

53

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT
DIRECTORAAT-GENERAAL RIJKSWATERSTAAT
RIJKSINSTITUUT VOOR KUST EN ZEE / RIKZ

K2005*WSMOND

**ZANDBALANS WS-MOND
BELGISCH GEDEELTE**

RAPPORT

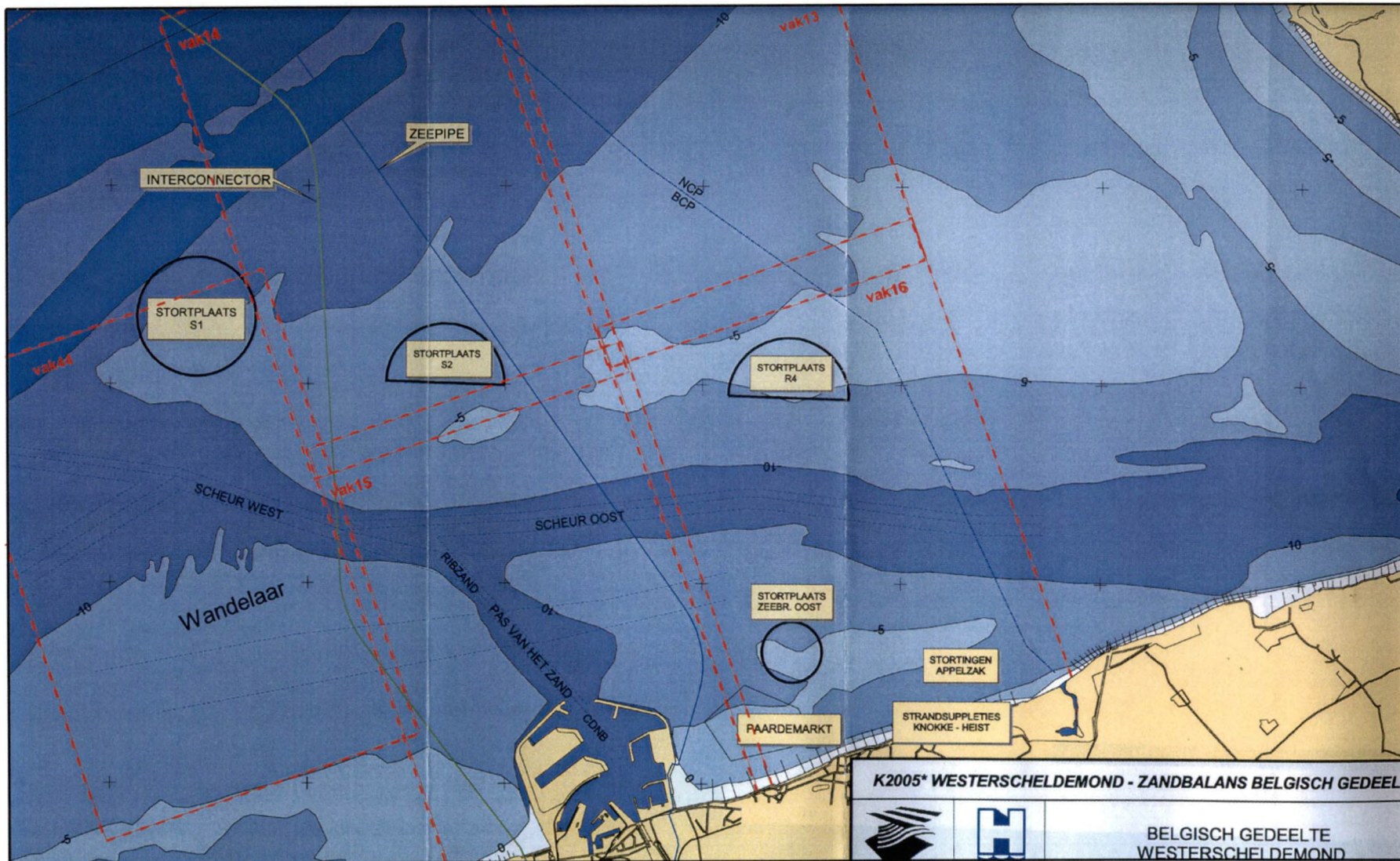
NST2155
25



HAECON

Harbour & Engineering Consultants
Deinsesteenweg 110 - 9031 Drogen

D





Aan
Geadresseerde

| | |
|---------------------------------------------------------------|----------------|
| Contactpersoon | Doorkiesnummer |
| ir. C.G. Israël | 070-3114303 |
| Datum | Bijlage(n) |
| 15 december 2000 | 1 |
| Ons kenmerk | Uw kenmerk |
| RIKZ/OS | - |
| Onderwerp | Project |
| Aanbieding rapport: 'Zandbalans WS-mond Belgisch gedeelte' | K2005*Wsmond |

Geachte heer/mevrouw,

Binnen het project K2005*Wsmond, dat onderdeel uitmaakt van het landelijk programma KUST2005, wordt onderzoek verricht naar de zandhuishouding in de Westerscheldemond in interactie met de aangrenzende gebieden. Om een indruk te verkrijgen van de opgetreden grootschalige morfologische veranderingen in de Westerscheldemond is een zandbalans van dit gebied opgesteld. Hiertoe is de volgende formulering toegepast:

Totale (water)inhoudsverandering = (netto inhoudsverandering t.g.v. ingrepen) + export

In het rapport 'Zandbalans Westerschelde en Monding' (De Jong, 2000) van Directie Zeeland komt naar voren dat de monding in de periode 1965-1997 netto zand verliest. In deze studie zijn voor het *Belgische gedeelte* van de Westerscheldemond de menselijke ingrepen (storten, baggeren en zandwinnen) echter niet verdisconteerd, waardoor het niet mogelijk is een uitspraak te doen over de natuurlijke im- en export van het gebied. Met name de ingrepen rond de uitbouw van de haven van Zeebrugge (1977-1986) en de verdieping van de vaargeulen naar Zeebrugge en de Westerschelde zijn van grote invloed geweest op de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond.

Door het ingenieursbureau HAECON uit Gent zijn de beschikbare Belgische bagger- en stortgegevens geïnventariseerd en is vervolgens op basis van Nederlandse lodingsgegevens een zandbalans opgesteld voor de lodingsvakken 13 t/m 16 en 44 (zie bijgevoegde figuur). Uit deze zandbalans komen de volgende conclusies naar voren:

- In de beschouwde periode (1976-1997) is het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond (lodingsvakken 13 t/m 16 en 44) met 210 Mm³ verdiept.
- Het stortoverschot (storten minus baggeren) bedroeg in deze periode 125 Mm³
- Voor de uitbreiding van de haven van Zeebrugge is een geschatte hoeveelheid van 50 Mm³ zand, afkomstig uit de monding, gebruikt (= zandwinning).
- Volgens de zandbalansformule resulteert dit in een export uit het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond van: $210 + (125-50) = 285 \text{ Mm}^3$ (over de periode 1976-1997)

Vestiging Den Haag
Postadres Postbus 20907, 2500 EX 's-Gravenhage
Bezoekadres Kortenaerkade 1

Telefoon 070 311 4311
Telefax 070 311 4321



Door de Westerscheldemond onder te verdelen in karakteristieke morfologische eenheden, waarbinnen vervolgens de netto-inhoudsverandering wordt bepaald, is het mogelijk om de totale verdieping van het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond (210 Mm³) nader te specificeren:

- 40 Mm³ is veroorzaakt door directe menselijke ingrepen (storten en baggeren).
- 49 Mm³ is te wijten aan natuurlijke processen die het directe gevolg zijn van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge (erosie voor de koppen van de havendammen als gevolg van stroomcontractie).
- 121 Mm³ is veroorzaakt door natuurlijke processen, die niet direct teruggebracht kunnen worden tot menselijk ingrijpen.

Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande analyse betrekking heeft op de *gemeten* inhoudsverandering. Of het sediment ook daadwerkelijk uit de Westerscheldemond is verdwenen, is nog maar de vraag. Geconsolideerde klei, die bij het verdiepen van de vaargeul naar Zeebrugge wordt weggebaggerd, kan bij het storten veranderen in een slibdeken. Als deze slibdeken vervolgens niet (of slechts gedeeltelijk) wordt gesignaleerd tijdens een echoloding, zal dit materiaal in de zandbalans verdisconteerd worden als export. In werkelijkheid kan het sediment nog steeds aanwezig zijn in het balansgebied. Zonder in-situ metingen is het daarom niet mogelijk om gefundeerde conclusies te trekken over de natuurlijke import en export van sediment.

Een ander aspect is het storten op de rand van het zandbalansgebied, zoals bij stortplaats S1 (zie figuur). Hierdoor verdwijnt weliswaar sediment uit het balansgebied, maar dit hoeft te betekenen dat het ook uit de Westerscheldemond, als morfologisch systeem, verdwijnt. Het verdient dus aanbeveling om de begrenzing van het zandbalansgebied uit te breiden, zodat het gehele morfologische systeem van de Westerscheldemond wordt gedekt.

In samenwerking met het project ZEEKENNIS zullen in 2001 de zandbalansen van de Westerscheldemond (omvattende het Nederlandse en Belgische gedeelte) en van de Westerschelde integraal geanalyseerd worden. Hierdoor kan meer inzicht worden verkregen in de grootschalige uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de monding.

Hoogachtend,

DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR
namens deze,
de projectleider K2005*WSmond,

ir. C. G. Israël

DOCUMENTCONTROLEBLAD

**MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT
DIRECTORAAT-GENERAAL RIJKSWATERSTAAT
RIJKSINSTITUUT VOOR KUST EN ZEE / RIKZ**

98935

K2005*WSMOND

**ZANDBALANS WS-MOND
BELGISCH GEDEELTE**

RAPPORT

NST2155
25

| Rev. | Datum | Omschrijving | PMW | PL | DHD | DIR | KLANT |
|------|----------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------|
| 3 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 1 | 15-11-00 | | T. De Mulder | S. Vermeire | B. Lahousse | C.P. De Meyer | RIKZ |
| 0 | 13-10-00 | Concept | T. De Mulder | S. Vermeire | B. Lahousse | C.P. De Meyer | RIKZ |



K2005*WSMOND ZANDBALANS WSMOND BELGISCH GEDEELTE

RAPPORT

INHOUDSTAFEL

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INLEIDING..... | 1 |
| 2 | AANPAK | 3 |
| 2.1 | DEFINITIE ZANDBALANS..... | 3 |
| 2.2 | LODINGEN..... | 3 |
| 2.3 | DIGITALE TERREINMODELLERING | 5 |
| 2.4 | INVENTARISATIE MENSELIJKE INGREPEN..... | 8 |
| 2.4.1 | <i>Baggerhoeveelheden</i> | <i>10</i> |
| 2.4.2 | <i>Storthoeveelheden</i> | <i>12</i> |
| 2.5 | SEDIMENTSAMENSTELLING..... | 13 |
| 3 | ANALYSE RESULTATEN PER VAK | 14 |
| 3.1 | WATERINHOUDSVERANDERINGEN..... | 14 |
| 3.2 | INGREPEN..... | 15 |
| 3.2.1 | <i>Baggeren</i> | <i>15</i> |
| 3.2.2 | <i>Storten</i> | <i>17</i> |
| 3.2.3 | <i>Netto ingrepen.....</i> | <i>18</i> |
| 3.3 | ZANDBALANS..... | 20 |
| 3.4 | INTERPRETATIE..... | 28 |
| 4 | ANALYSE RESULTATEN PER MORFOLOGISCHE EENHEID | 30 |
| 4.1 | DEFINITIE MORFOLOGISCHE EENHEDEN | 30 |
| 4.2 | WATERINHOUDSVERANDERING..... | 31 |
| 4.3 | INTERPRETATIE..... | 44 |
| 5 | CONCLUSIES | 49 |
| 6 | AANBEVELINGEN..... | 51 |
| 7 | LITERATUURVERWIJZINGEN | 52 |

BIJLAGEN

BIJLAGE A : WATERINHOUDSVERANDERINGEN PER VAK

BIJLAGE B : INVENTARISATIE BAGGER- EN STORTWERKZAAMHEDEN

BIJLAGE C : BAGGERHOEVEELHEDEN

BIJLAGE D : STORTHOEVEELHEDEN

BIJLAGE E : NETTO INGEPEN

BIJLAGE F : ZANDBALANS

BIJLAGE G : INHOUDSVERANDERINGEN PER MORFOLOGISCHE EENHEID

BIJLAGE H : KAARTEN



K2005*WSMOND ZANDBALANS WSMOND BELGISCH GEDEELTE

RAPPORT

1 INLEIDING

Binnen het project K2005*Wsmond, dat onderdeel uitmaakt van het programma KUST*2005 wordt o.a. onderzoek verricht naar de effecten van grootschalige menselijke ingrepen op de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond en de aangrenzende gebieden. Inzicht in deze effecten moet resulteren in een optimalisatie van beheersingrepen in de Westerscheldemond.

Om een indruk te krijgen van de opgetreden grootschalige morfologische veranderingen in de Westerschelde en de Westerscheldemond is door Rijkswaterstaat per lodingsvak over de laatste decennia een zandbalans opgesteld met uitzondering van lodingsvakken in het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond (vak 13 t/m 16 en 44, zie Figuur H1 in Bijlage H). Voor deze vakken is enkel de inhoudsverandering van de waterhoeveelheid bepaald. Deze is omgekeerd evenredig met de inhoudsverandering van de sedimenthoeveelheid in het lodingsvak.

Om een sluitende zandbalans te kunnen opstellen moet naast de inhoudsverandering rekening gehouden worden met menselijke ingrepen, zoals baggeren, storten en zandwinnen. Bij Rijkswaterstaat zijn echter geen of onvoldoende recente kwantitatieve gegevens voorhanden over Belgische ingrepen in de Westerscheldemond.

Vandaar dat Rijkswaterstaat aan Haecon de opdracht heeft gegeven (opdrachtbonnr. 22002195 d.d. 10-08-00) om deze ingrepen sinds 1970 te inventariseren en een zandbalans op te stellen en te interpreteren.

De aanpak voor deze studie wordt uiteengezet in Hoofdstuk 2. De zandbalans wordt bekeken per vak en voor de totaliteit van de vakken 13 t/m 16 en 44 in Hoofdstuk 3. Daarnaast worden ook een aantal morfologisch zinvolle eenheden in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond apart bekeken. De overeenkomstige resultaten worden geanalyseerd in Hoofdstuk 4. Samenvattende conclusies worden voorgesteld in Hoofdstuk 5 en aanbevelingen voor verder onderzoek vindt men in Hoofdstuk 6.

2 AANPAK

2.1 DEFINITIE ZANDBALANS

Door metingen (lodingen) kan in een bepaald watersysteem per rekenvak worden vastgesteld of de waterinhoud is toe- of afgenomen. Deze waterinhoudsverandering is omgekeerd evenredig aan de verandering in de sedimenthoeveelheid in het rekenvak.

Een sluitende zandbalans houdt in dat een inhoudsverandering van een rekenvak te wijten is aan het resulterend effect van menselijke ingrepen (baggeren, storten, zandwinnen) en natuurlijke export/import. In formulevorm kan dit weergegeven worden als :

Waterinhoudsverandering = netto ingrepen + netto export

Netto ingrepen = baggeren + zandwinning – storten

Netto export = export – import.

Om de zandbalans te kunnen opstellen dienen dus enerzijds waterinhoudsveranderingen bepaald te worden en anderzijds menselijke ingrepen geïnventariseerd te worden. Door het verschil te maken kan dan de natuurlijke export berekend worden :

Netto export = waterinhoudsverandering – netto ingrepen.

2.2 LODINGEN

Rijkswaterstaat heeft op 07-08-00 een CD-ROM overgemaakt aan Haecon met daarop de vaklodingen 13, 14, 15, 16 en 44 voor verschillende lodingsjaren. De lodingen zijn uitgedrukt ten opzichte van NAP.

Een overzicht van de beschikbare lodingen wordt gegeven in *Tabel 2-1*.

| lodingen | vakken | | | | |
|----------|--------|----|----|----|----|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 |
| jaar | | | | | |
| 1971 | | x | x | x | |
| 1972 | x | | | | |
| 1973 | | x | x | x | |
| 1974 | | | | | |
| 1975 | x | | x | x | |
| 1976 | | x | | | x |
| 1977 | | | x | x | x |
| 1978 | x | x | | | |
| 1979 | | x | x | x | x |
| 1980 | x | | | | |
| 1981 | x | x | x | x | x |
| 1982 | | | | | |
| 1983 | | | x | x | x |
| 1984 | | | | | |
| 1985 | x | x | x | x | x |
| 1986 | | | | | |
| 1987 | | | x | x | x |
| 1988 | | | | | |
| 1989 | x | x | x | x | x |
| 1990 | | | x | x | x |
| 1991 | | | | | |
| 1992 | | | | | |
| 1993 | x | x | x | x | x |
| 1994 | | | | | |
| 1995 | | | x | x | x |
| 1996 | | | | | |
| 1997 | x | x | x | x | x |
| 1998 | | | | | |
| 1999 | | | x | x | x |

Tabel 2-1
Gebruikte lodingen per vak

Merk op dat de lodingen een periode omspannen die verschilt per lodingsvak. De gegevens over de periode 1976-1997 blijken echter voor alle vakken beschikbaar te zijn. Bijgevolg zal deze periode aangehouden worden voor kwantitatieve vergelijking tussen de evoluties van de verschillende vakken.

2.3 DIGITALE TERREINMODELLERING

De lodingsgegevens op de CD-ROM van Rijkswaterstaat zijn opgeslagen in Arc Info formaat, dat ook door Arc View Spatial Analyst kan ingelezen worden. De data bevinden zich op grids met een maaswijdte van 20 m.

