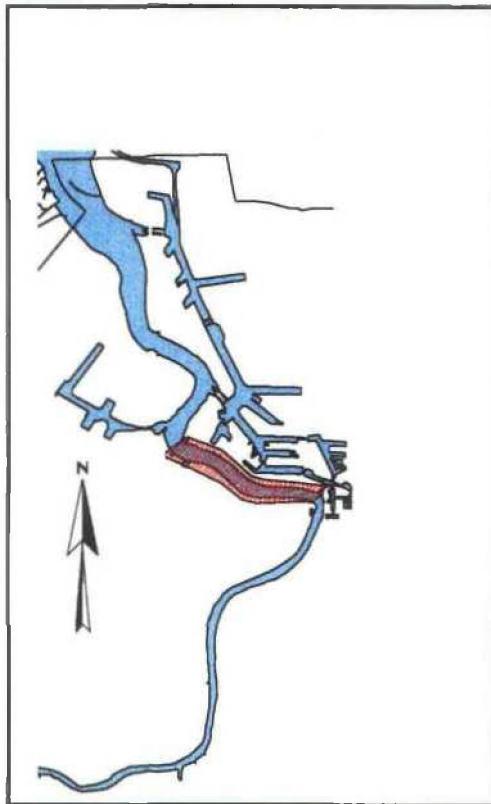
Zeeschelde Rupelmonde - Ned. grens

ZEESCHELDE vak 2

Bodemligging in 1961 en 1992
met verschildiepte kaart



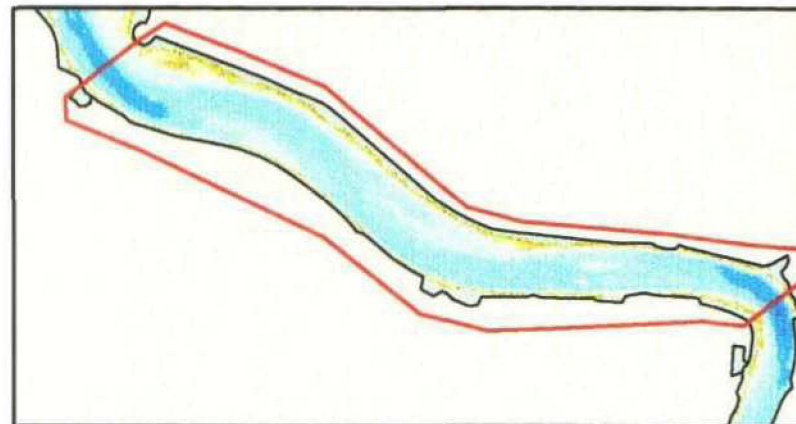
Schaal 1:75000



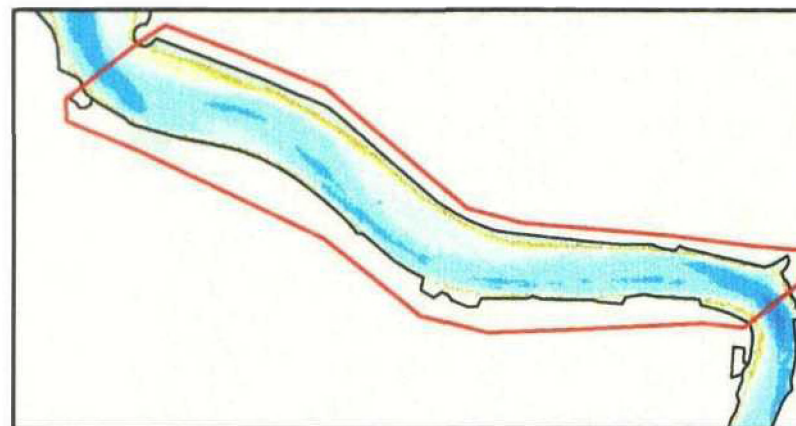
Zeeschelde Rupelmonde - Ned. grens

ZEESCHELDE vak 3

