

Identificatienummer : 1249760008/lvp
--------------------------------------

## Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde

Datum	Status/beschrijving revisie	Paraaf
01-09-06	rapport	MHS

### Opdrachtgever

Bedrijfsbureau Proses2010  
Postadres :  
Postbus 299  
NL-4600 AG Bergen op Zoom  
Bezoekadres :  
Jacob Obrechtlaan 3  
NL-4611 AP Bergen op Zoom

### Opdrachthouder



Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van Soresma mag geen enkel onderdeel of uittreksel uit deze tekst worden weergegeven of in een elektronische databank worden gevoegd, noch gefotokopieerd of op een andere manier vermenigvuldigd.



## INHOUD

<b>1</b>	<b>Opdrachtomschrijving .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Doel van de opdracht.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Werkwijze.....</b>	<b>8</b>
3.1	Inleiding.....	8
3.2	Indeling in deelgebieden .....	8
3.3	Opbouw van de zandbalans.....	9
3.3.1	Algemeenheden .....	9
3.3.2	Synchronisatie van de lodingsdata.....	10
3.3.3	Samenstellende delen van de zandbalans.....	10
3.3.4	Praktische uitwerking zandbalans .....	11
3.4	Verdere opbouw van dit rapport .....	12
<b>4</b>	<b>Zeeschelde.....</b>	<b>13</b>
4.1	Inleiding.....	13
4.2	Indeling in deelgebieden .....	13
4.3	Verwerking lodingsgegevens .....	13
4.4	Verwerking informatie ingrepen.....	14
4.4.1	Baggergegevens.....	14
4.4.2	Stortingsgegevens .....	15
4.4.3	Andere nuttige informatie .....	16
4.5	Verwerking van de basisgegevens.....	17
4.5.1	Verwerking lodingsgegevens .....	17
4.6	Berekenen van de zandbalans.....	19
4.6.1	Randvoorwaarden.....	19
4.6.2	Bagger- en stortgegevens.....	19
4.6.3	Globale zandbalans .....	22
4.6.4	Zandbalans per deelgebied.....	24
4.6.5	Controle randvoorwaarde Rupelmonde.....	25

4.7	Conclusies Zeeschelde .....	26
4.7.1	Algemene conclusies .....	26
4.7.2	Bepaling opwaartse randvoorwaarde Westerschelde .....	27
<b>5</b>	<b>Westerschelde .....</b>	<b>29</b>
5.1	Inleiding.....	29
5.2	Indeling in deelgebieden .....	29
5.3	Beschikbare gegevens.....	29
5.4	Verwerking lodingsgegevens .....	29
5.5	Verwerking informatie ingrepen.....	31
5.5.1	Randvoorwaarden.....	31
5.5.2	Bagger- en stortgegevens.....	31
5.5.3	Zandwinningsgegevens .....	32
5.5.4	Wrakopruiming.....	32
5.5.5	Samenvattend overzicht gegevens .....	32
5.6	Berekenen van de zandbalans.....	33
5.6.1	Randvoorwaarden.....	33
5.6.2	Bagger- en stort- en zandwinggegevens.....	33
5.6.3	Globale zandbalans van de Westerschelde .....	35
5.6.4	Zandbalans per macrocel in de Westerschelde .....	38
5.6.5	Zandbalans per rekencel in de Westerschelde .....	39
5.6.6	Doorrekening van de randvoorwaarde van Zeeschelde tot Monding per macrocel.....	40
5.6.7	Schematische voorstelling van de sedimentbewegingen .....	44
5.7	Conclusies.....	47
<b>6</b>	<b>Monding .....</b>	<b>48</b>
6.1	Inleiding.....	48
6.2	Indeling in deelgebieden .....	48
6.3	Beschikbare gegevens.....	48
6.4	Verwerking zandbalans.....	48
6.5	Verwerking van de basisgegevens.....	49
6.5.1	Verwerking lodingsgegevens .....	49