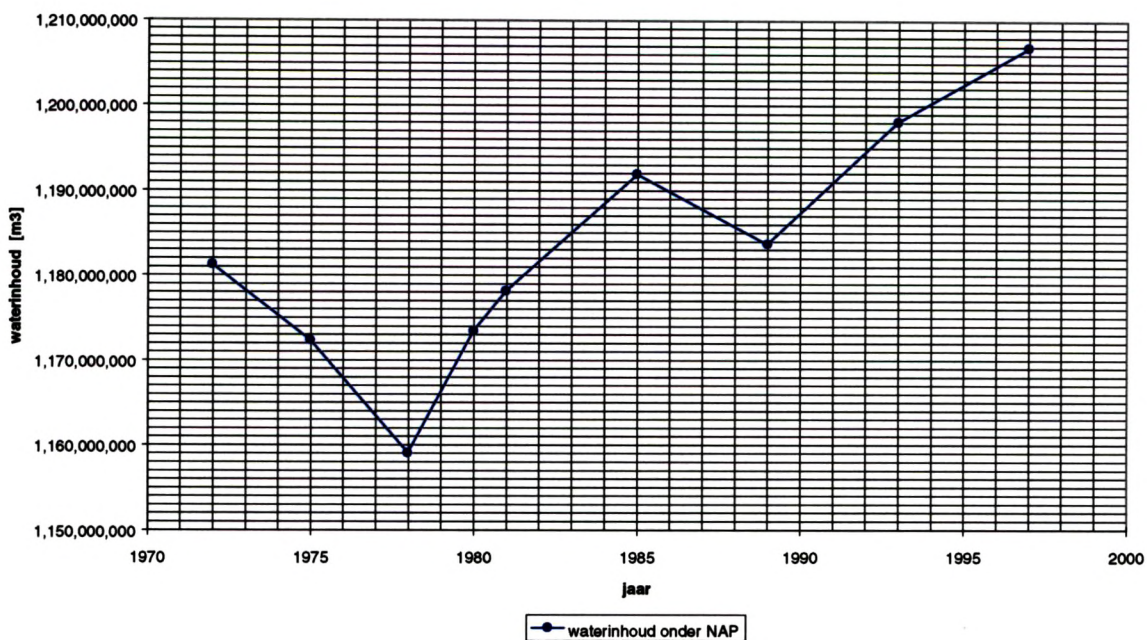
Per vak verschilt de door de lodingen bestreken oppervlakte enigermate per lodingsjaar. Vandaar dat verder zal worden gewerkt met rekenvakken, d.i. per lodingsvak wordt de oppervlakte gehanteerd die in elke lodingsjaar beschikbaar is (= doorsnede van beschikbare lodingsjaren geconstrueerd met Spatial Analyst). De resulterende oppervlakte van de rekenvakken wordt voorgesteld in *Tabel 2-2* en in Figuur H1bis uit Bijlage H. Wat betreft vak 15, leidt de gevolgde procedure tot een rekenvak dat de uitgebouwde Haven van Zeebrugge (en gedeeltes van de aanzandingszones ten westen van de Westdam en ten oosten van de Oostdam) niet omvat.

| | | | | | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| rekenvak | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 |
| oppervlakte [m2] | 93,722,000 | 89,876,400 | 70,620,400 | 84,973,200 | 91,242,000 |

Tabel 2-2
Oppervlakte van rekenvakken

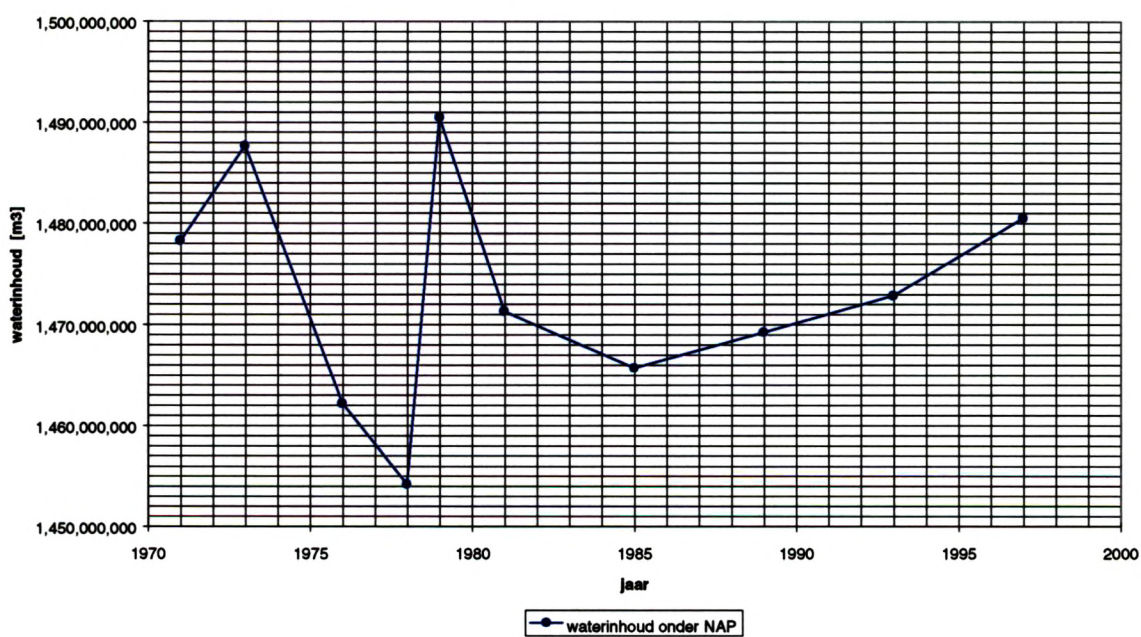
Binnen deze rekenvakken kunnen met behulp van Spatial Analyst (Map Calculator) waterinhouden worden bepaald beneden NAP (= referentiepeil lodingen). Tabel A1 uit Bijlage A bevat de waterinhouden van de rekenvakken voor de verschillende lodingsjaren. Deze resultaten worden ook weergegeven in *Figuur 2-1* tot en met *Figuur 2-5* (waarbij er voor de eenvoud van uit is gegaan dat de lodingen steeds op 1 januari hebben plaatsgevonden).

vak 13



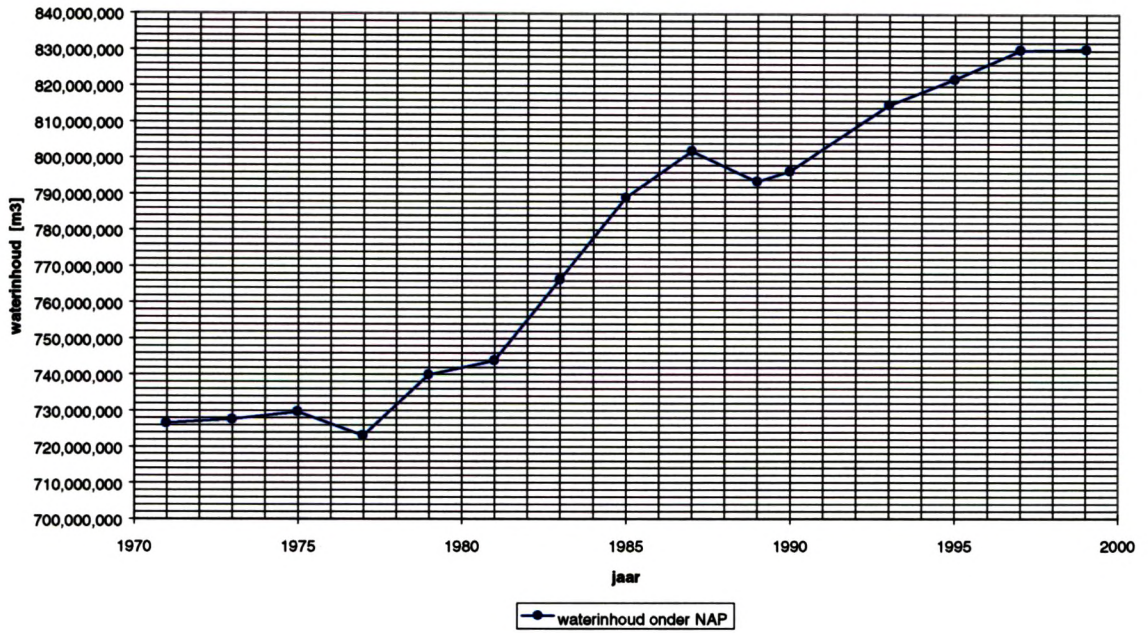
Figuur 2-1
Waterinhoud [m³] in vak 13

vak 14



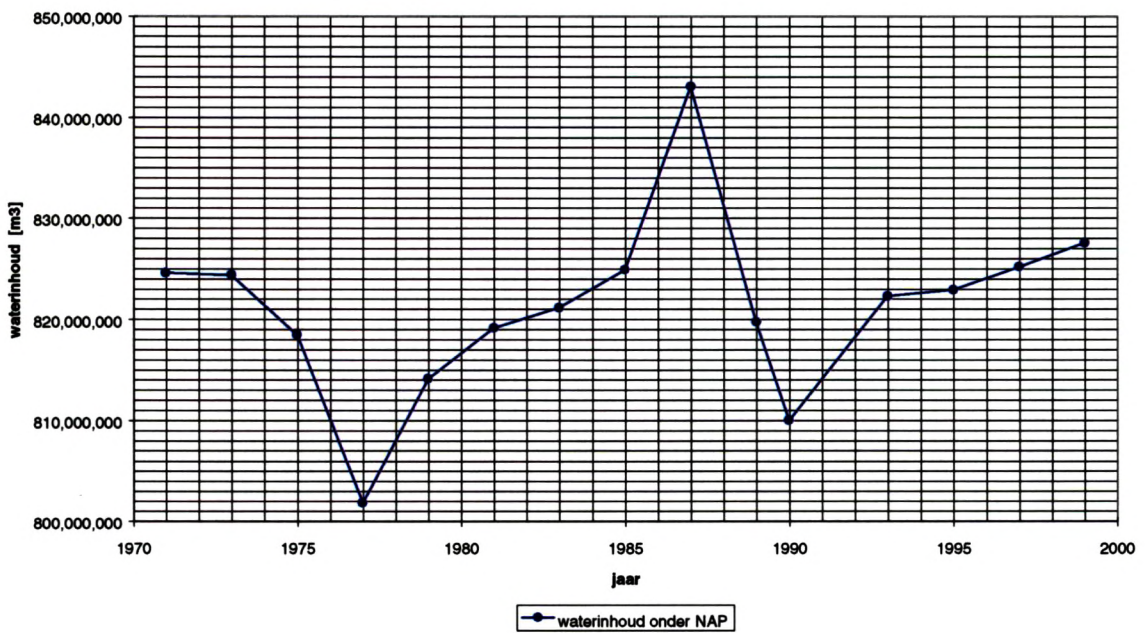
Figuur 2-2
Waterinhoud [m³] in vak 14

vak 15

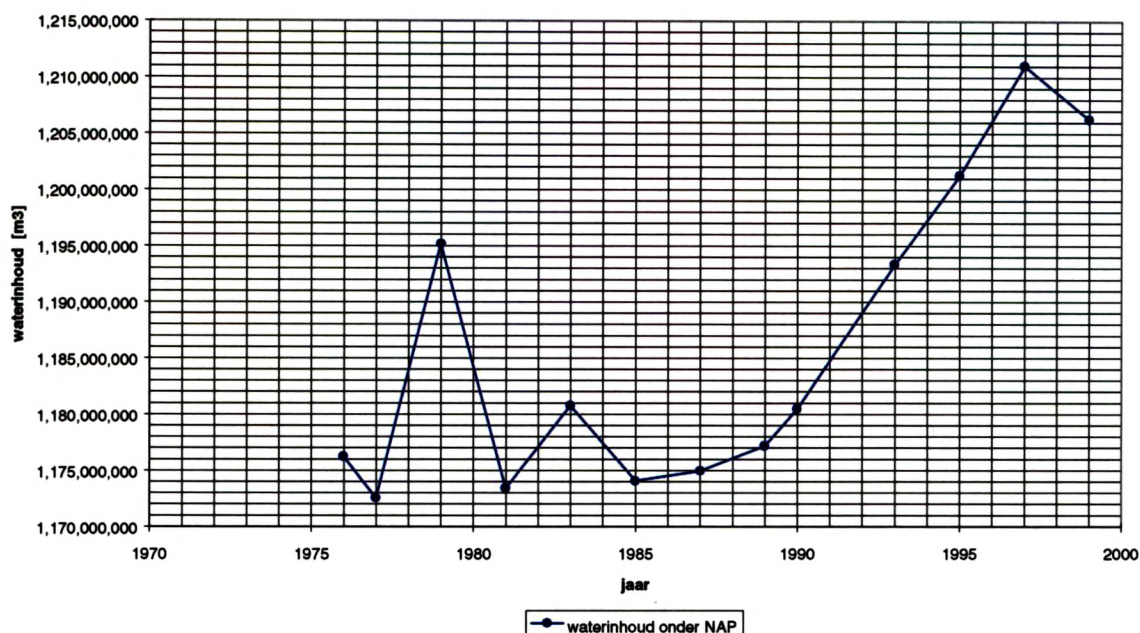


Figuur 2-3
Waterinhoud [m³] in vak 15

vak 16



Figuur 2-4
Waterinhoud [m³] in vak 16



Figuur 2-5
Waterinhoud [m³] in vak 44

Tevens kunnen met Spatial Analyst verschilkaarten worden opgemaakt. In Bijlage H, geeft Figuur H2 de verschillen weer van 1976 tot 1997. Analoog bestrijkt Figuur H3 de deelperiode 1976-1985, Figuur H4 de deelperiode 1985-1993 en Figuur H5 de deelperiode 1993-1997. De opsplitsing in deelperiodes is gebaseerd op de beschikbaarheid van lodingen voor alle vakken in de jaren 1985 en 1993. Merk op dat in 1985 de uitbouw van de Haven van Zeebrugge grotendeels beëindigd was (einde = 1986).

2.4 INVENTARISATIE MENSELIJKE INGREPEN

Zandwinning is niet van toepassing in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond. Zoals blijkt uit Figuur H1 in Bijlage H, is de overlapping van de zandextractiezone met vak 14 immers verwaarloosbaar.

Baggeren en storten daarentegen, vertegenwoordigen belangrijke menselijke ingrepen. Zo werden belangrijke aanleg- en onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd in de periode 1970-1997 ten behoeve van :

- de uitbouw van de Haven van Zeebrugge (1977-1986),
- de uitdieping van de vaargeulen naar Zeebrugge en de Westerschelde : Scheur West, Pas van het Zand en Ribzand, Scheur Oost.

De ligging van haven en vaargeulen is weergegeven in Figuur H1.

In Bijlage B wordt in Tabel B1 een inventaris gegeven van de beschikbare bagger- en storthoeveelheden bij de Administratie voor Waterwegen en Zeewezen (AWZ), Afdeling Waterwegen Kust. De gebaggerde hoeveelheden worden er opgegeven per pachtjaar (van 1 april tot 31 maart) en zijn gerangschikt volgens de stortplaats (S1, S2, R4, Paardemarkt of Zeebrugge-Oost) waar het gebaggerde materiaal gedumpt werd. De ligging van deze stortplaatsen of loswallen wordt voorgesteld in Figuur H1.

Merk op dat de door AWZ opgegeven gebaggerde hoeveelheden per pachtjaar in deze studie onveranderd zullen gebruikt worden, niettegenstaande :

- deze hoeveelheden zijn uitgedrukt in “gestorte kubieken 2e soort”, een volume-eenheid die uitgaat van een conventionele densiteit van 1.6 ton/m^3 en die wordt gehanteerd in de verloning van het werk van de baggeraannemer door het opdrachtgevend Bestuur ; hierdoor wordt rechtstreekse vergelijking met volumes in-situ (zoals bijvoorbeeld gebeurt in het opstellen van de zandbalans op basis van waterinhoudsveranderingen berekend uit de ladingen) bemoeilijkt,
- er in deze officiële tabel geen expliciete melding wordt gemaakt van de gebaggerde volumes die aangewend zijn voor de uitbouw van de Haven van Zeebrugge (ruwe schatting : ca. 50 Mm^3), waardoor deze hoeveelheden niet in rekening zullen worden gebracht bij het opstellen van de zandbalans. Het volume van 50 Mm^3 , gebruikt voor de uitbouw van de Haven van Zeebrugge, zou kunnen beschouwd worden als zandwinning, aangezien Zeebrugge buiten het beschouwde zandbalansgebied valt en voor zover men aanwijzingen heeft naar het oorsponggebied van het materiaal. Met weet namelijk dat slechts een deel van hogergenoemd volume ontgonnen is in het zandbalansgebied, bij het verdiepen van de vaargeulen. De juiste hoeveelheid/volume werd niet meegedeeld. Een ander deel werd gewonnen buiten het zandbalansgebied (Gootebank).

Het aanwenden van de hoeveelheden uitgedrukt in “gestorte kubieken 2e soort” bij het opstellen van de zandbalans kan leiden tot volgende onder- of overschattingen :

- de in-situ volumes zullen groter zijn bij slibrijk materiaal;
- de in-situ volumes zullen kleiner zijn bij zandrijk materiaal.

Daar men echter geen sluitende aanwijzingen heeft naar de exacte samenstelling van het materiaal bij onderhouds- en aanlegbaggerwerken, kan men de mate van invloed van de onder-of overschattingen moeilijk bepalen. Verdere beschouwingen omtrent de betekenis van de geïnventariseerde volumes en hun relatie met de feitelijke bodemveranderingen worden uitvoerig besproken in de hoofdstukken 3.4 en 4.

Naast de hogervermelde stortwerkzaamheden op de officiële loswallen, werden in de periode 1970-1997 nog volgende ingrepen uitgevoerd in het Belgische gedeelte van de Westerscheldemondd :

- strandsuppleties te Knokke-Heist (1977-1979, 1986, 1996-1997),
- stortingen in de getijgeul Appelzak (1971-1977).

Voor de geografische situering van deze ingrepen wordt verwezen naar Figuur H1.

Een inventarisatie van de bij deze ingrepen horende sedimentvolumes wordt gegeven in Bijlage B, Tabel B2 en Tabel B3. In tegenstelling tot Tabel B1 wordt hier niet gewerkt met pachtjaren.

In deze studie wordt, wat betreft de strandsuppleties te Knokke-Heist, verder geen onderscheid meer gemaakt tussen de volumes die onder of boven NAP werden gestort. Dit onderscheid is ook moeilijk te maken, gezien de dynamiek (dwarstransport) waaraan een strand onderhevig is.

2.4.1 Baggerhoeveelheden

In Bijlage C worden de baggergegevens uit Bijlage B verder verwerkt.

Daartoe worden in Tabel C1 de gebaggerde hoeveelheden uit Tabel B1 getotaliseerd voor :

- het Scheur, d.i. Scheur West en Scheur Oost samen,
- de Pas van het Zand en het Ribzand (opmerking : de – overigens onbekende – bijdrage van het Centraal Deel van de Nieuwe Buitenhaven (CDNB) te Zeebrugge zit in de cijfers van sommige pachtjaren vervat. Er kan dus echter verder geen rekening meer mee gehouden worden bij het opstellen van de zandbalans, ook al situeert het CDNB zich buiten rekenvak 15, terwijl de Pas van het Zand en het Ribzand binnen rekenvak 15 liggen.)

De verdere opsplitsing van de baggerhoeveelheden voor het Scheur in Scheur West en Scheur Oost wordt tevens uitgevoerd in Tabel C1. Deze opsplitsing is, voor wat betreft de periode 1975-1989, gebaseerd op ref. [1]. Voor de periode vóór 1975, wordt de verhouding Scheur West en Scheur Oost constant verondersteld en gelijk aan deze van het jaar 1975-1976 uit ref. [1]. Analoog wordt voor de periode na 1989, de verhouding Scheur West en Scheur Oost van het jaar 1988-1989 uit ref. [1] gehanteerd.

Tenslotte bevat Tabel C1 ook de verdere opsplitsing van de baggervolumes per vak.