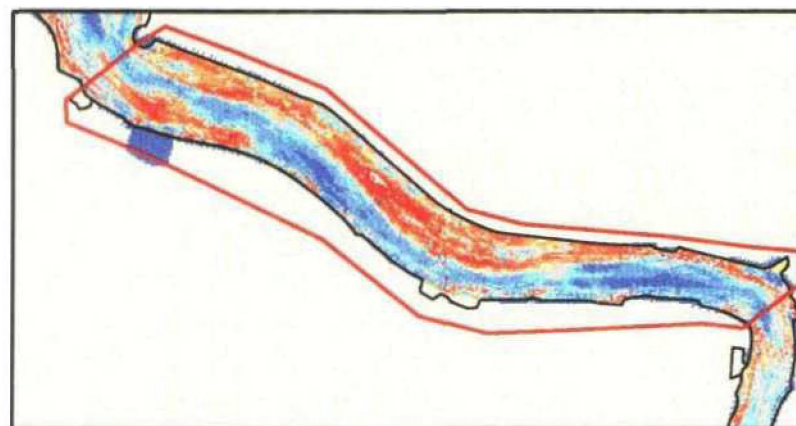
Bodemligging in 1961 en 1992
met verschildieptekaart



Bodemligging 1961



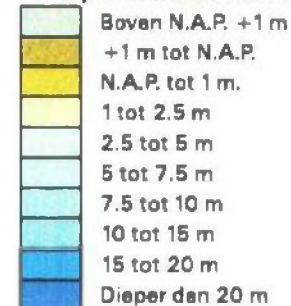
Bodemligging 1992



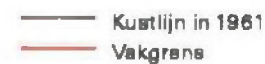
Verschildiepte 1992 - 1961

LEGENDA

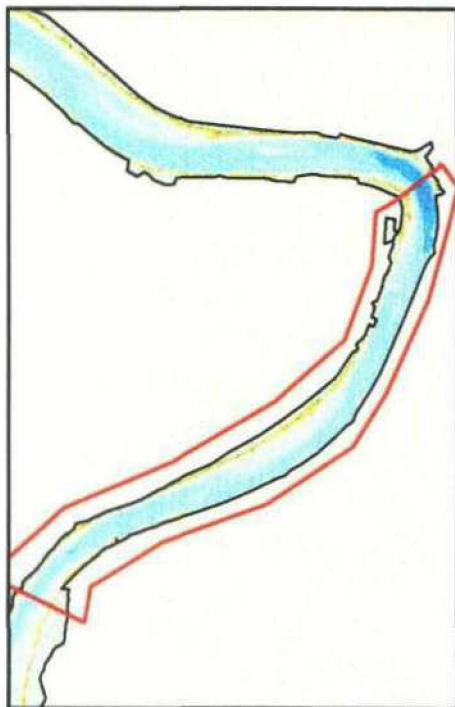
Diepte in meters tov N.A.P.