6.5.2	Randvoorwaarden .....	50
6.5.3	Bagger- en stortgegevens .....	51
6.5.4	Zandwinnings en suppleties .....	53
6.5.5	Samenvatting ingrepen .....	53
6.6	Berekenen van de zandbalans .....	54
6.6.1	Globale zandbalans van het mondinggebied .....	54
6.6.2	Resultaten vaargeul .....	56
6.6.3	Resultaten van de afzonderlijke rekenvakken .....	58
6.7	Conclusies .....	59
<b>7</b>	<b>Globale balans Schelde .....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>Kwaliteitsanalyse .....</b>	<b>63</b>
8.1	Analyse overlappende lodingen in grensgebied Zeeschelde-Westerschelde .....	63
8.1.1	Probleemstelling .....	63
8.1.2	Brongegevens .....	63
8.1.3	Methode .....	63
8.1.4	Resultaten .....	65
8.1.5	Conclusie .....	69
8.2	Randvoorwaarden Land van Saefthinghe .....	69
8.3	Oppervlakte en afbakening van het studiegebied .....	70
8.3.1	Oppervlakte .....	70
8.3.2	Afbakening .....	74
8.4	Nauwkeurigheid en evolutie van lodingen en plaatsbepaling .....	75
8.5	Onderscheid fracties zand/slib en dichtheid bagger- en stortvolume .....	76
8.6	Invloed van de gebruikte verwerkingsmethode .....	77
8.7	Grids aanvullen en <i>clipping</i> .....	77
8.8	Projectiesystemen, datums en referentiepijlen .....	79
8.8.1	Inleiding .....	79
8.8.2	Datum .....	79
8.8.3	Kaartprojecties .....	79

8.8.4	Waterpassing .....	81
<b>9</b>	<b>Algemene beschouwingen .....</b>	<b>82</b>
9.1	Verschillen met zandbalans 2004 .....	82
9.2	Invloed van 18.6 jarige tijcyclus.....	82
<b>10</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>83</b>
<b>11</b>	<b>Referenties.....</b>	<b>84</b>

## FIGUREN

Figuur 3-1:	Overzichtskaartje onderzoeksgebied .....	9
Figuur 4-1:	Omrekening van grids in verschillende projectiesystemen .....	17
Figuur 4-2:	Baggervolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2003.....	20
Figuur 4-3:	Stortvolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2003.....	21
Figuur 4-4:	Overzicht bagger- en stortvolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2005 .....	22
Figuur 4-5:	Globale zandbalans van de Zeeschelde .....	23
Figuur 4-6:	Zeeschelde - zandbalans vak 9.....	25
Figuur 4-7:	Gezamenlijke zandbalans vakken de Zeeschelde.....	26
Figuur 4-8:	Opwaartse randvoorwaarde Westerschelde .....	27
Figuur 5-1:	Baggervolumes per jaartal en per macrocel.....	33
Figuur 5-2:	Stortvolumes per jaartal en per macrocel .....	34
Figuur 5-3:	Zandwinnings per jaartal en per macrocel.....	34
Figuur 5-4:	Samenvatting van de uitgevoerde ingrepen tussen 1955 en 2004 .....	35
Figuur 5-5:	Globale zandbalans van de Westerschelde exclusief opwaartse randvoorwaarde .....	36
Figuur 5-6:	Globale zandbalans van de Westerschelde .....	37
Figuur 5-7:	Balans van macrocel 5 in de Westerschelde.....	38
Figuur 5-8:	Balans van rekencel 207 (deel macrocel 5) in de Westerschelde .....	39
Figuur 5-9:	Volledige zandbalans voor macrocel 7 van de Westerschelde .....	41
Figuur 5-10:	Volledige zandbalans voor macrocel 6 van de Westerschelde .....	41
Figuur 5-11:	Volledige zandbalans voor macrocel 5 van de Westerschelde .....	42
Figuur 5-12:	Volledige zandbalans voor cellen 310-311 .....	42
Figuur 5-13:	Volledige zandbalans voor macrocel 4 van de Westerschelde .....	43
Figuur 5-14:	Volledige zandbalans voor macrocel 3 van de Westerschelde .....	43
Figuur 5-15:	Volledige zandbalans voor macrocel 1 en 2 van de Westerschelde .....	44
Figuur 5-16:	Gemiddelde jaarlijkse transporten tussen de cellen in de Westerschelde.....	47
Figuur 6-1:	Opwaartse randvoorwaarde mondingsgebied .....	50
Figuur 6-2:	Mondingsgebied met aanduiding van belangrijkste bagger- en stortzones .....	52
Figuur 6-3:	Ingrepen in het mondingsgebied per jaargang .....	54
Figuur 6-4:	Zandbalans mondingsgebied zonder randvoorwaarden.....	55
Figuur 6-5:	Zandbalans monding met randvoorwaarden .....	56
Figuur 6-6:	Zandbalans monding: Toegang Zeebrugge en vaargeul naar Westerschelde.....	57
Figuur 6-7:	Zandbalans monding exclusief vaargeulen .....	57
Figuur 6-8:	Zandbalans vak 40 (stortzone S1).....	58