Een beknopt overzicht van de gebaggerde volumes in de vaargeulen wordt gegeven in *Tabel 2-3*, voor wat betreft de periode 1976-1997. Merk op dat er ook deelresultaten worden vermeld voor de periodes 1976-1985 (min of meer samenvallend met de uitbouw van de Haven van Zeebrugge), 1985-1993 (na uitbouw Zeebrugge) en 1993-1997 (idem).

| geul | Scheur West | Scheur Oost | Pas v.h. Zand en Ribzand | Totaal |
|-------------------|-------------|-------------|--------------------------|--------|
| periode 1976-1997 | 126.3 | 108.6 | 198.3 | 433.2 |
| periode 1976-1985 | 73.8 | 79.6 | 106.3 | 259.7 |
| periode 1985-1993 | 33.5 | 20.8 | 83.0 | 137.3 |
| periode 1993-1997 | 19.0 | 8.2 | 9.0 | 36.2 |

Tabel 2-3
Overzicht van uit de vaargeulen gebaggerde volumes [Mm³]

Uit het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond werd 433.2 Mm³ gebaggerd in de periode 1976-1997. Het grootste gedeelte ervan is te wijten aan aanlegbaggerwerk in de periode 1976-1985. De baggervolumes in de recente periode 1993-1997 zijn kleiner, vermits het hoofdzakelijk gaat om onderhoudsbaggerwerk.

2.4.2 Storthoeveelheden

In Bijlage D worden de stortgegevens uit Bijlage B verder verwerkt.

In Tabel D1 worden de storthoeveelheden uit Tabel B1 getotaliseerd voor de stortplaatsen S1, S2, R4, de Paardemarkt en Zeebrugge-Oost (opmerking : de bijdrage van Zeebrugge-West zit in de cijfers van Zeebrugge-Oost vervat, maar er wordt verder geen rekening meer mee gehouden bij het opstellen van de zandbalans. Meer bepaald wordt de loswal Zeebrugge-West niet meegenomen in deze studie en worden de er gestorte – doch onbekende – volumes integraal op rekening van Zeebrugge-Oost geschreven.) Ook de opsplitsing per vak wordt voorgesteld in Tabel D1. Merk op dat de bijdrage van de Paardemarkt tot de gestorte volumes in vak 15 verwaarloosd wordt.

Wat betreft de strandsuppleties te Knokke-Heist en de stortingen in de Appelzak, wordt de (benaderende) vertaling van de cijfers uit Tabel B2 en Tabel B3 naar storthoeveelheden per pachtjaar en per vak weergegeven in Tabel D2. Wat betreft de strandsuppleties, wordt in deze studie geen verder onderscheid gemaakt tussen de gestorte volumes onder en boven NAP (ook al wordt de waterinhoudsverandering van de (reken)vakken enkel onder NAP bekeken in Hoofdstuk 3). Dit is namelijk niet eenvoudig uit te maken, gezien de dynamiek waaraan een strand onderhevig is (met name dwarstransport van sedimenten).

Een beknopt overzicht van de gestorte volumes wordt gegeven in Tabel 2-4.

| plaats | S1 | S2 | R4 | Zeebrugge-Oost | Paarde-markt | Stortingen Appelzak | Strand-suppleties Knokke-Heist | Totaal |
|-------------------|-------|------|------|----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|--------|
| periode 1976-1997 | 387.1 | 52.9 | 13.6 | 89.9 | 2.4 | 2.4 | 9.5 | 557.8 |
| periode 1976-1985 | 256.2 | 0.5 | 11.9 | 15.1 | 2.4 | 2.4 | 8.5 | 297.0 |
| periode 1985-1993 | 95.8 | 44.4 | 1.7 | 52.6 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 195.5 |
| periode 1993-1997 | 35.1 | 8.0 | 0.0 | 22.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 65.3 |

Tabel 2-4
Overzicht van de gestorte volumes [Mm³]

In het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond werd 557.8 Mm³ gestort tijdens de periode 1976-1997. Het grootste gedeelte ervan werd gestort op de stortplaats S1, en in mindere mate op de stortplaats Zeebrugge-Oost. De andere stortplaatsen, de strandsuppleties te Knokke-Heist en de stortingen in de Appenzak zijn gekenmerkt door relatief geringe stortvolumes, die zich bovendien voornamelijk situeren in de periode voor 1985.

2.5 SEDIMENTSAMENSTELLING

In Hoofdstuk 3 zal op basis van de vastgestelde waterinhoudsveranderingen en de geïnventariseerde menselijke ingrepen een sedimentbalans worden opgesteld. Met het oog op een verdere vertaling naar een zandbalans wordt in Figuur H6 een overzicht gegeven van de lithologie in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond (ref. [2]). De sedimentsamenstelling wordt er geclassificeerd aan de hand het systeem Folk (ref. [3]).

De lithologie in Figuur H6 werd afgeleid uit de samenstelling van de bovenste 10cm van ondiepe kernen van trilboringen. Omwille van de aard van deze bemonstering, wordt de top van een bemonsteringszone (d.i. de eerste tientallen cm) niet gekernd. Dit heeft als voordeel dat variaties in zeebodemsamenstelling minder afhankelijk zijn van stormturbulenties.

3 ANALYSE RESULTATEN PER VAK

3.1 WATERINHOUDSVERANDERINGEN

In Bijlage A, worden de waterinhouden per rekenvak en per lodingsjaar uit Tabel A1, verder verwerkt tot waterinhoudsveranderingen.

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de schommelingen in de waterinhoud van de verschillende vakken. Merk op dat de waterinhouden van de meeste vakken sterk schommelen. Dit is in mindere mate het geval voor vak 15.

| vak | waterinhoudsverandering [Mm ³] t.o.v. NAP | | |
|-----|-------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | steilste daling | steilste stijging | resulterende verandering |
| 13 | -22.1(1975-1978) | 25.7 (1993-1997) | 25.7 (1972-1997) |
| 14 | -24.0 (1976-1978) | 12.2 (1978-1979) | 2.3 (1971-1997) |
| 15 | -3.4 (1975-1977) | 103.8 (1995-1997) | 103.8 (1971-1997) |
| 16 | -22.7 (1975-1977) | 18.5 (1985-1987) | 3.0 (1971-1997) |
| 44 | -2.8 (1976-1977) | 34.8 (1995-1997) | 30.1 (1976-1997) |

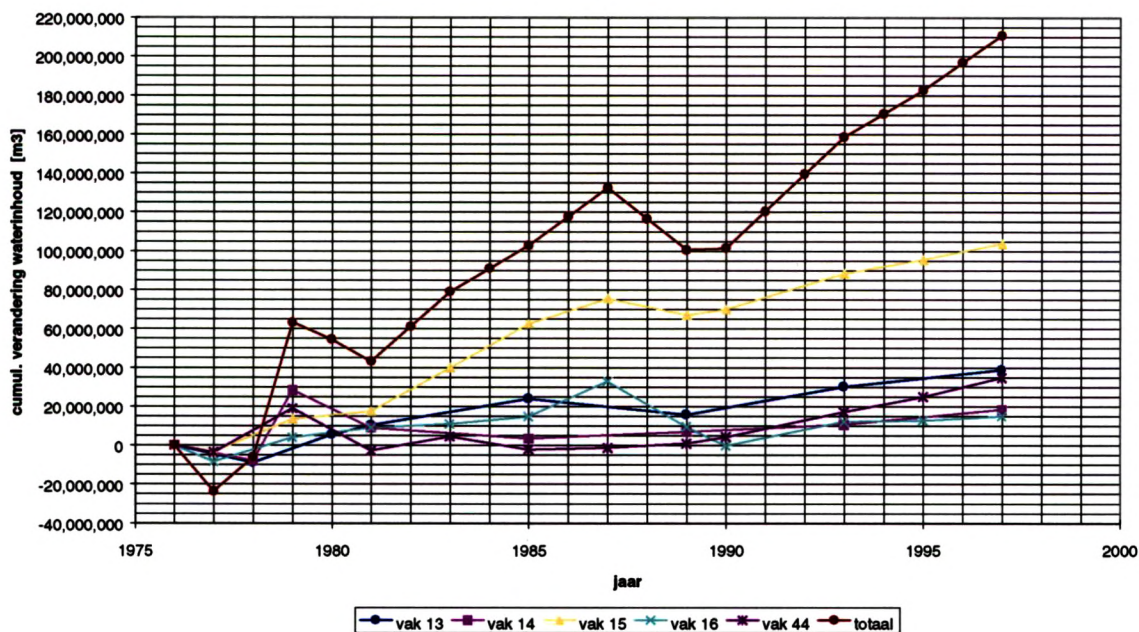
Tabel 3-1
Veranderingen in waterinhoud [Mm³] per vak

Met het oog op het opstellen van een zandbalans, wordt verder de periode 1976-1997 beschouwd. Vooreerst worden de waterinhouden uit Tabel A1 gesynchroniseerd (m.b.v. lineaire interpolatie tussen een vroeger en een later lodingsstijdstip) en vervolgens worden de waterinhoudsveranderingen uitgedrukt ten opzichte van het beginjaar 1976. De resulterende cumulatieve waterinhoudsveranderingen worden weergegeven in Tabel A2. Een samenvatting wordt gegeven in *Tabel 3-2* en *Figuur 3-1*.

| vak | waterinhoudsverandering [Mm ³] t.o.v. NAP | | | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------|------|-------|------|------|--------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 | totaal |
| periode 1976-1997 | 39.0 | 18.3 | 103.7 | 15.0 | 34.8 | 210.8 |
| periode 1976-1985 | 24.0 | 3.5 | 62.6 | 14.7 | -2.1 | 102.7 |
| periode 1985-1993 | 6.2 | 7.2 | 25.8 | -2.6 | 19.2 | 55.8 |
| periode 1993-1997 | 8.8 | 7.6 | 15.3 | 2.9 | 17.7 | 52.3 |

Tabel 3-2
Waterinhoudsveranderingen [Mm³] in de periode 1976-1997

vakken 13-14-15-16-44



Figuur 3-1
Waterinhoudsveranderingen [m³] in de periode 1976-1997

Voor de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 nam het watervolume in de periode 1976-1997 resulterend toe met 210.8 Mm³ (wat overeenkomt met een afname van de sedimenthoeveelheid met 210.8 Mm³). De helft van deze toename is voor rekening van vak 15. De globale, resulterende waterinhoudsverandering van vakken 14 en 16 daarentegen, is gering, hoewel vak 16 meer uitgesproken erosie- en sedimentatiezones kent dan vak 14.

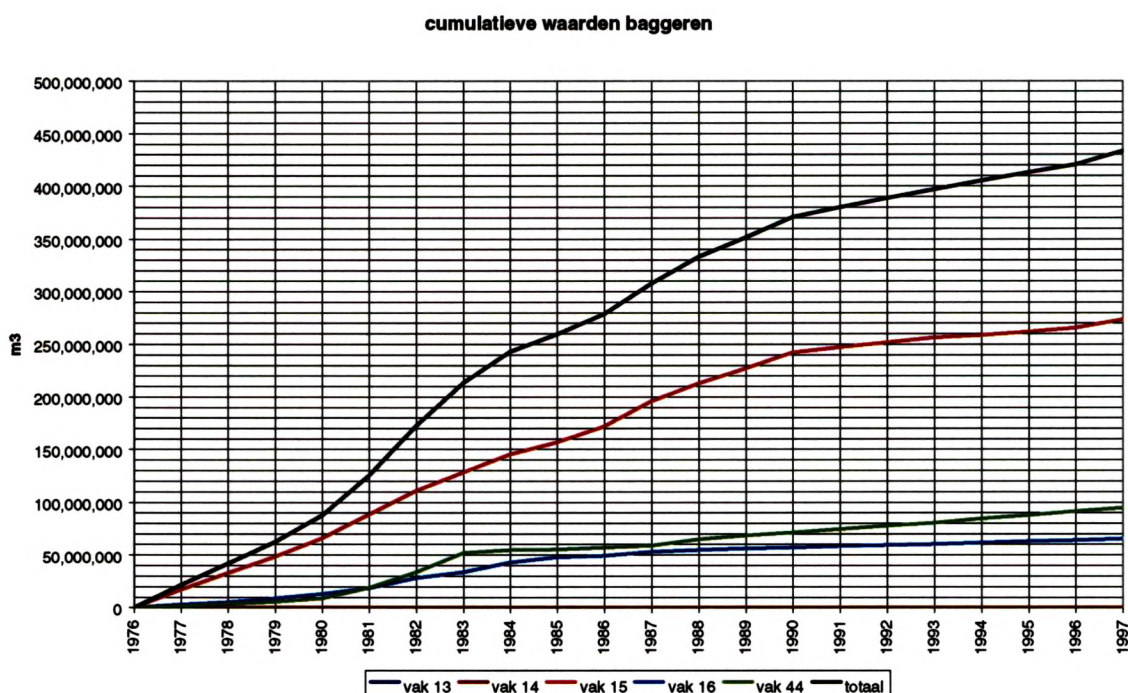
3.2 INGREPEN

3.2.1 Baggeren

In Bijlage C worden de baggerhoeveelheden uit Tabel C1 getotaliseerd per vak in Tabel C2. De overeenkomstige, cumulatieve inhoudsveranderingen per vak ten gevolge van baggeren, worden afgeleid in Tabel C3. Tabel 3-3 en Figuur 3-2 geven een beknopt overzicht. Merk op dat de inhoudsveranderingen t.g.v. baggeren positief zijn.

| vak | inhoudsveranderingen t.g.v. baggeren in Mm ³ | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-----|-------|------|------|--------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 | totaal |
| periode 1976-1997 | 0.0 | 0.0 | 273.3 | 65.2 | 94.7 | 433.2 |
| periode 1976-1985 | 0.0 | 0.0 | 156.6 | 47.8 | 55.4 | 259.7 |
| periode 1985-1993 | 0.0 | 0.0 | 99.7 | 12.5 | 25.1 | 137.3 |
| periode 1993-1997 | 0.0 | 0.0 | 17.0 | 4.9 | 14.3 | 36.2 |

Tabel 3-3
Inhoudsveranderingen [Mm³] ten gevolge van baggeren



Figuur 3-2
Inhoudsveranderingen [m³] ten gevolge van baggeren

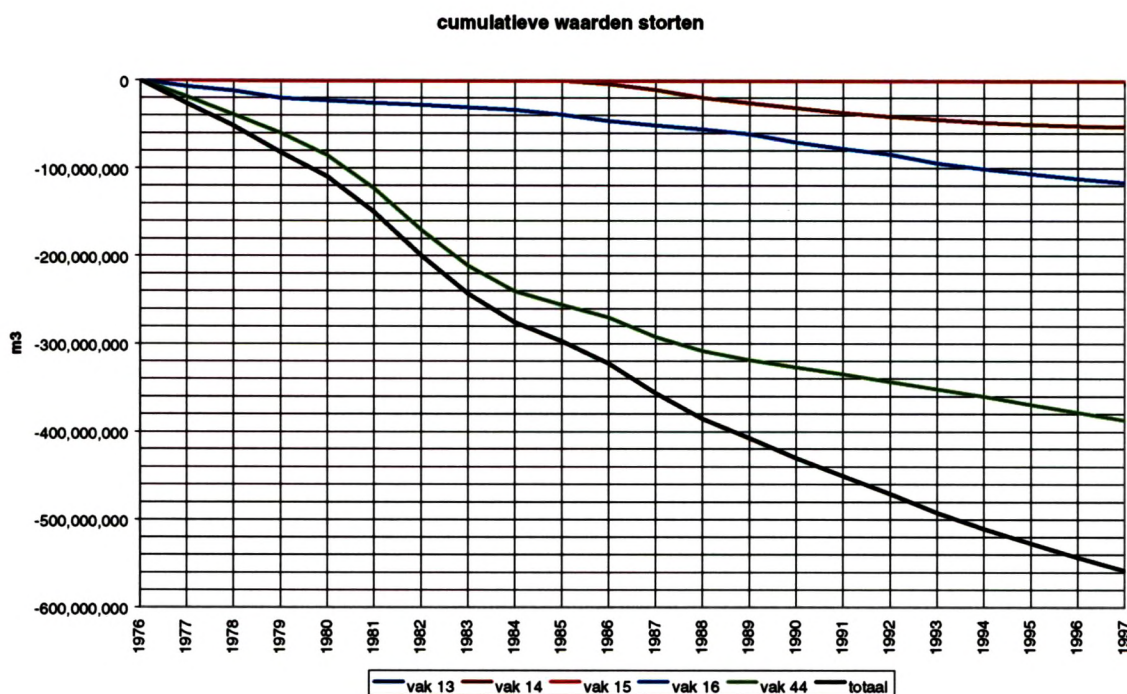
Uit de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 werd 433.2 Mm³ gebaggerd in de periode 1976-1997. Meer dan de helft hiervan is voor rekening van vak 15 (Pas van het Zand incl. Ribzand, gedeeltes van het Scheur). De andere bijdragen situeren zich in vak 44 (Scheur West) en in vak 16 (Scheur Oost). In vakken 13 en 14 hebben geen baggerwerkzaamheden plaatsgevonden. De grootste baggervolumes treden op in de periode voor 1985 (aanlegbaggerwerk), doch nemen nadien af (onderhoudsbaggerwerk).

3.2.2 Storten

In Bijlage D worden de stortgegevens uit Tabel D1 en Tabel D2 getotaliseerd per vak in Tabel D3. De overeenkomstige, cumulatieve inhoudsveranderingen per vak ten gevolge van storten, worden afgeleid in Tabel D3. *Tabel 3-4* en *Figuur 3-3* geven een beknopt overzicht. Merk op dat de inhoudsveranderingen t.g.v. storten negatief zijn.

| vak | inhoudsveranderingen t.g.v. storten in Mm ³ | | | | | totaal |
|-------------------|--------------------------------------------------------|-------|------|--------|--------|--------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 | |
| periode 1976-1997 | 0.0 | -52.9 | -1.4 | -116.4 | -387.1 | -557.8 |
| periode 1976-1985 | 0.0 | -0.5 | -1.3 | -39.0 | -256.2 | -297.0 |
| periode 1985-1993 | 0.0 | -44.4 | -0.2 | -55.2 | -95.8 | -195.5 |
| periode 1993-1997 | 0.0 | -8.0 | 0.0 | -22.2 | -35.1 | -65.3 |

Tabel 3-4
Inhoudsveranderingen [Mm³] ten gevolge van storten



Figuur 3-3
Inhoudsveranderingen [m³] ten gevolge van storten

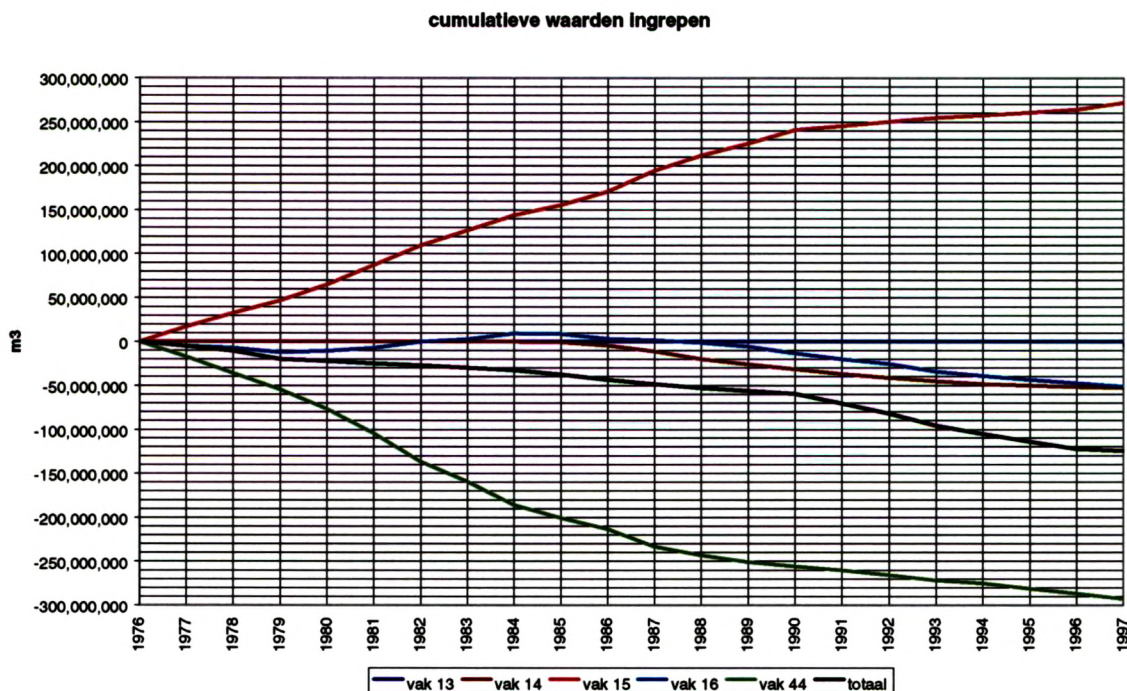
In de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 werd 557.8 Mm³ gestort in de periode 1976-1997 (wat gepaard gaat met een inhoudsvermindering van – 557.8 Mm³). De grootste bijdrage situeert zich in vak 44, dat de voornaamste stortplaats (S1) bevat. In mindere mate dragen ook vak 16 (voornamelijk stortplaats Zeebrugge-Oost) en vak 14 (stortplaats S2) bij. De gestorte volumes in vak 15 zijn verwaarloosbaar en in vak 13 vonden geen stortwerkzaamheden plaats. Merk op dat de grootste stortvolumes zich voordoen in de periode voor 1985 (aanleg haven en vaargeulen) en daarna afnemen (onderhoudsbaggerwerk).