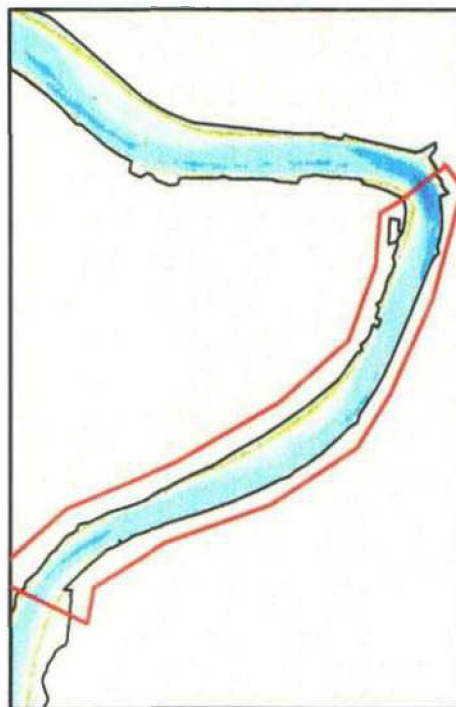
Verschildiepten in meters



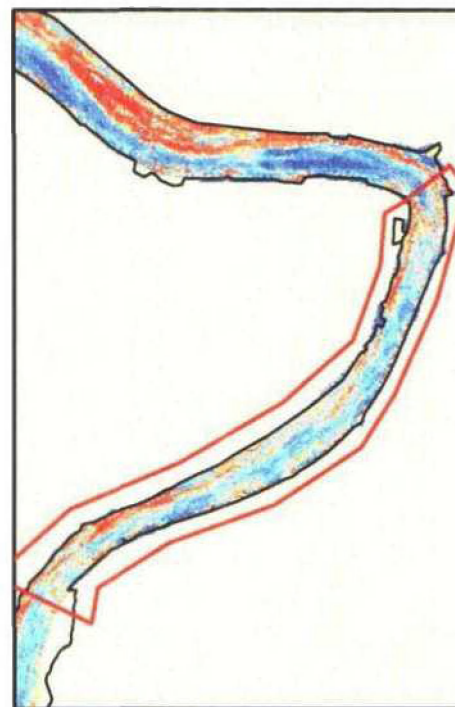
Schaal 1:75000



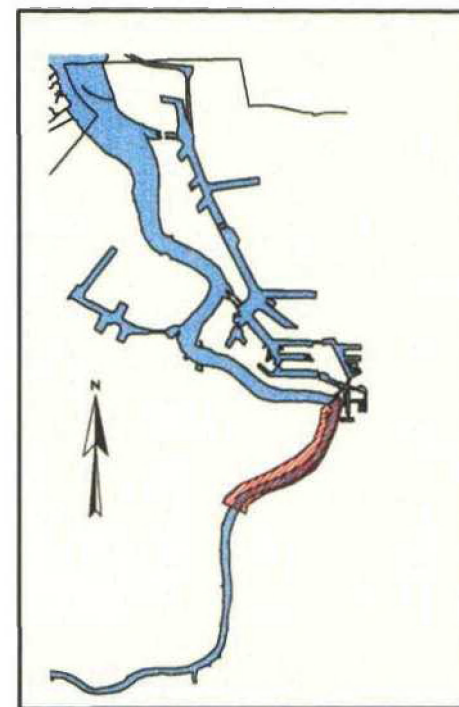
Bodemligging 1961



Bodemligging 1992



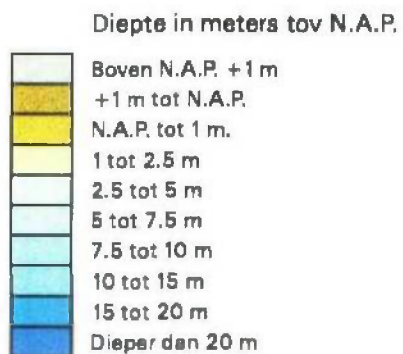
Verschildiepte 1992 - 1961



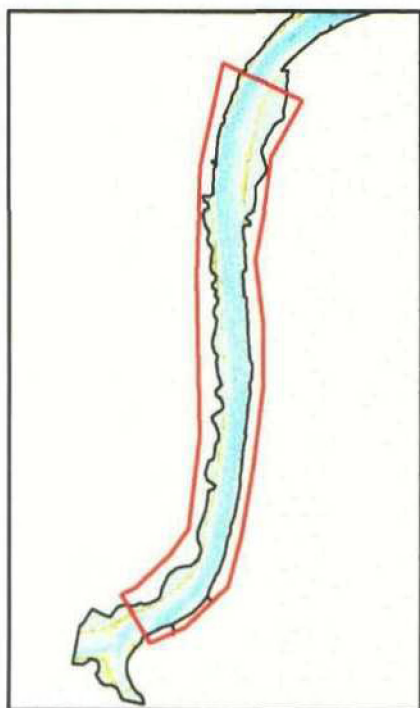
Zeeschelde Rupelmonde - Ned. grens

ZEESCHELDE vak 4

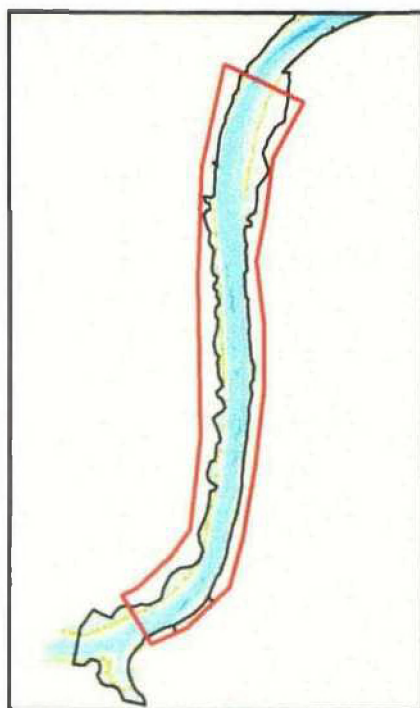
Bodemligging in 1961 en 1992
met verschildieptekaart