Figuur 7-1: Balans van volledig onderzoeksgebied (Rupelmonde tot Zeebrugge) .....	60
Figuur 7-2: Schematische voorstelling zandbalans voor diverse deelperiodes.....	61
Figuur 8-1: Overzicht studiegebied Zeeschelde - Westerschelde .....	64
Figuur 8-2: Verschil in gridgrootte.....	65
Figuur 8-3: Verticale afwijkingen ingevolge resolutieverschillen .....	66
Figuur 8-4: Verschillen in bathymetrie tussen datasets grensgebied Zee- en Westerschelde.....	68
Figuur 8-5: Verschillen in bathymetrie tussen 2004 en 1963 in Land van Saeftinghe .....	70
Figuur 8-6: Afbakening randvoorwaarden .....	74
Figuur 8-7: Aanvullen van een grid.....	78
Figuur 8-8: Afstands- en oppervlaktevervormingen .....	80

## TABELLEN

Tabel 4-1: Overzicht lodingen Zeeschelde .....	14
Tabel 4-2: Verdeling baggerlocaties per deelgebied .....	15
Tabel 4-3: Samenvatting ingrepen per rekenvak .....	24
Tabel 5-1: Overzicht beschikbare lodingen Westerschelde .....	30
Tabel 5-2: Overzicht globale zandbalans Westerschelde.....	32
Tabel 6-1: Overzicht beschikbare lodingsgegevens mondingsgebied .....	49
Tabel 8-1: Overzicht gebruikte bathymetrische datasets .....	63
Tabel 8-2: Procentuele en absolute afwijkingen deelgebieden .....	67
Tabel 8-3: Oppervlakte deelgebieden.....	71
Tabel 8-4: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Zeeschelde .....	71
Tabel 8-5: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Westerschelde.....	72
Tabel 8-6: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Westerscheldemonding .....	73

## BIJLAGEN

Bijlage 1: Overzicht plannen met vakindeling
Bijlage 2: Zandbalans per deelgebied voor de Zeeschelde
Bijlage 3: Zandbalans per macrocel van de Westerschelde
Bijlage 4: Zandbalans per rekencel van de Westerschelde
Bijlage 5: Zandbalans per rekencel voor mondingsgebied

## 1 Opdrachtomschrijving

In opdracht van Proses 2010, de Projectdirectie voor de uitvoering van de Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium, wordt voor de Schelde vanaf de monding van de Rupel tot voorbij de haven van Zeebrugge een zandbalans opgebouwd. Deze zandbalans bestrijkt de volledige periode waarover bruikbare data beschikbaar is (1955-2004).

Deze opdracht heeft tot doel aan de hand van de opgestelde zandbalans enig inzicht te verkrijgen in de sedimentbewegingen die optreden in het beschouwde gebied en betreft een actualisatie/uitbreiding van de eerder door RIKZ uitgevoerde zandbalansberekeningen in het rapport RIKZ/2004.20 "Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding". Deze data kan nadien aangewend worden voor het eventueel bijsturen van het beleid betreffende de toegankelijkheid van het Westerschelde-estuarium.