3.2.3 Netto ingrepen

In Bijlage E, Tabel E1 worden de netto ingrepen tengevolge van baggeren en storten afgeleid per vak. De overeenkomstige, cumulatieve inhoudsveranderingen per vak worden weergegeven in Tabel E2. *Tabel 3-5* en *Figuur 3-4* geven een beknopt overzicht.

| vak | inhoudsveranderingen t.g.v. ingrepen in Mm ³ | | | | | totaal |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 | |
| periode 1976-1997 | 0.0 | -52.9 | 271.9 | -51.2 | -292.4 | -124.6 |
| periode 1976-1985 | 0.0 | -0.5 | 155.3 | 8.7 | -200.9 | -37.3 |
| periode 1985-1993 | 0.0 | -44.4 | 99.5 | -42.7 | -70.7 | -58.2 |
| periode 1993-1997 | 0.0 | -8.0 | 17.0 | -17.3 | -20.9 | -29.1 |

Tabel 3-5
Inhoudsveranderingen [Mm³] ten gevolge van netto ingrepen



Figuur 3-4
Inhoudsveranderingen [m³] ten gevolge van netto ingrepen

Voor de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 bedragen de menselijke ingrepen -124.6 Mm^3 in de periode 1976-1997, wat overeenkomt met een waterinhaltsvermindering en dus een toename van de sedimenthoeveelheid met 124.6 Mm^3 . M.a.w. de gestorte volumes overtreffen de gebaggerde volumes. Dit stortoverschot is te wijten aan het storten binnen de (reken)vakken 13-14-15-16-44 van sedimenten die erbuiten werden gebaggerd (vooral Haven en Voorhaven te Zeebrugge). Zoals reeds werd aangegeven, houdt de hier gegeven inventarisatie van menselijke ingrepen niet expliciet rekening met de volumes die gebaggerd werden in de (reken)vakken 13-14-15-16-44 (met name in het Scheur en op de Wandelaar Bank) en die erbuiten gestort werden ten behoeve van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge (ca. 50 Mm^3 voor havendammen en – terreinen). Indien hier wel rekening mee werd gehouden, zou het stortoverschot beduidend lager zijn (dan 124.6 Mm^3).

Vak 13 draagt niet bij aan de menselijke ingrepen, vermits er noch bagger- noch stortwerkzaamheden werden uitgevoerd.

In vak 14 neemt de sedimenthoeveelheid toe (52.9 Mm^3) ten gevolge van de stortwerkzaamheden (S2).

In vak 15 neemt de sedimenthoeveelheid netto af (271.9 Mm^3) tengevolge van het baggerwerk in de vaargeulen.

In vak 16 neemt de sedimenthoeveelheid toe (51.2 Mm³), vermits er meer wordt gestort (Zeebrugge-Oost, R4, Paardemarkt, Strandsuppleties Knokke-Heist, stortingen Appelzak) dan er wordt gebaggerd (Scheur Oost).

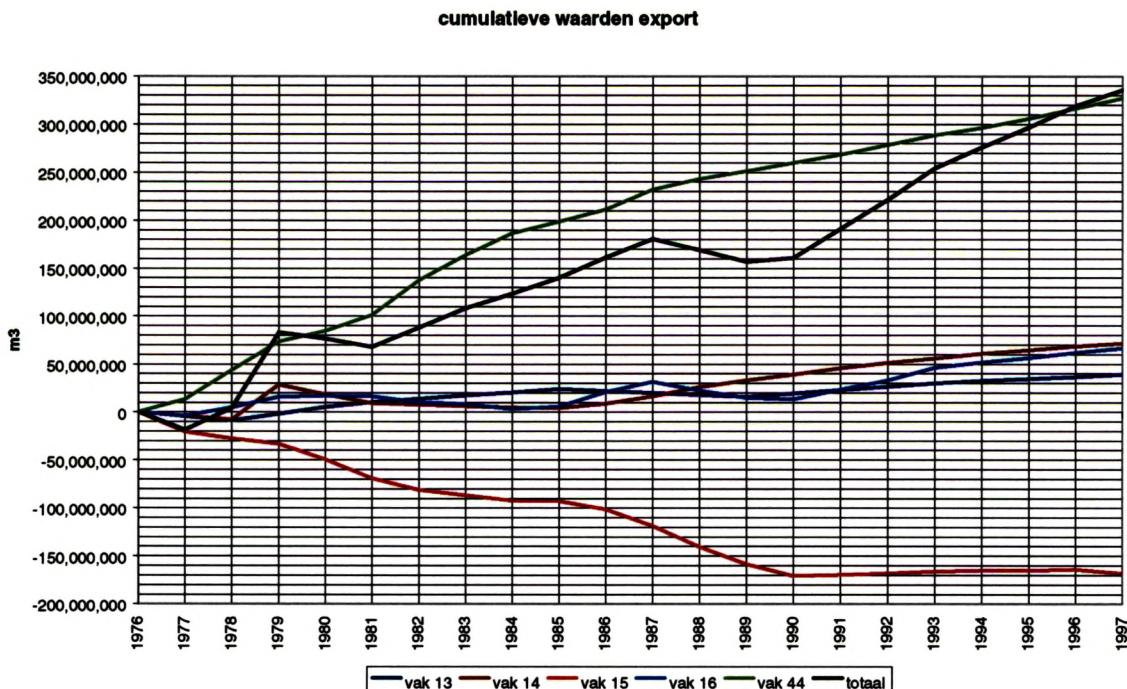
Ook in vak 44 is er een netto sedimenttoename (292.4 Mm³), vermits er meer wordt gestort (S1) dan er wordt gebaggerd (Scheur West).

3.3 ZANDBALANS

In Bijlage F, Tabel F1 wordt de netto export bepaald uit het verschil van de geobserveerde waterinhoudsveranderingen en de inhoudsveranderingen ten gevolge van de netto ingrepen. *Tabel 3-6* en *Figuur 3-5* bieden een beknopt overzicht (netto export = positief, netto import = negatief).

| vak | inhoudsveranderingen t.g.v. netto export in Mm ³ | | | | | totaal |
|-------------------|-------------------------------------------------------------|------|--------|------|-------|--------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 44 | |
| periode 1976-1997 | 39.0 | 71.2 | -168.2 | 66.2 | 327.2 | 335.4 |
| periode 1976-1985 | 24.0 | 4.0 | -92.7 | 6.0 | 198.8 | 140.0 |
| periode 1985-1993 | 6.2 | 51.6 | -73.7 | 40.1 | 89.9 | 114.0 |
| periode 1993-1997 | 8.8 | 15.6 | -1.7 | 20.2 | 38.6 | 81.4 |

Tabel 3-6
Inhoudsveranderingen [Mm³] ten gevolge van netto export



Figuur 3-5
Inhoudsveranderingen [m³] ten gevolge van netto export

In de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 treedt er een netto export op van 335.4 Mm³ in de periode 1976-1997. M.a.w. er wordt netto meer sediment op natuurlijke wijze geëxporteerd dan er wordt geïmporteerd.

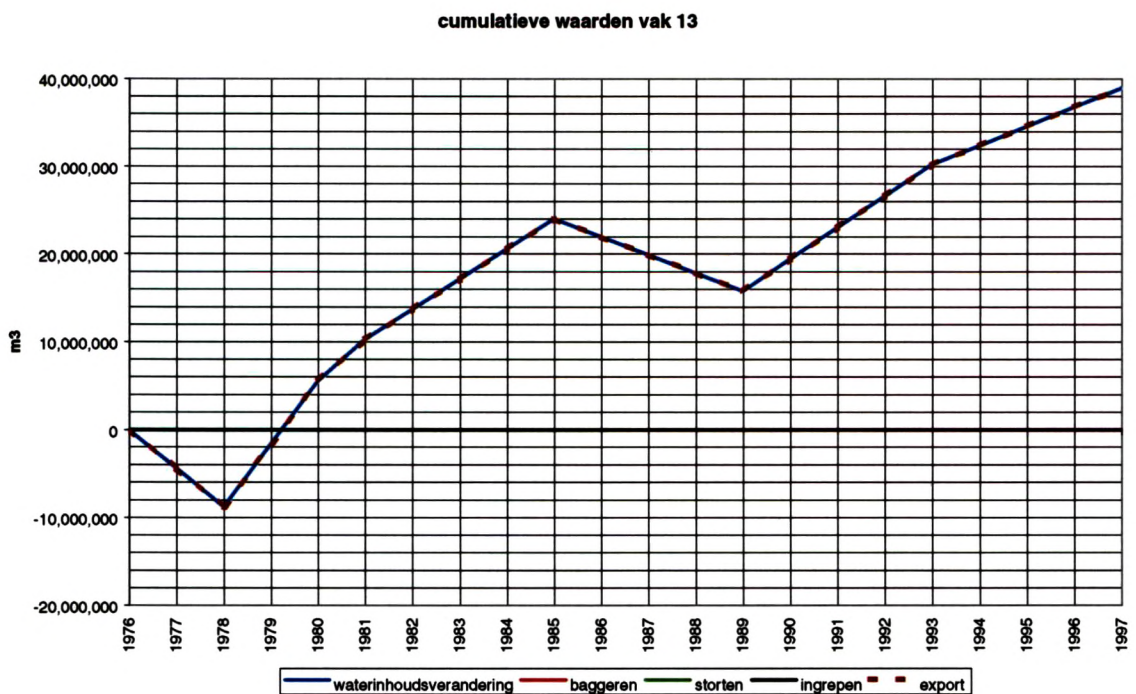
Merk op dat alle vakken een netto export kennen, met uitzondering van vak 15 waar er een netto import van sediment is.

Nu de waterinhoudsveranderingen, de netto (menselijke) ingrepen en de netto (natuurlijke) export bekend zijn, kunnen de sluitende zandbalansen per vak en voor de totaliteit van de vakken weergegeven worden in Bijlage F, Tabel F2 (vak 13), Tabel F3 (vak 14), Tabel F4 (vak 15), Tabel F5 (vak 16), Tabel F6 (vak 44), Tabel F7 (vakken 13-14-15-16-44).

Een samenvatting wordt voorgesteld in Tabel 3-7 tot en met Tabel 3-12 en in Figuur 3-6 tot en met Figuur 3-11.

| zandbalans in vak 13 | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 39.0 | 100 | 0.0 | 100 | 0.0 | 100 | 0.0 | 100 | 39.0 | 100 |
| periode 1976-1985 | 24.0 | 62 | 0.0 | 100 | 0.0 | 100 | 0.0 | 100 | 24.0 | 62 |
| periode 1985-1993 | 6.2 | 16 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 6.2 | 16 |
| periode 1993-1997 | 8.8 | 22 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 8.8 | 22 |

Tabel 3-7
Zandbalans in vak 13



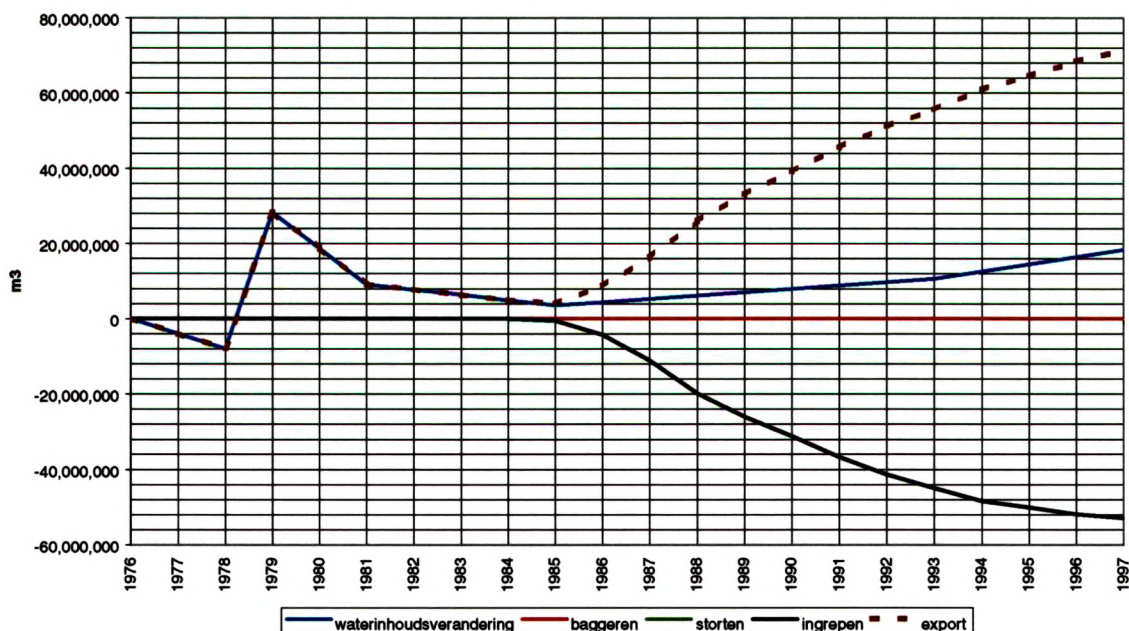
Figuur 3-6
Zandbalans in vak 13

De netto natuurlijke export (39 Mm³) uit vak 13, in de periode 1976-1997, is gelijk aan de toename van de waterinhoud (39 Mm³), vermits geen menselijke ingrepen hebben plaatsgevonden in dit vak.

| zandbalans in vak 14 | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 18.3 | 100 | 0.0 | 100 | -52.9 | 100 | -52.9 | 100 | 71.2 | 100 |
| periode 1976-1985 | 3.5 | 19 | 0.0 | 100 | -0.5 | 1 | -0.5 | 1 | 4.0 | 6 |
| periode 1985-1993 | 7.2 | 39 | 0.0 | 0 | -44.4 | 84 | -44.4 | 84 | 51.6 | 72 |
| periode 1993-1997 | 7.6 | 42 | 0.0 | 0 | -8.0 | 15 | -8.0 | 15 | 15.6 | 22 |

Tabel 3-8
Zandbalans in vak 14

cumulatieve waarden vak 14

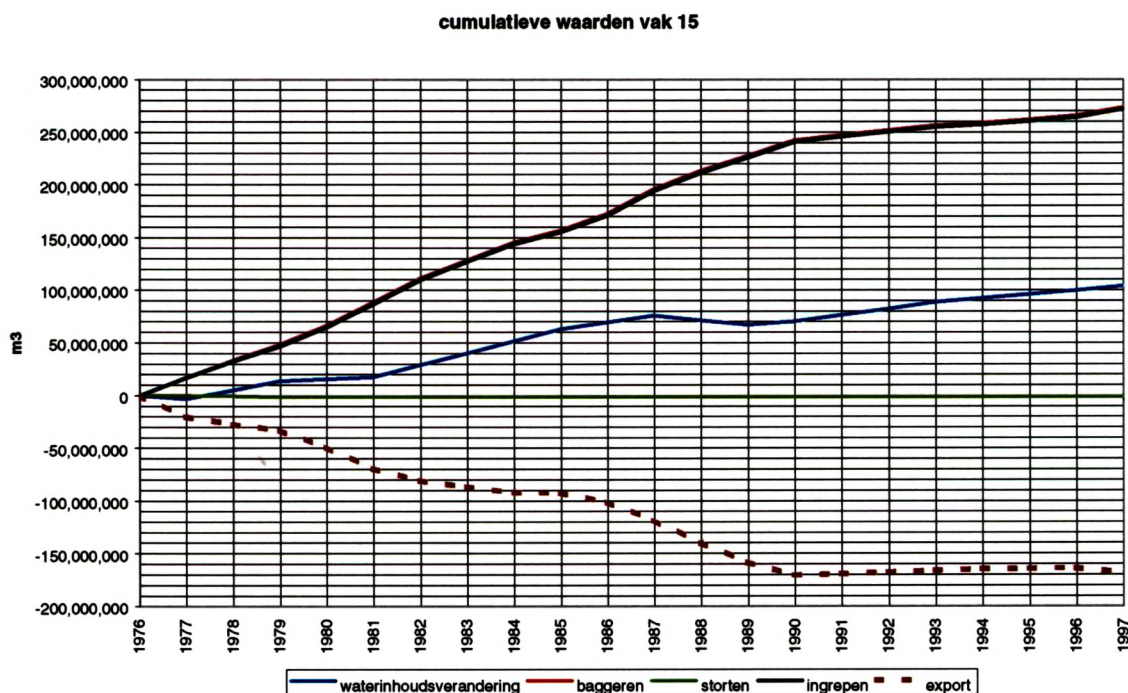


Figuur 3-7
Zandbalans in vak 14

De netto natuurlijke export uit vak 14 in de periode 1976-1997 (71.2 Mm³) is beduidend groter dan de toename van de waterinhoud (18.3 Mm³), vermits er netto door menselijk ingrijpen sedimenten zijn binnengebracht (52.9 Mm³) in dit vak (stortplaats S2).

| zandbalans in vak 15 | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 103.7 | 100 | 273.3 | 100 | -1.4 | 100 | 271.9 | 100 | -168.2 | 100 |
| periode 1976-1985 | 62.6 | 60 | 156.6 | 57 | -1.3 | 93 | 155.3 | 57 | -92.7 | 55 |
| periode 1985-1993 | 25.8 | 25 | 99.7 | 37 | -0.2 | 7 | 99.5 | 37 | -73.7 | 44 |
| periode 1993-1997 | 15.3 | 15 | 17.0 | 6 | 0.0 | 0 | 17.0 | 6 | -1.7 | 1 |