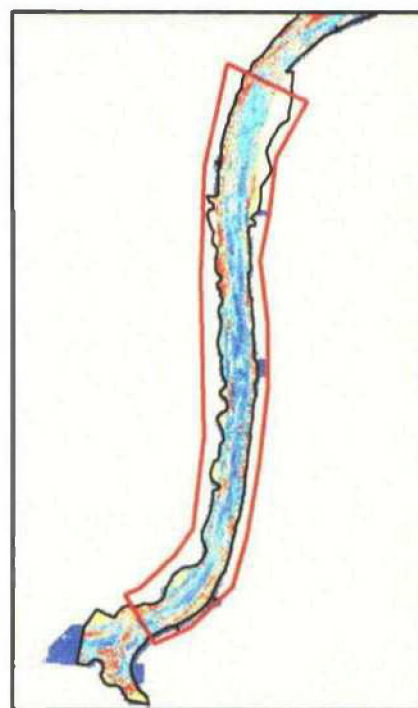
Schaal 1:90000



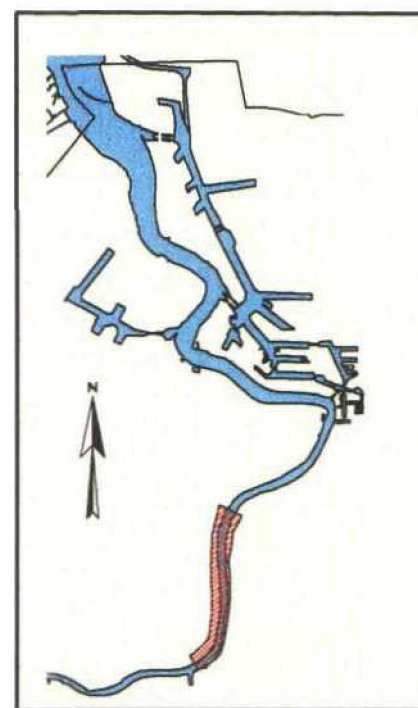
Bodemligging 1961



Bodemligging 1992



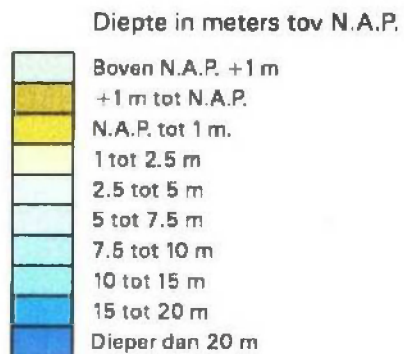
Verschildiepte 1992 - 1961



Zeeschelde Rupelmonde - Ned. grens

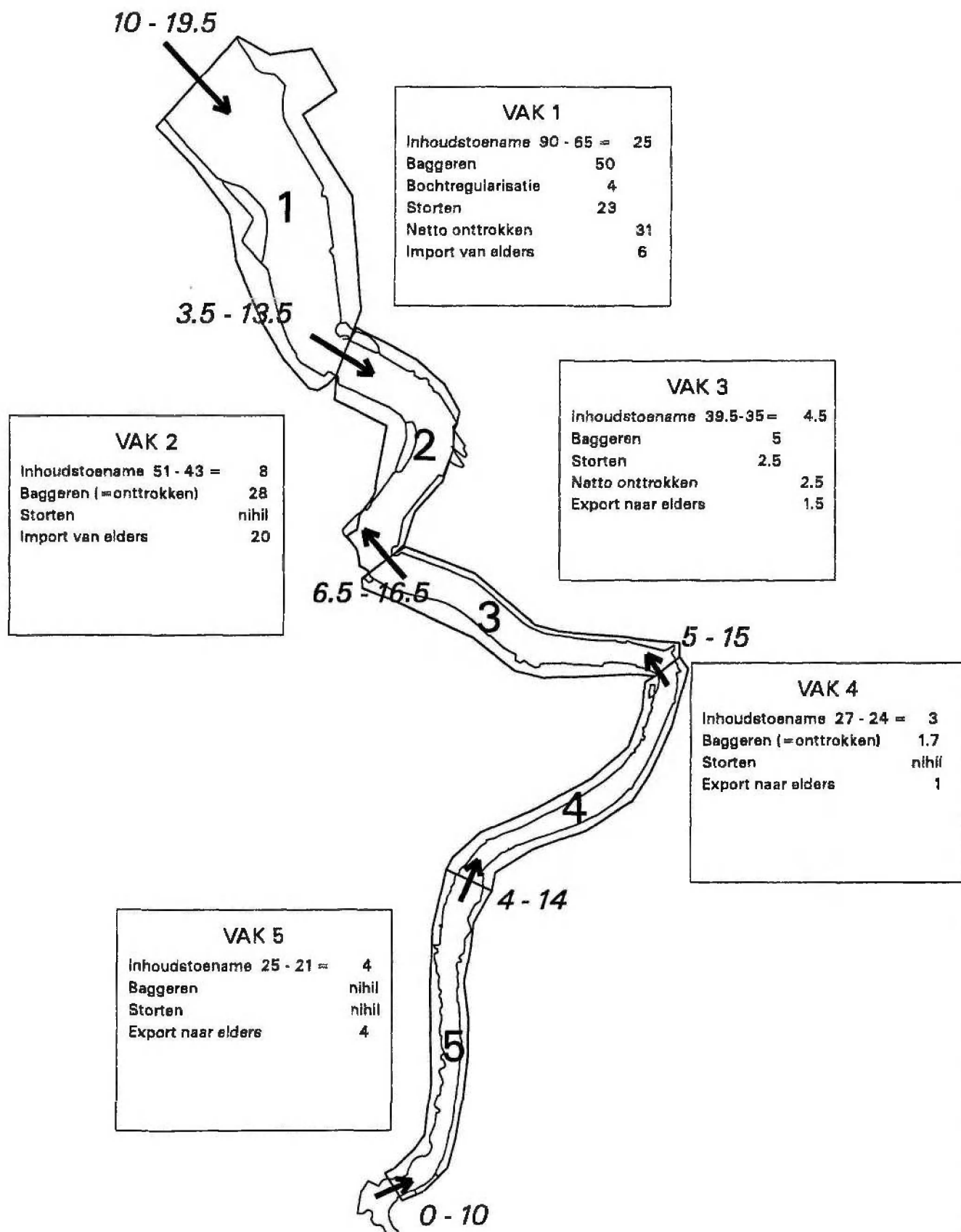
ZEESCHELDE vak 5

Bodemligging in 1961 en 1992
met verschildieptekaart



Schaal 1:100000

Zandbalans ZEESCHELDE Rupelmonde - Ned. grens 1961 - 1992



10 - 23 → Vermelde hoeveelheden in miljoen m³
onder- en bovengrens import of export
naar naastgelegen vak