De opdracht omvat volgende deeltaken:

- Het uitbreiden van het eerder ontwikkelde zandbalans-model (RIKZ 2004) met aan landzijde de gebieden van de Zeeschelde tot aan de Rupelmonding en aan zeezijde de gebieden tussen Zeebrugge en de mondingszone van de Westerschelde.
- De zandbalans voor het uitgebreide gebied wordt opnieuw doorgerekend voor de periode 1955-2004. Net als in het 2004 project worden de invloeden onderzocht de 18.6-jarige cyclus en diverse hypothese die vooralsnog nodig zijn om de zandbalans te kunnen doorrekenen.
- Identificeren van de verschillen met de eerdere zandbalans zoals gerapporteerd in het rapport RIKZ/2004.20 "Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding".

## 2 Doel van de opdracht

De actualisatie van de zandbalans is enerzijds nodig om een juister beeld te krijgen van de zandbalans op basis van het gehele estuarium en niet louter op basis van de gegevens die in 2004 digitaal beschikbaar waren. Hierbij wordt nu verondersteld dat alle gegevens die er nu bestaan voor het Schelde-estuarium effectief kunnen gebruikt worden voor de nieuwe analyse: naast een actualisatie in de tijd tot 2004/2005 is ook een uitbreiding in de ruimte doorgevoerd.

Het is immers noodzakelijk dat de zandbalans ruimtelijk wordt uitgebreid met de Zeeschelde vermits het project "Verruiming Vaargeul" ook voor de helft wordt uitgevoerd op de Zeeschelde. De Zeeschelde kan derhalve niet ontbreken in de analyse van de zandbalans van het Schelde-estuarium.

Teneinde mogelijke verschillen met de eerdere RIKZ-oefening makkelijker te identificeren, wordt fundamenteel dezelfde berekeningswijze gehanteerd bij de verwerking van de beschikbare gegevens.

De technisch inhoudelijke begeleiding en opvolging werd waargenomen door:

- Youri Meersschaut, Afdeling Maritieme Toegang, Dept. Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse Overheid (kortweg AMT)
- Harm Verbeek, RWS Zeeland.

Bij de verdere technische realisatie verleenden de mensen van de Meetadviesdienst MAD-RWS advies en ondersteuning: speciale dank gaat hierbij expliciet naar Edwin Parée, Leen Dekker en Ben de Winder, net als naar Gert Jan-Liek van RIKZ-RWS.

## 3 Werkwijze

### 3.1 Inleiding

Op basis van regelmatig uitgevoerde lodingen in het onderzoeksgebied kan de (globale) variatie van het bodemprofiel in de tijd vastgesteld worden. De gegevens van de menselijke ingrepen zoals baggeren, storten, zandwinnings, wrakopruiming en dergelijke zijn in de loop der tijd eveneens vrij gedetailleerd bijgehouden. De combinatie van al deze data laat toe om de natuurlijke morfologische evolutie in het gebied te begroten. Hierdoor wordt het mogelijk om de resulterende richting van het zandtransport af te leiden alsook een idee te verkrijgen van de verplaatste hoeveelheden. Deze gegevens zullen in functie van de tijd worden beraamd. Aldus krijgt men een gedetailleerd ruimtelijk beeld over het Schelde-estuarium op verschillende tijdstippen waardoor natuurlijke evoluties en trends kunnen geïdentificeerd worden. Toch wordt hier een kanttekening geplaatst bij de term "natuurlijk". Immers, de hier omschreven natuurlijke morfologische evolutie is de evolutie van het estuarien systeem onder de impact van enerzijds de antropogene invloeden en anderzijds het fysisch milieu. De beschouwde natuurlijke evolutie (als het verschil van de resulterende toestand en de externe ingrepen) is niet te omschrijven als louter de evolutie onder de fysische impact maar ontstaat ook uit de reactie van het estuarien systeem op deze antropogene ingrepen. Als dusdanig wordt deze "natuurlijke" evolutie niet echt louter natuurlijk aangedreven. Het is dan ook misschien beter van een "netto" evolutie te praten eerder dan van een "natuurlijke".