Tabel 3-9
Zandbalans in vak 15

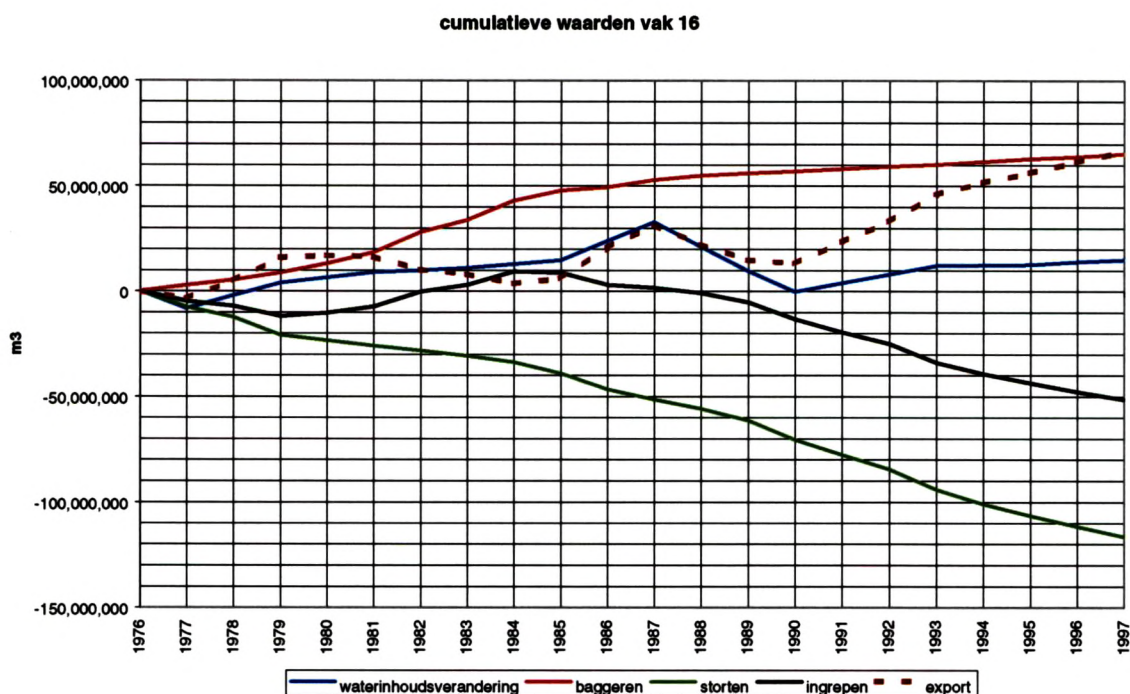


Figuur 3-8
Zandbalans in vak 15

Er is een belangrijke netto natuurlijke import van sedimenten in vak 15 over de periode 1976-1997 (168.2 Mm³), vermits door menselijk ingrijpen meer sediment is weggenomen (271.9 Mm³, hoofdzakelijk t.g.v. baggeren in het Scheur en de Pas van het Zand) dan de geconstateerde toename van de waterinhoud (103.7 Mm³).

| zandbalans in vak 16 | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 15.0 | 100 | 65.2 | 100 | -116.4 | 100 | -51.2 | 100 | 66.2 | 100 |
| periode 1976-1985 | 14.7 | 98 | 47.8 | 73 | -39.0 | 34 | 8.7 | -17 | 6.0 | 9 |
| periode 1985-1993 | -2.6 | -17 | 12.5 | 19 | -55.2 | 47 | -42.7 | 83 | 40.1 | 61 |
| periode 1993-1997 | 2.9 | 19 | 4.9 | 8 | -22.2 | 19 | -17.3 | 34 | 20.2 | 30 |

Tabel 3-10
Zandbalans in vak 16

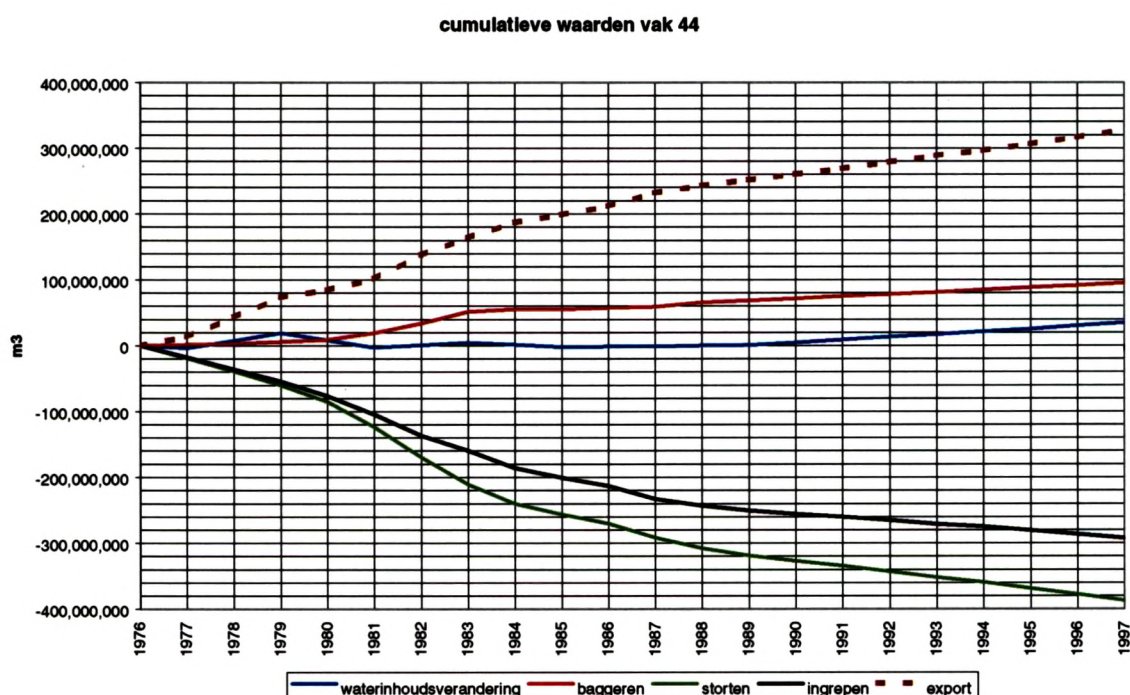


Figuur 3-9
Zandbalans in vak 16

De netto natuurlijke export uit vak 16 in de periode 1976-1997 (66.2 Mm³) is beduidend groter dan de toename van de waterinhoud (15 Mm³), vermits er netto door menselijk ingrijpen sedimenten zijn binnengebracht (51.2 Mm³) in dit vak (meer storten op Zeebrugge-Oost, R4 e.d. dan baggeren in Scheur Oost).

| zandbalans in vak 44 | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 34.8 | 100 | 94.7 | 100 | -387.1 | 100 | -292.4 | 100 | 327.2 | 100 |
| periode 1976-1985 | -2.1 | -6 | 55.4 | 59 | -256.2 | 66 | -200.9 | 69 | 198.8 | 61 |
| periode 1985-1993 | 19.2 | 55 | 25.1 | 26 | -95.8 | 25 | -70.7 | 24 | 89.9 | 27 |
| periode 1993-1997 | 17.7 | 51 | 14.3 | 15 | -35.1 | 9 | -20.9 | 7 | 38.6 | 12 |

Tabel 3-11
Zandbalans in vak 44



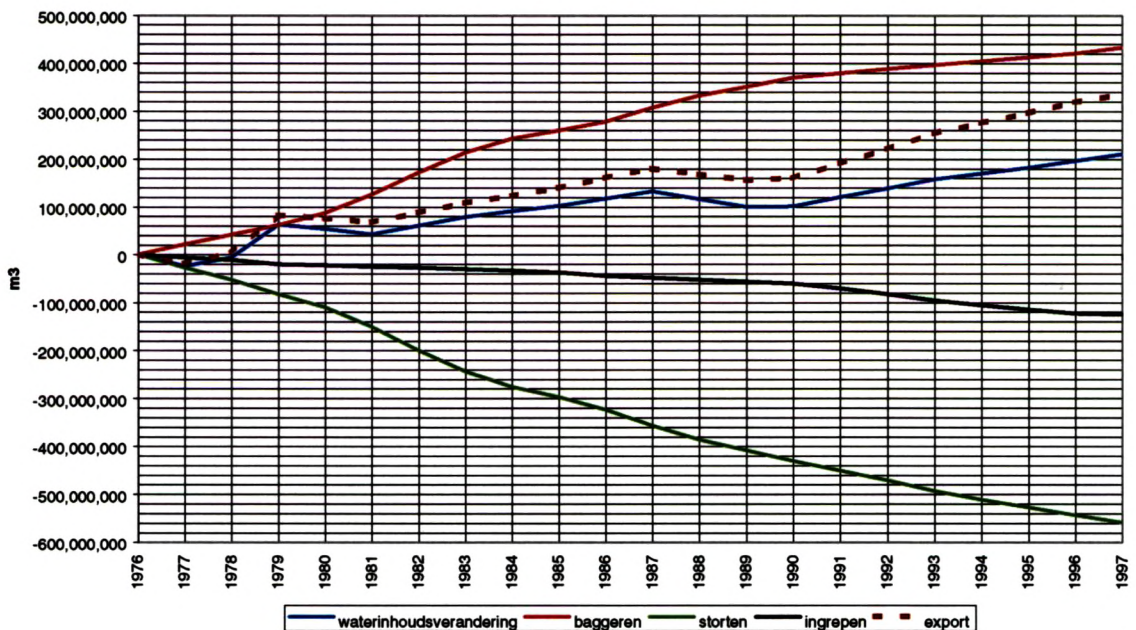
Figuur 3-10
Zandbalans in vak 44

De netto natuurlijke export uit vak 44 in de periode 1976-1997 (327.2 Mm³) is beduidend groter dan de toename van de waterinhoud (34.8 Mm³), vermits er netto door menselijk ingrijpen sedimenten zijn binnengebracht (292.4 Mm³) in dit vak (meer storten op S1 dan baggeren in Scheur West).

| zandbalans in vakken 13-14-15-16-44 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | waterinhouds- verandering (1) | | menselijke output (2) | | menselijke input (3) | | netto ingrepen (4)=(2)+(3) | | natuurlijke export (5)=(1)-(4) | |
| | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % | Mm ³ | % |
| periode 1976-1997 | 210.8 | 100 | 433.2 | 100 | -557.8 | 100 | -124.6 | 100 | 335.4 | 100 |
| periode 1976-1985 | 102.7 | 49 | 259.7 | 60 | -297.0 | 53 | -37.3 | 30 | 140.0 | 42 |
| periode 1985-1993 | 55.8 | 26 | 137.3 | 32 | -195.5 | 35 | -58.2 | 47 | 114.0 | 34 |
| periode 1993-1997 | 52.3 | 25 | 36.2 | 8 | -65.3 | 12 | -29.1 | 23 | 81.4 | 24 |

Tabel 3-12
Zandbalans in vakken 13-14-15-16-44

cumulatieve waarden vakken 13-14-15-16-44



Figuur 3-11
Zandbalans in vakken 13-14-15-16-44

De netto natuurlijke export uit de totaliteit van de vakken 13-14-15-16-44 in de periode 1976-1997 (335.4 Mm³) is beduidend groter dan de toename van de waterinhoud (210.8 Mm³), vermits er netto door menselijk ingrijpen sedimenten zijn binnengebracht (124.6 Mm³) in deze vakken (t.g.v. grotere stortvolumes dan baggervolumes).

3.4 INTERPRETATIE

Aan de hand van het voorgaande materiaal kan gepoogd worden de volgende vragen van Rijkswaterstaat concreet te beantwoorden :

- *In hoeverre is er de laatste decennia een significante hoeveelheid zand uit het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond verdwenen ?*

Uit het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond (= totaliteit van vakken 13-14-15-16-44) is er 210.8 Mm³ sediment verdwenen in de periode 1976-1997.

- *Is het opgetreden zandverlies in het beschouwde zandbalansgebied voornamelijk veroorzaakt door menselijke ingrepen, of zijn natuurlijke processen de oorzaak ?*

De 210.8 Mm³ sediment die uit het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond verdwenen zijn, zijn voornamelijk veroorzaakt door een natuurlijke export van 335.4 Mm³ sedimenten. Door menselijke ingrepen werd er namelijk netto 124.6 Mm³ sediment ingebracht, vermits er meer werd gestort dan gebaggerd. De idee dat het sedimentverlies in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond te wijten zou zijn aan excessief baggerwerk (vergeleken bij de stortwerkzaamheden), blijkt dus niet op te gaan. Er wordt ook aan herinnerd dat evenmin zandwinning - in de strikte zin van het woord - van toepassing is in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond. Bovendien wordt de zandwinning ten behoeve van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge – zoals reeds werd aangegeven – niet expliciet in rekening gebracht in deze studie, daar men geen sluitende informatie heeft over de exacte volumes ontgonnen in het beschouwde zandbalansgebied (een deel werd namelijk ontgonnen op de Gootebank). Indien dit wel zou gebeuren, is het hoger vermelde stortoverschot beduidend kleiner dan 124.6 Mm³ en wordt ook de natuurlijke export van sedimenten kleiner dan 335.4 Mm³, maar zelfs in dat geval is nog steeds een netto natuurlijke export nodig om de zandbalans te sluiten.

Bijgevolg dient te worden besloten dat het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond een natuurlijk erosief (d.i. exporterend) gebied is. Dit erosief karakter wordt duidelijk geïllustreerd in vak 13 (zie Figuur H2 uit Bijlage H) waar geen menselijke ingrepen plaats hebben gevonden. Ongetwijfeld speelt ook mee dat de loswal S1 zich op de rand van vakken 14 en 44 bevindt, waardoor een deel van de gestorte volumes buiten de rekenvakken terecht komt. In sectie 4.3 wordt nog een aanvullende interpretatie gegeven van de natuurlijke export, op basis van een analyse van waterinhoudsveranderingen van morfologisch zinvolle eenheden.

- *Is er een interne herverdeling van de sedimenten opgetreden als gevolg van natuurlijke processen ? Wat zijn de circulatiestromen van sediment in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemonnd ?*

Over de interne herverdeling van de sedimenten als gevolg van natuurlijke processen kan - op basis van de hierboven afgeleide exportvolumes - niets met zekerheid gezegd worden. Er zijn immers te veel onbekenden in het spel. Een eenvoudige rekensom leert dat er 11 onbekende uitwisselingsfluxen zijn (tussen de vakken onderling en met de buitenwereld), waarvoor slechts 5 vergelijkingen kunnen opgesteld worden (met name de exportcijfers voor de 5 vakken).

Indien meer kennis over de circulatiepatronen van de sedimenten gewenst is, zouden tracerproeven een beeld kunnen geven van deze patronen.

4 ANALYSE RESULTATEN PER MORFOLOGISCHE EENHEID

4.1 DEFINITIE MORFOLOGISCHE EENHEDEN

Op basis van de verschilkaart 1976-1997 (Figuur H2 uit Bijlage H) kunnen een aantal morfologisch zinvolle eenheden gedefinieerd worden :

- Vaargeulen (Scheur West, Pas van het Zand incl. Ribzand, Scheur Oost)
- Stortplaatsen S1, S2, R4
- Strand Knokke-Heist
- Getijgeul Appenzak
- Erosiezones E1, E2 en E3
- Aanzandingszones A1, A2 en A3.

De afbakening van de morfologische eenheden wordt voorgesteld in Figuur H7, en hun respectieve oppervlaktes worden weergegeven in Tabel 4-1 (kolom 'totaal').

Merk op dat sommige morfologische eenheden zich uitstrekken over verschillende rekenvakken en dat de som van deze bijdragen (kolom 'som' in Tabel 4-1, waarbij niet expliciet wordt rekening gehouden met het feit dat rekenvakken kunnen overlappen) soms beduidend kleiner is dan de totale oppervlakte van de afgebakende morfologische eenheden (kolom 'totaal'). Deze deviatie is het gevolg van de definitie van een rekenvak (= de doorsnede van beschikbare lodingen, zoals uiteengezet in sectie 2.3 en in Figuur H1bis van Bijlage H), waardoor bijv. rekenvakken 15 en 16 niet volledig overlappen met de afgebakende morfologische eenheden Strand Knokke-Heist, aanzandingszones A1 en A2 en erosiezone E1.

| Morfologische eenheid | oppervlaktes van morfologische eenheden in m ² | | | | | | totaal |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | vak 13 | vak 14 | vak 15 | vak 16 | vak 44 | som | |
| Vaargeulen | 0 | 0 | 11,912,800 | 8,967,200 | 14,204,400 | 35,084,400 | 35,176,932 |
| Erosiezone E1 | 0 | 0 | 4,262,000 | 0 | 0 | 4,262,000 | 4,796,788 |
| Erosiezone E2 | 0 | 0 | 7,092,800 | 14,800 | 0 | 7,107,600 | 7,139,794 |
| Erosiezone E3 | 0 | 0 | 8,501,600 | 1,165,200 | 0 | 9,666,800 | 9,615,401 |
| Stortplaats S1 | 0 | 171,600 | 0 | 0 | 12,606,400 | 12,778,000 | 12,850,002 |
| Stortplaats S2 | 0 | 5,915,600 | 0 | 0 | 0 | 5,915,600 | 5,898,746 |
| Stortplaats R4 | 0 | 0 | 0 | 1,886,800 | 0 | 1,886,800 | 1,886,417 |
| Strand Knokke-Heist | 0 | 0 | 8,000 | 1,470,800 | 0 | 1,478,800 | 4,623,541 |
| Appelzak | 0 | 0 | 0 | 1,378,800 | 0 | 1,378,800 | 1,365,648 |
| Aanzandingszone A1 | 0 | 0 | 2,358,400 | 0 | 0 | 2,358,400 | 3,437,641 |
| Aanzandingszone A2 | 0 | 0 | 767,200 | 411,600 | 0 | 1,178,800 | 2,140,600 |
| Aanzandingszone A3 | 0 | 0 | 237,200 | 17,445,600 | 0 | 17,682,800 | 17,653,727 |

Tabel 4-1
Oppervlaktes [m²] van morfologische eenheden

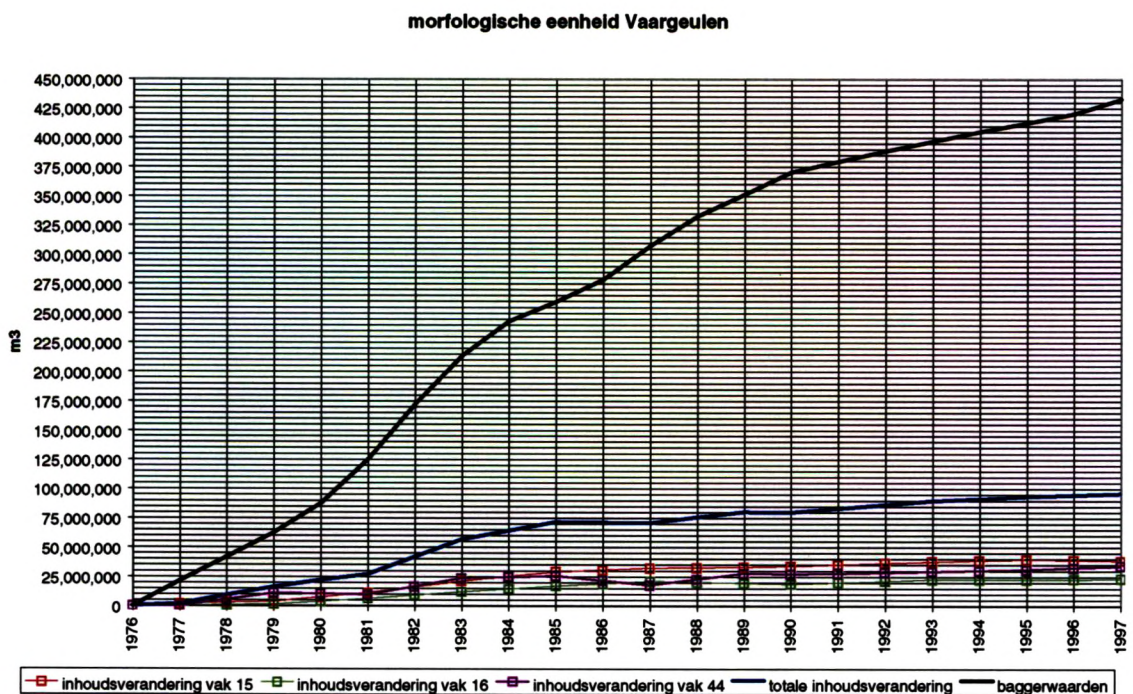
4.2 WATERINHOUDSVERANDERING

Met behulp van Spatial Analyst kan de waterinhoud per morfologische eenheid – of beter per vak dat een onderdeel van de betreffende morfologische eenheid bevat - en per lodingsjaar bepaald worden. De resultaten worden weergegeven in Bijlage G, Tabel G1 tot en met Tabel G5. De waterinhoud wordt telkens gedefinieerd onder het peil NAP (= referentiepeil der lodingen). De overeenkomstige, cumulatieve waterinhoudsveranderingen worden afgeleid in Tabel G6 tot en met Tabel G13.

Een beknopt overzicht van de gecumuleerde waterinhoudsveranderingen wordt gegeven in *Tabel 4-2* tot en met *Tabel 4-5* en in *Figuur 4-1* tot en met *Figuur 4-12*. Waar zinvol, zijn ter vergelijking ook gecumuleerde bagger- en stortgegevens opgenomen in de tabellen en de figuren.

| | waterinhoudsverandering [Mm ³] morf. eenheid Vaargeulen | gecumuleerde baggerhoeveelheden [Mm ³] Scheur+Pas van het Zand |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| periode 1976-1997 | 96.0 | 433.2 |
| periode 1976-1985 | 71.7 | 259.8 |
| periode 1985-1993 | 18.1 | 137.1 |
| periode 1993-1997 | 6.2 | 36.2 |

Tabel 4-2
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid Vaargeulen met gecumuleerde baggervolumes [Mm³] in Scheur en Pas van het Zand

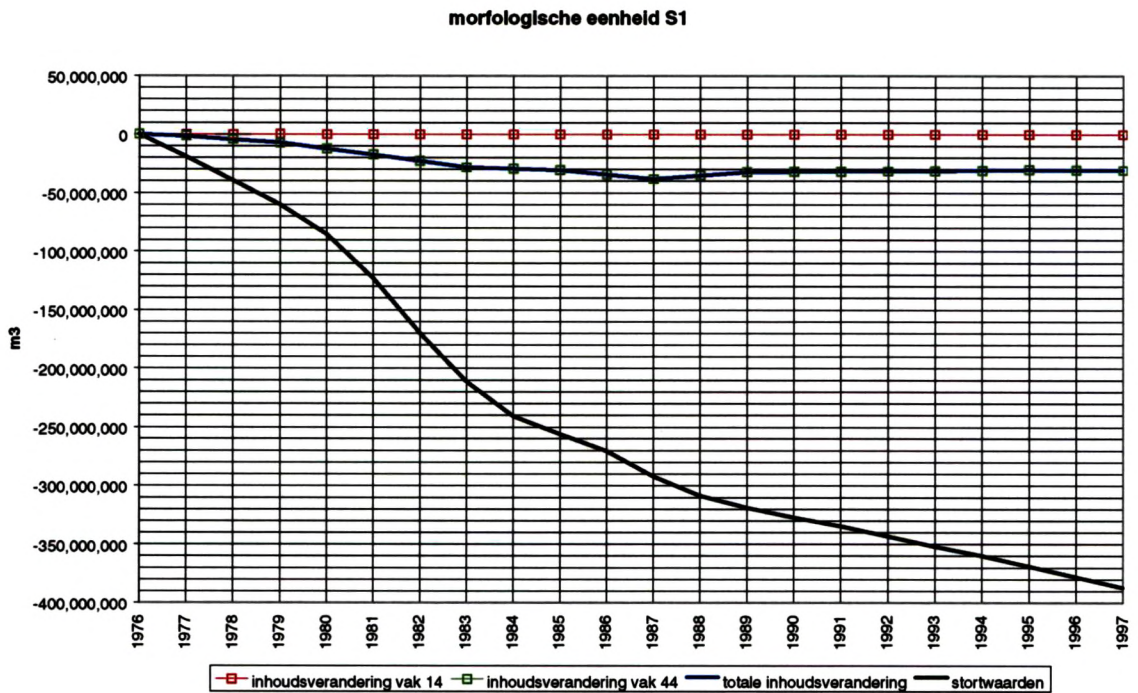


Figuur 4-1
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid Vaargeulen met gecumuleerde baggervolumes [Mm³] in Scheur en Pas van het Zand

In de periode 1976-1997 bedraagt de toename van de waterinhoud (96 Mm³) in de morfologische eenheid Vaargeulen ca. 22% van het gecumuleerde baggervolume in het Scheur en de Pas van het Zand (433.2 Mm³). De grootste waterinhoudstoename (en dus afname van de sedimenthoeveelheid) doet zich voor in de periode 1976-1985, wat te wijten is aan het aanlegbaggerwerk. Merk op dat het echte baggerwerk voor de verdieping van de vaargeulen beperkt blijft tot 96 Mm³, terwijl de rest van de baggervolumes (= 433.2-96.0 = 337.2 Mm³) kan toegeschreven worden aan onderhoudsbaggerwerk.

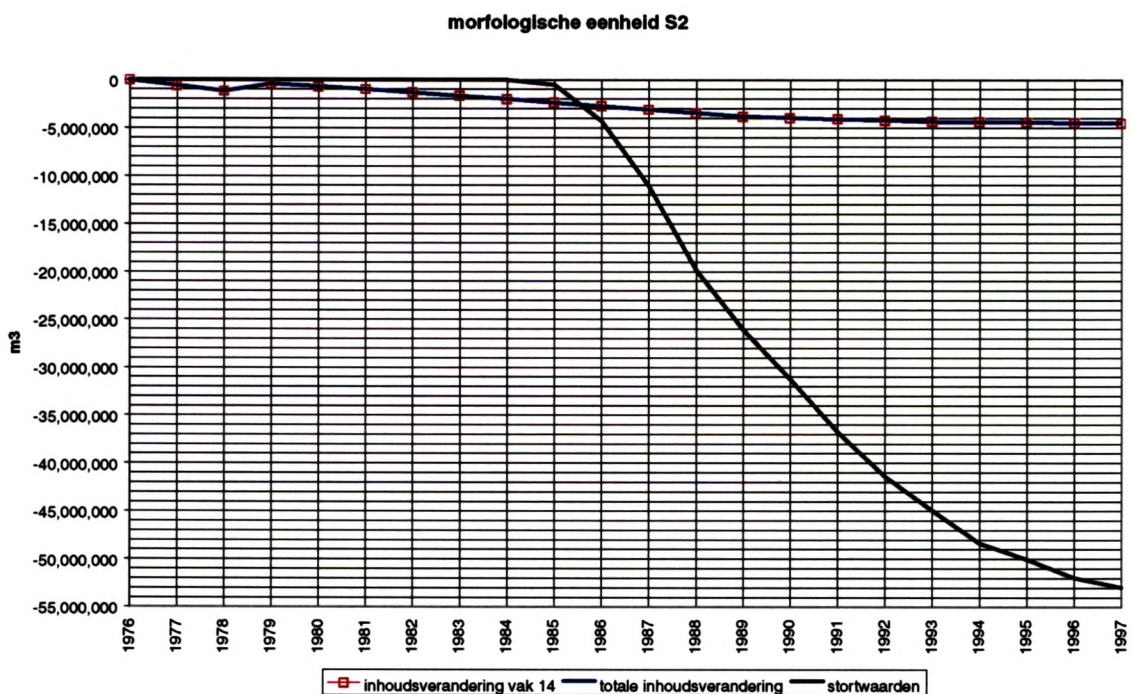
| | waterinhouds- verandering [Mm ³] morf. eenheid S1 | gecumuleerde storthoeveel- heden [Mm ³] stortplaats S1 | waterinhouds- verandering [Mm ³] morf. eenheid S2 | gecumuleerde storthoeveel- heden [Mm ³] stortplaats S2 | waterinhouds- verandering [Mm ³] morf. eenheid R4 | gecumuleerde storthoeveel- heden [Mm ³] stortplaats R4 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| periode 1976-1997 | -30.9 | -387.2 | -4.5 | -53.0 | -1.6 | -13.6 |
| periode 1976-1985 | -30.6 | -256.2 | -2.4 | -0.5 | -0.3 | -11.9 |
| periode 1985-1993 | -0.9 | -95.8 | -1.9 | -44.4 | -1.1 | -1.7 |
| periode 1993-1997 | 0.6 | -35.2 | -0.2 | -8.1 | -0.2 | 0.0 |

Tabel 4-3
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid S1, S2 en R4 met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] in stortplaatsen S1, S2 en R4



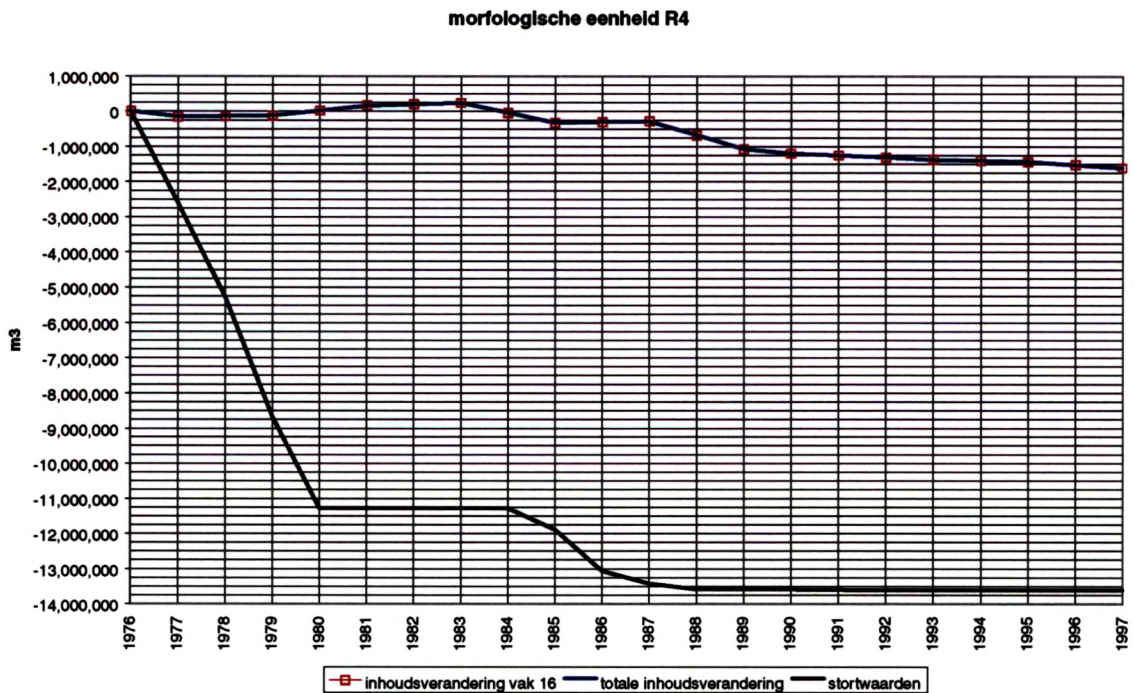
Figuur 4-2
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid S1 met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] in stortplaats S1

In de periode 1976-1997 bedraagt de afname van de waterinhoud (30.9 Mm³) in de morfologische eenheid S1 ca. 8% van het gecumuleerde stortvolume in de stortplaats S1 (387.2 Mm³). De grootste afname van de waterinhoud (en dus toename van de sedimenthoeveelheid) situeert zich in de periode 1976-1985 (aanlegbaggerwerk). Nadien neemt de waterinhoud nog nauwelijks af, niettegenstaande er nog steeds materiaal gestort wordt op stortplaats S1. Dit zou op verzadiging van de stortplaats S1 kunnen wijzen.



Figuur 4-3
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid S2 met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] in stortplaats S2

In de periode 1976-1997 bedraagt de afname van de waterinhoud (4.5 Mm³) in de morfologische eenheid S2 ca. 8% van het gecumuleerde stortvolume in de stortplaats S2 (53 Mm³). De grootste afnames van de waterinhoud (en dus toename van de sedimenthoeveelheid) situeren zich in de periode 1976-1985 (niettegenstaande deze periode gekenmerkt wordt door geringe stortvolumes op de stortplaats S2) en in de periode 1985-1993 (met belangrijke stortingen op stortplaats S2). Nadien neemt de waterinhoud nog nauwelijks af, niettegenstaande er nog steeds materiaal gestort wordt op de stortplaats S2. Dit zou op verzadiging van stortplaats S2 kunnen wijzen.

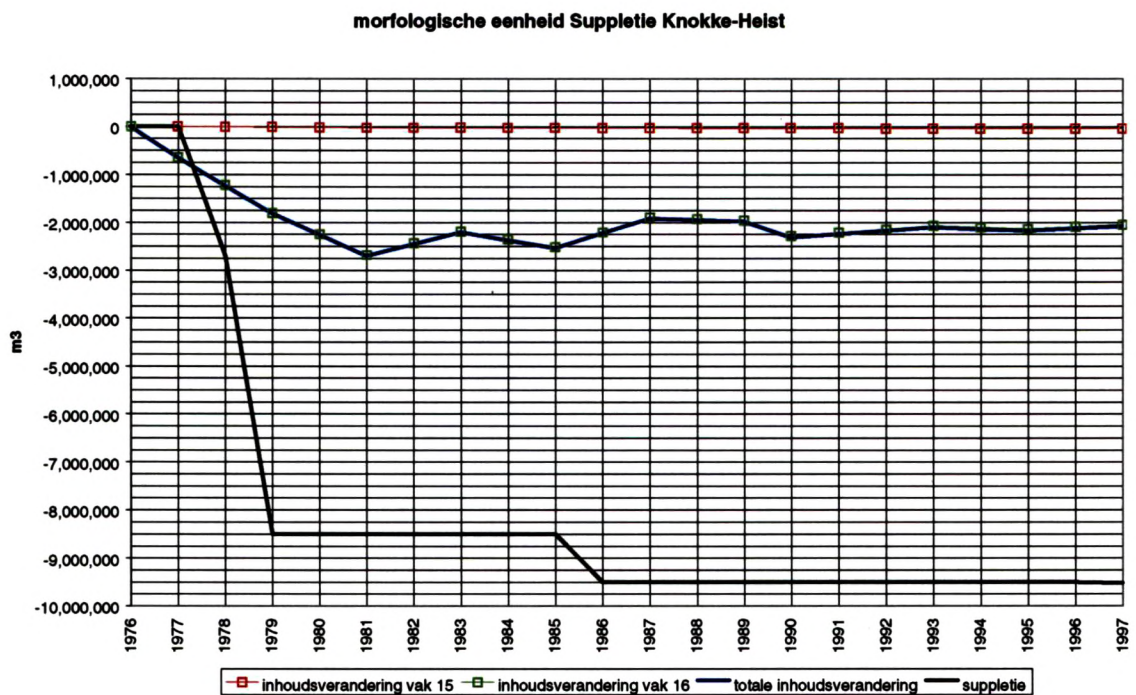


Figuur 4-4
Vergelijking van waterinhaltsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid R4 met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] in stortplaatsen R4

In de periode 1976-1997 bedraagt de afname van de waterinhoud (1.6 Mm³) in de morfologische eenheid R4 ca. 12% van het gecumuleerde stortvolume in de stortplaats R4 (13.6 Mm³). Een beperkte afname van de waterinhoud (en dus toename van de sedimenthoeveelheid) doet zich voor in de periode 1976-1985, binnen dewelke er op stortplaats R4 gestort wordt. De grootste afname van de waterinhoud situeert zich in 1985-1993, niettegenstaande er in deze periode nauwelijks gestort werd op de stortplaats R4. Nadien neemt de waterinhoud nog lichtjes af, terwijl er niet meer gedumpt wordt op de stortplaats R4. Een verklaring voor deze natuurlijke aangroei van sedimenten in de morfologische eenheid R4 is moeilijk met zekerheid te geven. Merk in ieder geval op dat het om beperkte volumeveranderingen gaat.

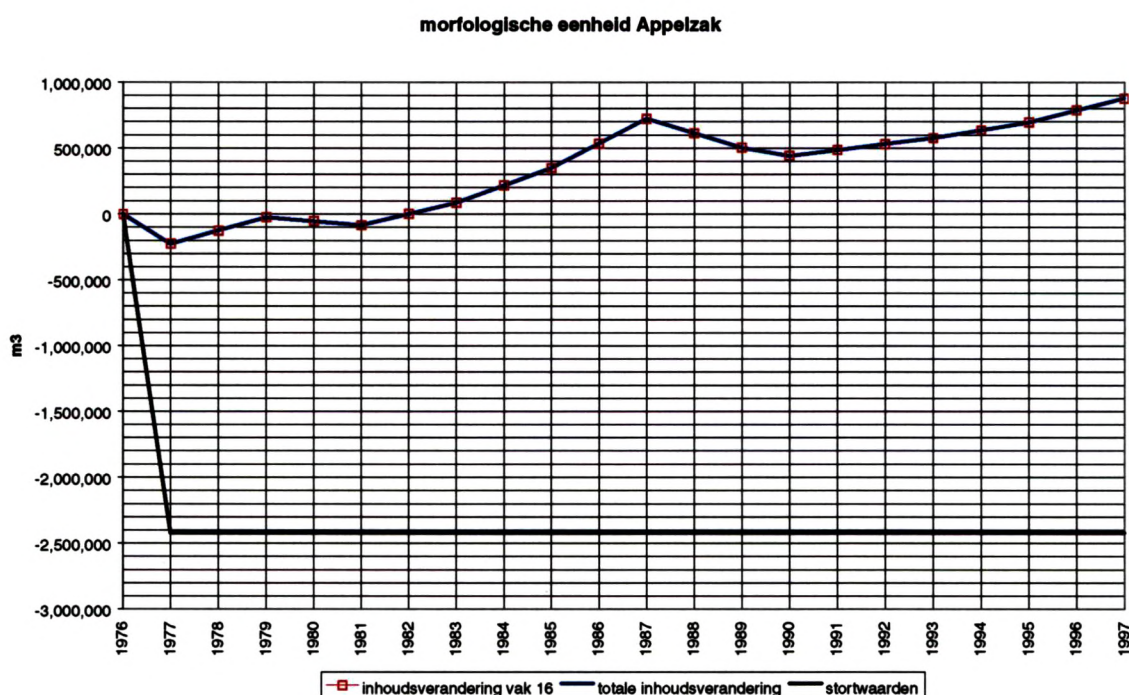
| | waterinhouds- verandering [Mm ³] morf. eenheid Strand Knokke- Heist | gecumuleerde suppleties [Mm ³] Knokke-Heist | waterinhouds- verandering [Mm ³] morf. eenheid Appelzak | gecumuleerde stortingen [Mm ³] Appelzak |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| periode 1976-1997 | -2.1 | -9.5 | 0.9 | -2.4 |
| periode 1976-1985 | -2.5 | -8.5 | 0.4 | -2.4 |
| periode 1985-1993 | 0.4 | -1.0 | 0.2 | 0.0 |
| periode 1993-1997 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 |

Tabel 4-4
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheden Strand Knokke-Heist en Getijgeul Appelzak met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] bij suppleties te Knokke-Heist en stortingen in de Appelzak



Figuur 4-5
Vergelijking van waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheden Strand Knokke-Heist en Getijgeul Appelzak met gecumuleerde stortvolumes [Mm³] bij suppleties te Knokke-Heist

In de periode 1976-1997 bedraagt de afname van de waterinhoud (2.1 Mm^3) in de morfologische eenheid Strand Knokke-Heist ca. 22% van de gecumuleerde strandsuppleties te Knokke-Heist (totaal 9.5 Mm^3 , waarbij er in deze studie – zoals reeds werd aangegeven – geen onderscheid wordt gemaakt tussen gesuppleerde volumes onder en boven NAP). De grootste afname van de waterinhoud (en dus toename van de sedimenthoeveelheid) doet zich voor in de periode 1976-1985, wat te wijten is aan de suppletie van 1977-1979. In de periode 1985-1993 neemt de waterinhoud weer toe (dus sedimenthoeveelheid vermindert) niettegenstaande de suppletie van 1986. Na 1993 verandert de waterinhoud nog nauwelijks.