### 3.2 Indeling in deelgebieden

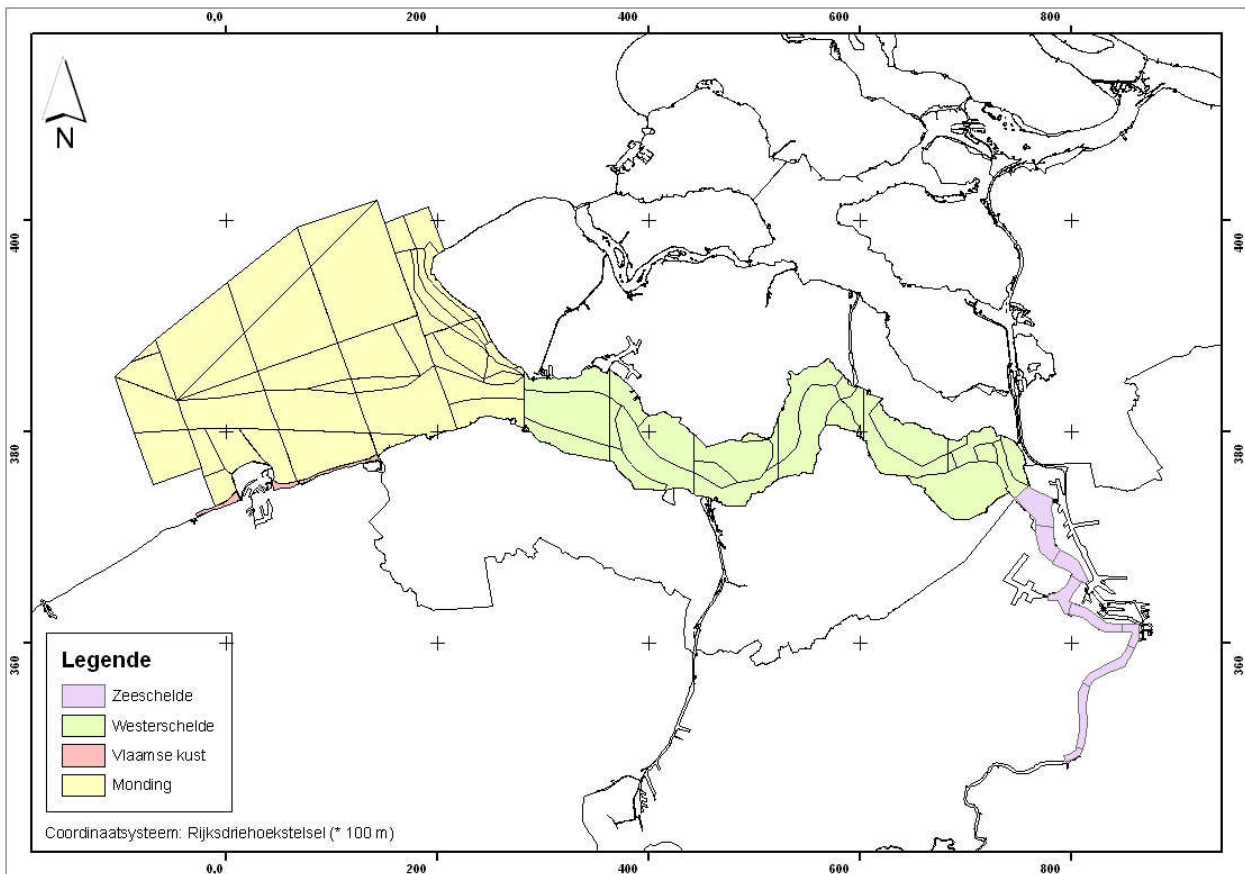
Uiteindelijk is het de bedoeling een globale balans voor het volledige onderzoeksgebied van het Schelde-estuarium op te bouwen. Om tot dat resultaat te komen wordt in eerste instantie het onderzoeksgebied opgesplitst in drie grote deelgebieden:

- de Zeeschelde (van Rupelmonde tot de Belgisch-Nederlandse grens)
- de Westerschelde (vanaf de Belgisch-Nederlandse grens tot net stroomafwaarts van Vlissingen, m.a.w. de lijn Vlissingen-Breskens)
- het mondingsgebied langs de kust tot net voorbij de haven van Zeebrugge.