Figuur 4-6

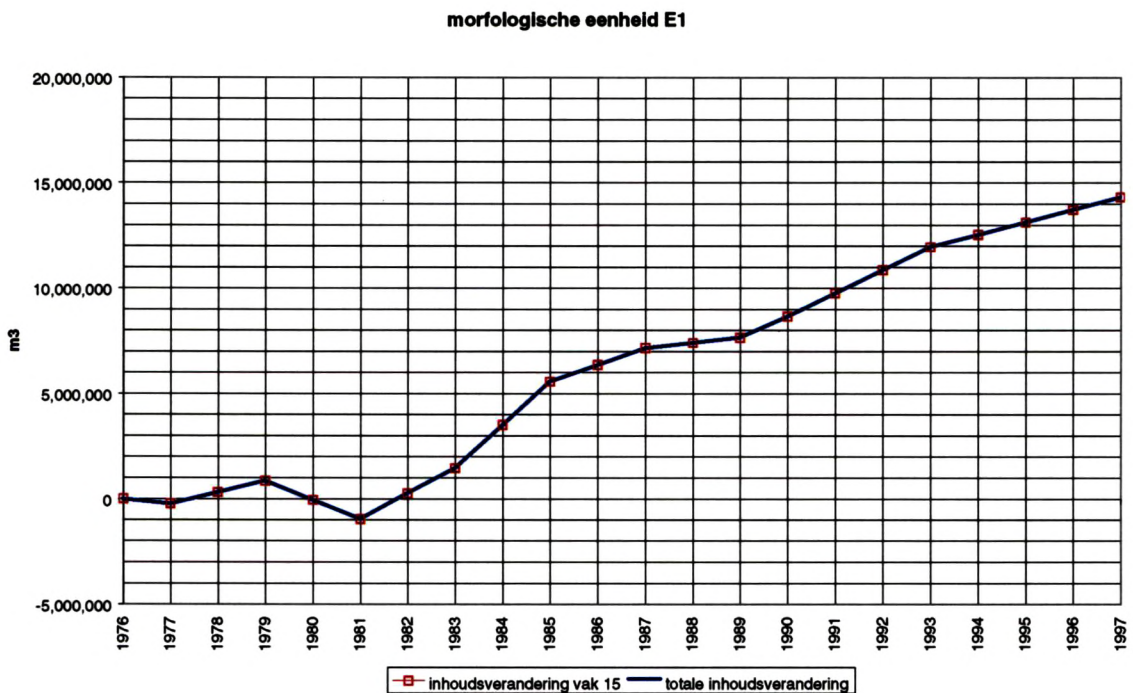
Vergelijking van waterinhaltsveranderingen [Mm^3] morfologische eenheid Getijgeul Appelzak met gecumuleerde stortvolumes [Mm^3] bij stortingen in Appelzak

In de periode 1976-1997 is er globaal een toename van de waterinhoud in de morfologische eenheid Getijgeul Appelzak (en dus een afname van de sedimenthoeveelheid).

Merk op dat er een lichte waterinhaltsvermindering optrad in de periode 1987-1990 (vermoedelijk tengevolge van de strandsuppletie te Knokke-Heist in 1986) maar nadien nam de waterinhoud gestaag toe.

| | waterinhaltsverandering morf. eenheden [Mm ³] | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | E1 | E2 | E3 | A1 | A2 | A3 |
| periode 1976-1997 | 27.6 | 27.3 | 16.1 | -2.2 | -3.9 | -16.6 |
| periode 1976-1985 | 18.9 | 15.4 | 7.7 | -1.5 | -2.5 | -6.6 |
| periode 1985-1993 | 6.4 | 8.6 | 6.1 | -0.8 | -1.2 | -8.5 |
| periode 1993-1997 | 2.3 | 3.3 | 2.3 | 0.1 | -0.2 | -1.5 |

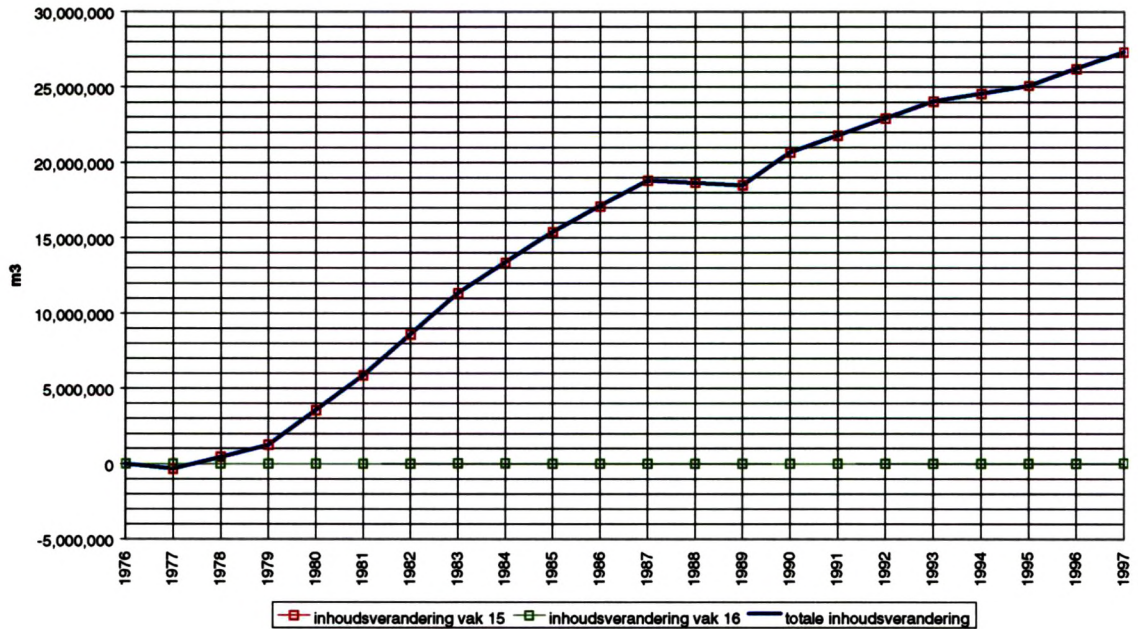
Tabel 4-5
Waterinhaltsveranderingen [Mm³] morfologische eenheden E1, E2, E3, A1, A2 en A3



Figuur 4-7
Waterinhaltsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid E1

De erosiezone E1 is vermoedelijk vooral te wijten aan de uitbouw van de Westdam te Zeebrugge (stromingscontractie). In de periode 1976-1997 is er een toename van de waterinhoud in deze morfologische eenheid met 27.6 Mm³. De grootste toename van de waterinhoud deed zich voor in de periode 1976-1985, d.i. reeds tijdens de uitbouw van Zeebrugge. De toename van de waterinhoud neemt daarna af, maar gaat nog steeds door in de periode 1993-1997.

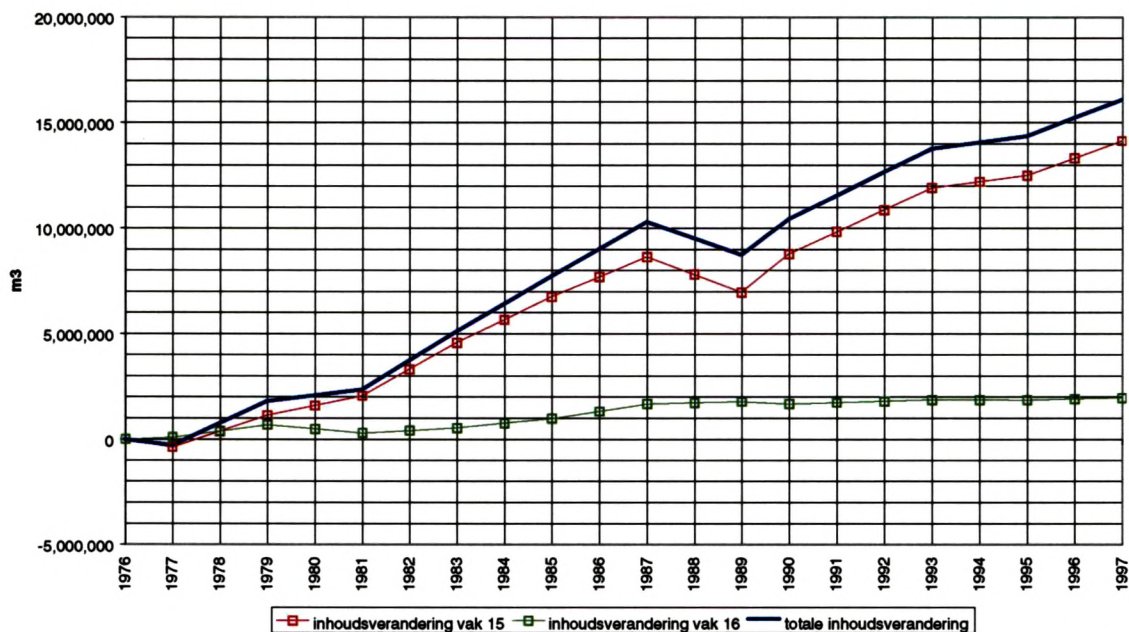
morfologische eenheid E2



Figuur 4-8
Waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid E2

De erosiezone E2 is vermoedelijk in hoofdzaak te wijten aan de uitbouw van de Oostdam te Zeebrugge (stromingscontractie). In de periode 1976-1997 is er een toename van de waterinhoud in deze morfologische eenheid met 27.3 Mm³. De grootste toename van de waterinhoud deed zich voor in de periode 1976-1985, d.i. reeds tijdens de uitbouw van Zeebrugge. De toename van de waterinhoud neemt daarna af, maar gaat nog steeds door in de periode 1993-1997.

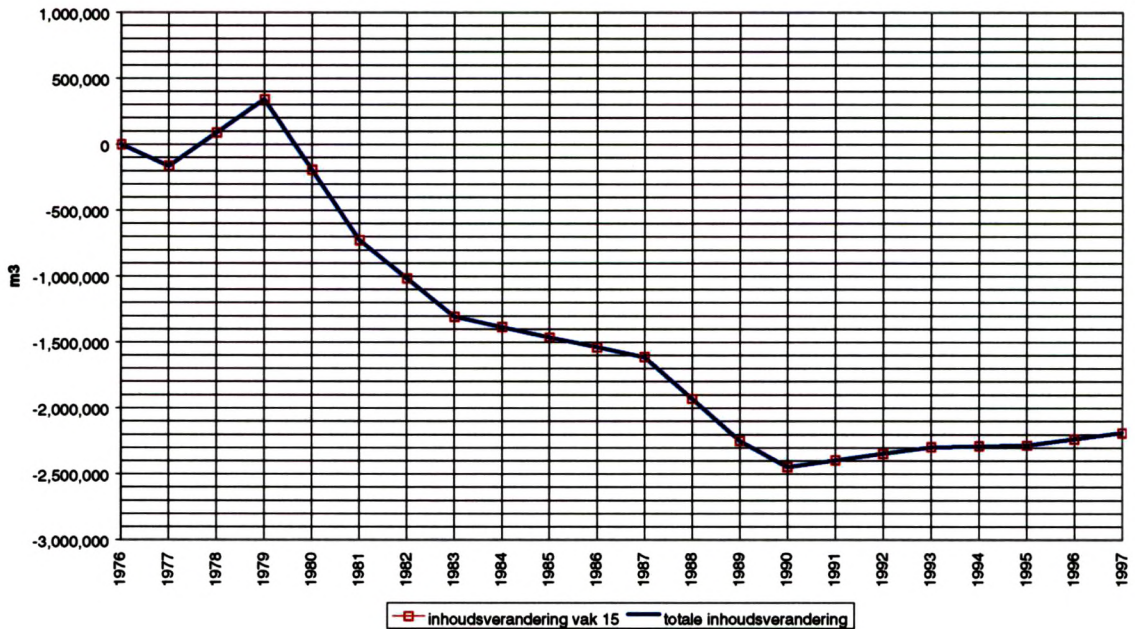
morfologische eenheid E3



Figuur 4-9
Waterinhoudsveranderingen [Mm^3] morfologische eenheid E3

De oorsprong van de erosiezone E3 is niet volledig duidelijk. In de periode 1976-1997 is er een toename van de waterinhoud in deze morfologische eenheid met 16.1 Mm^3 . Deze toename van de waterinhoud neemt niet sterk af na 1985, waaruit zou kunnen blijken dat de aanwezigheid van de erosiezone E3 eerder te wijten is aan het onderhoudsbaggerwerk in de vaargeulen (dan aan de uitbouw van de Haven van Zeebrugge).

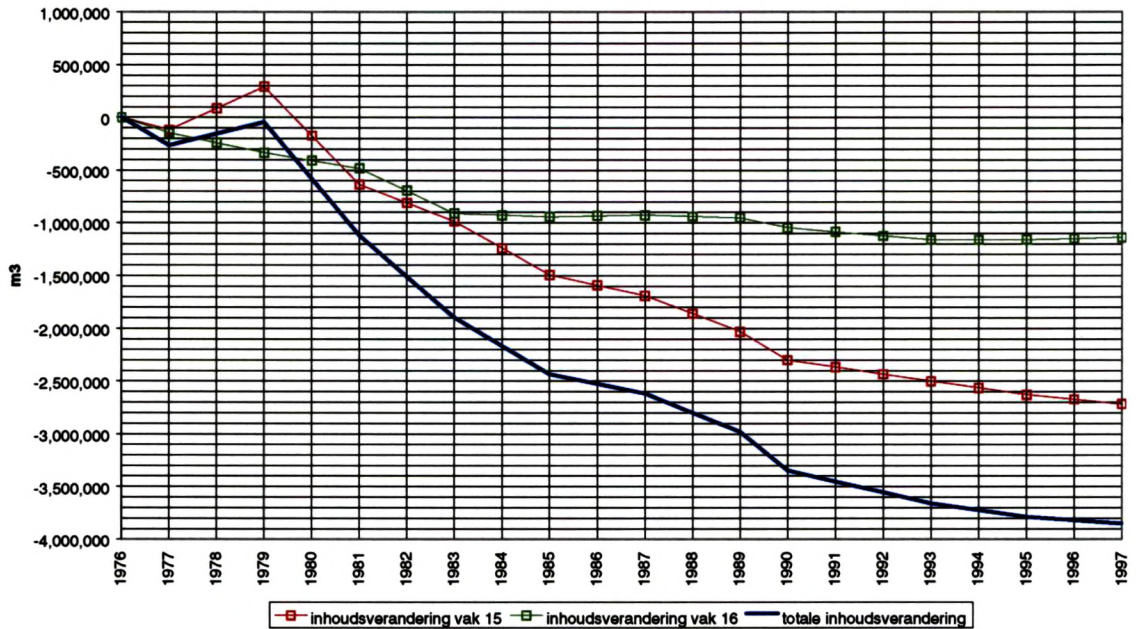
morfologische eenheid A1



Figuur 4-10
Waterinhoudsveranderingen [Mm^3] morfologische eenheid A1

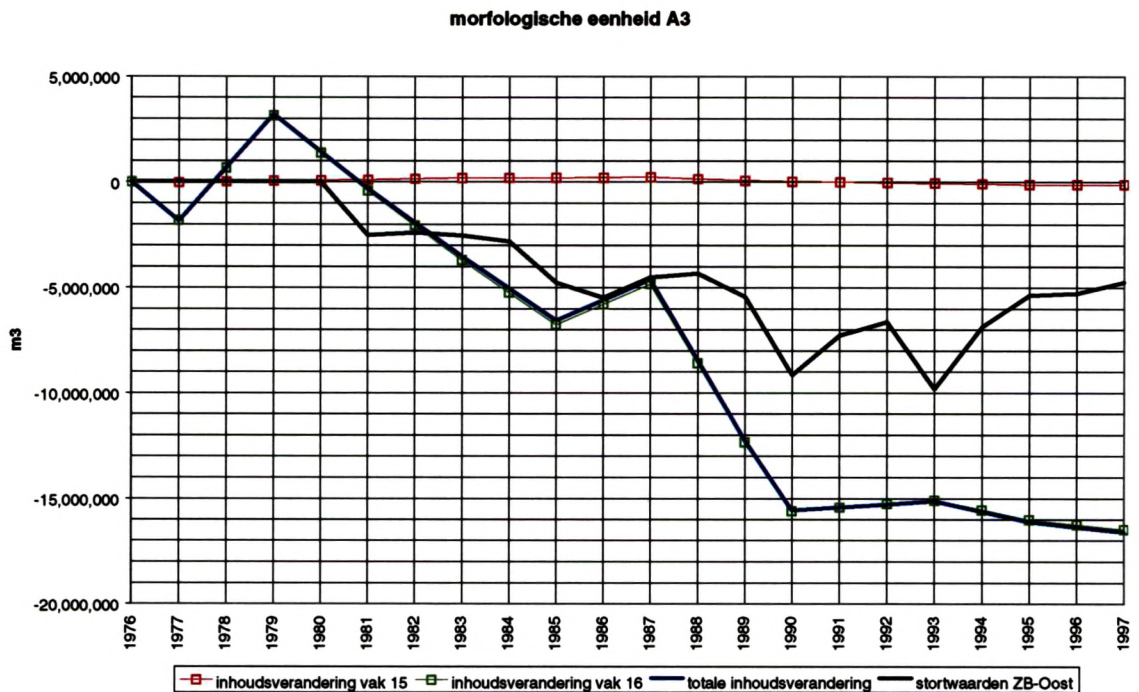
De aanzandingszone A1 is in hoofdzaak te wijten aan de uitbouw van de Westdam te Zeebrugge (blokkeren van langstransport). In de periode 1976-1997 is er een afname van de waterinhoud in deze morfologische eenheid met 2.2 Mm^3 . De grootste afname van de waterinhoud deed zich voor in de periode 1976-1985, d.i. reeds tijdens de uitbouw van Zeebrugge. Deze waterinhoudsvermindering neemt daarna af.

morfologische eenheid A2



Figuur 4-11
Waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid A2

De aanzandingszone A2 is te wijten aan de uitbouw van de Oostdam te Zeebrugge (neervorming + aanzanding door diffractie van golven rond Oostdam) en aan stortingen op de Paardemarkt. In de periode 1976-1997 is er een afname van de waterinhoud in deze morfologische eenheid met 3.9 Mm³. De grootste afname van de waterinhoud deed zich voor in de periode 1976-1985, d.i. reeds tijdens de uitbouw van Zeebrugge. Deze waterinhoudsvermindering neemt daarna af.



Figuur 4-12
Waterinhoudsveranderingen [Mm³] morfologische eenheid A3

De oorzaak van de aanzandingszone A3 is voor een deel toe te schrijven aan de stortplaats Zeebrugge-Oost. In de periode 1976-1997 is er een afname van de waterinhoud in de morfologische eenheid A3 met 16.6 Mm³. Deze afname van de waterinhoud neemt niet sterk af na 1985, waaruit zou kunnen blijken dat de aanwezigheid van de aanzandingszone A3 voor een deel te wijten is aan het storten op de stortplaats Zeebrugge-Oost (eerder dan aan de uitbouw van de Haven van Zeebrugge).

Algemene opmerkingen :

- Vermits de rekenvakken niet volledig overlappen met de morfologische eenheden Strand Knokke-Heist, aanzandingszones A1 en A2 en erosiezone E1 (zie sectie 4.1 en Figuur H1bis uit Bijlage H), dienen de weergegeven waterinhoudsveranderingen van voornoemde morfologische eenheden met omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Zo wordt het aangezand volume in A1, A2 en Strand Knokke-Heist sterk onderschat. Analoog is het geërodeerd volume in E1 ook groter dan uit de cijfers in bovenstaande tabellen en figuren blijkt.

- Met het oog op een meer volledig beeld van de erosie of aanzanding in de respectievelijke morfologische eenheden, wordt in *Tabel 4-6* een overzicht gegeven van de minimale, maximale en oppervlaktegemiddelde verdieping (positief) of verondieping (negatief) die in de periode 1976-1997 wordt aangetroffen. Deze kwantitatieve informatie is een aanvulling op de verschilkaart in Figuur H2.

| | verdieping 1976-1985 [m] | | gemiddeld |
|---------------------|--------------------------|------|-----------|
| | min | max | |
| Vaargeulen | -1.11 | 6.39 | 2.09 |
| S1 | -7.71 | 0.79 | -2.41 |
| S2 | -2.17 | 0.83 | -0.4 |
| R4 | -0.83 | 0.43 | -0.25 |
| Strand Knokke-Heist | -5.32 | 1.9 | -2.01 |
| Getijgeul Appelzak | -1.5 | 0.68 | 0.09 |
| E1 | -4.8 | 3.47 | 1.24 |
| E2 | 0.5 | 5.02 | 2.13 |
| E3 | -1.32 | 2.58 | 0.77 |
| A1 | -1.51 | 0.68 | -0.66 |
| A2 | -4.6 | 2.03 | -2.36 |
| A3 | -1.11 | 6.39 | 2.09 |

Tabel 4-6

Minimale, maximale en gemiddelde verdieping (positief) of verondieping (negatief) binnen de morfologische eenheden gedurende de periode 1976-1997

4.3 INTERPRETATIE

Aan de hand van het voorgaande materiaal kan gepoogd worden de volgende vraag van Rijkswaterstaat concreet te beantwoorden :

- *Is er verzadiging opgetreden van de huidige stortlocaties ?*

Voor stortplaatsen S1 en S2 treedt er nog nauwelijks waterinhoudsverandering op, niettegenstaande er nog steeds gestort wordt. Dit zou op verzadiging van de stortplaatsen kunnen wijzen, hoewel het ook mede het gevolg zou kunnen zijn van een veranderende samenstelling van de gebaggerde sedimenten. Volgens AWZ bevatte de baggerspecie vroeger 15 tot 30% zand, terwijl momenteel minder dan 10% zand wordt aangetroffen.

Tevens kan een nuancering aangebracht worden op het antwoord op volgende vraag, dat reeds partieel gegeven werd in sectie 3.4 :

- *Is het opgetreden zandverlies in het beschouwde zandbalansgebied voornamelijk veroorzaakt door menselijke ingrepen, of zijn natuurlijke processen de oorzaak ?*

Van de waargenomen waterinhoudstoename van 210.8 Mm³ in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond (over de periode 1976-1997) werd in sectie 3.4 uitgelegd dat ze hoofdzakelijk te wijten is aan een natuurlijke (netto) export van 335.4 Mm³ sedimenten, en minder aan de menselijke ingrepen. Deze laatste zijn volgens de inventarisatie te wijten aan 433.2 Mm³ baggerwerk en 557.8 Mm³ stortwerkzaamheden, wat resulteert in een netto stortoverschot van 124.6 Mm³. (Brengt men de 50 Mm³ zandwinning voor Zeebrugge in rekening dan vermindert het stortoverschot tot 74.6 Mm³ en dus ook het netto exportcijfer tot 285.4 Mm³.)

Merk op dat de menselijke ingrepen zijn uitgedrukt in “gestorte kubieken 2e soort” (met conventionele densiteit van 1.6 ton/m³), terwijl de waterinhoudsveranderingen worden uitgedrukt in volumes in-situ.

Wil men echter de gebruikte “gestorte kubieken 2e soort” herleiden tot de “juiste” volumes in-situ, zal dit waarschijnlijk voor effect hebben dat het stortoverschot groter zal worden. Dit komt doordat het grootste aandeel van het gestorte volume het resultaat is van onderhoudsbaggerwerken waarbij het materiaal verondersteld wordt dominant uit slib te bestaan.

Na de analyse van de waterinhoudsveranderingen van de morfologische eenheden kunnen we bovenstaande cijfers beter interpreteren en nuanceren.

Zo blijken de gerapporteerde baggervolumes (433.2 Mm³) voor 96.0 Mm³ te bestaan uit aanlegbaggerwerk (verdieping van de vaargeulen), terwijl de rest (337.2 Mm³) toe te schrijven is aan onderhoudsbaggerwerk om de vaargeulen op diepte te houden.

Wat betreft de stortwerkzaamheden, blijkt dat van de gestorte volumes (557.8 Mm³) slechts een fractie wordt aangetroffen op de stortplaatsen :

- S1 (30.9 Mm³)
 - S2 (4.5 Mm³)
 - R4 (1.6 Mm³)
 - Zeebrugge-Oost (16.6 Mm³ = morfologische eenheid A3)
 - Strand Knokke-Heist (2.1 Mm³),
- wat resulteert in een totaal van 55.7 Mm³.

Uit bovenstaande cijfers kan men afleiden dat de waterinhoudstoename van 210.8 Mm³ in de periode 1976-1997, slechts gedeeltelijk veroorzaakt is door direct menselijk ingrijpen, met name 96.0 Mm³ aanlegbaggerwerk en 55.7 Mm³ aangroei van sedimenten tengevolge van storten, of dus in totaal 40.3 Mm³ netto-waterinhoudstoename. De rest van de waterinhoudstoename (= 210.8-96.0+55.7 = 170.5 Mm³) dient dus toegeschreven te worden aan andere factoren, met name :

- indirecte gevolgen van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge door de mens (6.1 Mm³ op de aangroezones A1 en A2, 54.9 Mm³ op de erosiezones E1 en E2),
- een natuurlijke export van sedimenten uit de rekenvakken 13-14-15-16-44 (= 170.5-54.9+6.1 = 121.7 Mm³).

Merk op dat in de netto-ingrepen van 40.3 Mm³, steunend op de effectieve morfologische veranderingen tussen 1976 en 1997, het volume gewonnen in de vaargeulen en gebruikt bij de uitbouw van Zeebrugge ingecalculeerd is. Het materiaal werd ontgonnen bij aanlegbaggerwerken (verdieping vaargeulen), hetgeen resulteerde in een netto-verdieping, en dus geregistreerd is in de lodingen.

Zoals reeds besloten werd in sectie 3.4, dient ook in deze interpretatie een natuurlijke netto export ingeroepen te worden om de balans te sluiten. Het exportcijfer op basis van de zandbalans-formule (335.4 Mm³, zie sectie 3.4) kan echter sterk genuanceerd worden (tot 121.7 Mm³) indien een interpretatie op basis van waterinhoudsveranderingen van morfologische eenheden (zoals gegeven in deze sectie) wordt gehanteerd.

Tenslotte kan ook getracht worden van volgende vraag van Rijkswaterstaat te beantwoorden :

- *Wat is de invloed van het slibgehalte van de ingrepen (storten / baggeren) op de zandbalans ?*

Bij voorbaat is duidelijk dat slechts een ruwe benadering kan gegeven worden, omdat :

- de samenstelling van het zeebodemsediment niet op elk moment van de beschouwde periode (1976-1997) bekend is : in Figuur H6 uit Bijlage H (kaart gepubliceerd in 1991 op basis van o.a. trilboringen uit het begin van de jaren '80) wordt enkel een momentopname van de lithologie van de Belgische Kustwateren gegeven ;
- de interne en externe residuele sedimenttransportfluxen evenmin bekend zijn.

Bijgevolg wordt hier volstaan met de opsomming van een aantal relevante gegevens :

Ten eerste de directe menselijke ingrepen :

- Volgens AWZ bevatte de baggerspecie vroeger 15 tot 30% zand, terwijl momenteel minder dan 10% zand wordt aangetroffen. Deze percentages kunnen toegepast worden om de zandtransporten ten gevolge van baggeren en storten ruw af te schatten op basis van de totale sedimenttransporten (tijdens 1976-1997) :

- 337.2 Mm³ sedimenten verplaatst t.g.v. onderhoudsbaggerwerk,
- 557.8 Mm³ sedimenten verplaatst t.g.v. storten.

Wat betreft het aanlegbaggerwerk van de vaargeulen, verantwoordelijk voor een totaal sedimenttransport van 96.0 Mm³, gaat het eerder om geconsolideerd materiaal (klei, slib) met een grote, doch verder onbekende fractie aan fijn zand. Bijgevolg is ook het zandtransport tengevolge van aanlegbaggerwerk onbekend.

- Een bijkomende indicatie dat het gestorte materiaal voor een groot gedeelte uit slib bestaat, zou men ook indirect kunnen afleiden op basis van de geringe afname van de waterinhoud ter hoogte van de loswallen, in vergelijking met de significante volumes baggerspecie die er gestort worden.

Ten tweede de reactie van de natuur als indirect gevolg van menselijke ingrepen :

- De erosiezones E1, E2 en (in mindere mate) E3, die het (indirecte) gevolg zijn van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge door de mens, leveren een waterinhoudstoename van ca. 71 Mm³ (tijdens 1976-1997). Op basis van de lithologische kaart in Figuur H6, kan men stellen dat het geërodeerde materiaal grotendeels uit zand is samengesteld.

Ten derde de overige natuurlijke processen :

- Vak 13 kent over de periode 1976-1997 een waterinhoudstoename van 39.0 Mm³. Vermits er geen menselijke ingrepen hebben plaatsgevonden, bedraagt de netto export (= export-import door natuurlijke processen) van sedimenten dan eveneens 39.0 Mm³. Uit Figuur H6 kan men afleiden dat de sedimenten in vak 13 gekenmerkt worden door een zandfractie die groter is dan 90%.
- De getijgeul Appelzak wordt gekenmerkt door een sedimentverlies van 0.9 Mm³ (tijdens 1976-1997). Rekening houdend met de sedimentsamenstelling van het materiaal gestort in de geul of met het materiaal dat via dwarstransport werd aangevoerd vanuit het gesuppleerde strand van Knokke-Heist, kan men ook hier aannemen dat het geërodeerd materiaal zandig moet zijn.

Samenvattend en vereenvoudigend kan het volgende gesteld worden wat de invloed betreft van het slibgehalte op de berekende zandbalans (of beter : sedimentbalans). Steunend op de gegevens van AWZ berekent men een netto-export cijfer van 335.4 Mm³. Steunend op de effectieve morfologische veranderingen (en de volumeverandering eraan gekoppeld) berekent men een netto-export cijfer van 170.5 Mm³. Hierbij dient verder opgemerkt dat een deel van dit volume een indirect gevolg is van menselijke ingrepen (uitbouw Zeebrugge), waardoor de effectieve 'natuurlijke' export op 121.7 Mm³ becijferd kan worden. Het verschil tussen 335.4 Mm³ en 170.5 Mm³ (of 121.7 Mm³) van het netto-export cijfer, kan waarschijnlijk grotendeels verklaard worden door het slibgehalte van de volumes verplaatst door de menselijke ingrepen. Of nog, de door de mens verplaatste volumes zijn niet volledig terug te vinden in de lodingen, waarschijnlijk door een versnelde verspreiding van slibrijke sedimentmassa's.

5 CONCLUSIES

In dit rapport werd de sedimentbalans afgeleid voor het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond.

Enerzijds werden voor de rekenvakken 13-14-15-16-44 de waterinhoudsveranderingen tijdens de periode 1976-1997 bepaald op basis van de lodingen. Voor de totaliteit van de rekenvakken vindt men een waterinhoudstoename van 210.8 Mm³ (in-situ). Merk op dat de uitgebouwde Haven van Zeebrugge zich buiten de rekenvakken 13-14-15-16-44 bevindt.

Anderzijds werd een inventarisatie gegeven van de (directe) menselijke ingrepen tijdens de periode 1976-1997. Tengevolge van baggeren zou er een waterinhoudstoename moeten opgetreden zijn ten bedrage van 433.2 Mm³ (uitgedrukt in "gestorte kubieken 2e soort" met een referentiedensiteit van 1.6 ton/m³), terwijl de waterinhoud met 557.8 Mm³ ("gestorte kubieken 2e soort") zou moeten afgenomen zijn tengevolge van stortwerkzaamheden.

Het stortoverschot van 124.6 Mm³ is te wijten aan het storten binnen de rekenvakken 13-14-15-16-44 van materiaal dat buiten deze rekenvakken werd gebaggerd (met name in de Haven en de Voorhaven van Zeebrugge).

Merk op dat voornoemde bagger- en stortvolumes hoofdzakelijk werden afgeleid uit de (onveranderd overgenomen) officiële cijfers van AWZ, waarin geen expliciete melding wordt gemaakt van de gebaggerde volumes die aangewend zijn bij de uitbouw van de Haven van Zeebrugge (zandwinning). Indien dit volume van naar schatting 50 Mm³ toch zou meegenomen worden, daalt het hiervoor geciteerde cijfer voor het stortoverschot ($124.6 - \text{ca.} 50 = 74.6 \text{ Mm}^3$).

Op basis van de zandbalans-formule van Rijkswaterstaat werd uit bovenstaande cijfers een netto export (= export-import) van 335.4 Mm³ afgeleid. Dit impliceert dat tengevolge van natuurlijke processen (met inbegrip van de reactie van de natuur op de door de mens uitgebouwde Haven van Zeebrugge) netto 335.4 Mm³ de rekenvakken 13-14-15-16-44 hebben verlaten tijdens de periode 1976-1997. Indien de aangewende volumes van ca. 50 Mm³ voor de uitbouw van Zeebrugge expliciet in rekening zouden worden gebracht, daalt het netto export cijfer ($335.4 - \text{ca.} 50 = 285.4 \text{ Mm}^3$).

In deze studie werden tevens de waterinhoudsveranderingen bepaald van een aantal morfologisch zinvolle eenheden in het Belgische gedeelte van de Westerscheldemond. Op basis van een analyse van deze cijfers werd het mogelijk de waargenomen, totale waterinhoudstoename van 210.8 Mm³ in de rekenvakken 13-14-15-16-44 beter te interpreteren :

- ca. 40.3 Mm³ ten gevolge van directe menselijke ingrepen (baggeren, storten),
- ca. 48.8 Mm³ te wijten aan natuurlijke processen die het indirecte gevolg zijn van de uitbouw van de Haven van Zeebrugge door de mens,
- ca. 121.7 Mm³ ten gevolge van andere natuurlijke processen.

De éénduidige vertaling van hogervermelde sedimentvolumes naar zandvolumes, met andere woorden het bepalen van de invloed van de slibfractie, bleek niet mogelijk te zijn op basis van de beschikbare informatie. Evenmin kon deze studie sluitende conclusies presenteren in verband met de circulatiestromen van sediment in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond.

6 AANBEVELINGEN

Uit de hogervermelde conclusies blijkt dat enige onzekerheid bestaat omtrent de exacte kwantificering van de zandbalans in het Belgisch gedeelte van de Westerscheldemond en dit om volgende redenen :

- De geïventariseerde bagger- en storthoeveelheden (uitgedrukt in "gestorte kubieken 2e soort") dienen omgezet te worden naar geometrische verschil-volumes met één welbepaalde referentiedensiteit.
- Ook de verschil-volumes berekend uit de lodingen (waterinhoudsveranderingen tengevolge verdieping of verondieping) dienen gerelateerd te worden naar één welbepaalde referentiedensiteit, wat onmogelijk is over deze tijdspanne zonder exacte kennis van de sedimentsamenstelling en de in-situ densiteit.
- Zonder residuele transportmetingen in-situ is het niet mogelijk om conclusies te trekken omtrent de werkelijke fluxen van export/import ten opzichte van de aanzienlijke interne recirculatiefluxen.

Dit betekent dat dergelijke zandbalansen enkel interpreteerbaar zijn indien ze aangevuld worden met gedetailleerde sedimentologische informatie van het zeebodemsediment en werkelijke sedimenttransportfluxen, d.w.z. die op het terrein ingemeten zijn.

Daarom wordt hier sterk aanbevolen om de hogervermelde afgeleide zandbalans dringend te onderzoeken in functie van :

- Zeebodem-sedimentsamenstelling en wijzigingen (t.o.v. historische data)
- Werkelijke residuele zandtransport vectoren.

Pas dan, kan eventueel gedacht worden aan het verder benutten van (kwantitatieve) informatie uit de in dit rapport opgestelde zandbalans, ter validatie van sedimentologische of morfologische modellen.

7 LITERATUURVERWIJZINGEN

- [1] Anon., Ecologische Impact van Baggerspecielossingen voor de Belgische Kust, Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) en Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ), Oostende, 1993.
- [2] Cook P.J., Staudt C. en Bouckaert J., Sea Bed Sediments and Holocene Geology, Ostend, Sheet 51°N-02°E, British Geological Survey, Rijks Geologische Dienst, Belgische Geologische Dienst.
- [3] Folk R.L., Journal of Geology, 62, p. 344-359, 1954.