Na de bepaling van de globale zandbalans van de drie deelgebieden van stroomopwaarts naar stroomafwaarts (waarbij de afwaartse rand van het ene gebied gebruikt wordt als opwaartse rand van het aansluitende gebied) worden de gegevens samengevoegd teneinde de balans voor het volledige gebied te berekenen. Tevens worden de data van de drie deelgebieden nog verder uitgesplitst binnen het betreffende deelgebied om een balans te kunnen opbouwen voor kleinere morfologische eenheden. Deze laatste moet dan toelaten om lokale sedimentbewegingen en trends van deze transportbewegingen te kunnen detecteren binnen bepaalde zones van het estuarium.

Onderstaande figuur toont het volledige onderzoeksgebied alsook de afbakening van de drie grote deelgebieden.





**Figuur 3-1: Overzichtskaartje onderzoeksgebied**

### 3.3 Opbouw van de zandbalans

#### 3.3.1 Algemeenheden

Allereerst worden alle noodzakelijke data verzameld. Dit betekent bathymetriegegevens, bagger- en stortdata, zandwingegegevens, wrakopruijningen en eventueel andere data. Zoals reeds aangehaald wordt het onderzoeksgebied ingedeeld in 3 grote eenheden (Zeeschelde, Westerschelde en Monding). Elk van deze grote deelgebieden wordt zelf ook nog ingedeeld in een aantal rekencellen.

De beschikbare data wordt uitgesplitst over de gedefinieerde rekencellen en waar nodig verdeeld over een aantal rekencellen volgens een logische verdeelsleutel (zie verderop in dit verslag).

De bathymetriegegevens (lodingsdata) worden beschouwd voor niveaus kleiner dan of gelijk aan 3.50 m NAP (of 5.82 m TAW) om vergelijkingen toe te laten met vroegere berekeningen.

Na uitsplitsing van de data per jaar en per onderzoekscel worden de beschikbare gegevens gecombineerd tot een grafiek waarin zowel de globale (resulterende) variatie, de menselijke ingrepen en de natuurlijke variatie in functie van de tijd worden voorgesteld voor elk van de individuele basisrekencellen. Op basis van deze grafieken wordt een korte beschrijving gegeven van de waargenomen evolutie en worden waar mogelijk verklaringen geformuleerd voor significante variaties of geïdentificeerde trends. Door een geschikte combinatie van deze individuele basiseenheden kunnen achteraf ook meer gebiedsdekkende analyses uitgewerkt worden voor relevante deelgebieden binnen het Schelde-estuarium.

### 3.3.2 Synchronisatie van de lodingsdata

Zoals reeds aangehaald beschikken we over meerdere datareeksen, maar deze data maakt niet altijd gebruik van dezelfde tijdsintervallen. Zo zijn de lodingsgegevens niet voor alle jaargangen beschikbaar en is het tijdstip van de loding (dag en maand) ook nog eens verschillend voor elk van de lodingen. De bagger-, stort- en zandwinggegevens daarentegen zijn op jaarbasis beschikbaar. Het is dan ook aangewezen de informatie van de lodingen te kunnen bepalen voor dezelfde periodes (van 1 januari tot 31 december van elk jaar). Dit proces noemen we de synchronisatie van de lodingsgegevens.

De synchronisatie verloop op de volgende wijze. Voor elke loding wordt eerst één datum bepaald: dit is het midden van de periode waarover de lodingen in een gebied zijn uitgevoerd. Op basis van deze lodingsgegevens wordt voor elke rekencel en voor elke loding de waterinhoud van de rekencel begroot ten opzichte van een vooraf gekozen referentieniveau (hier wordt 3.50 m NAP of 5.82 m TAW gehanteerd). Per rekencel is de variatie van deze (water)inhoud omgekeerd aan de sedimentvariatie. Een stijgende waterinhoud betekent erosie in de rekencel terwijl een dalende waterinhoud betekent dat er sedimentatie in de cel optreedt.

Uitvoering van een lineaire interpolatie op de waterinhoud van 2 opeenvolgende lodingen laat toe de waterinhoud te bepalen op een vooraf gekozen tijdstip. Omdat de andere gegevens op jaarbasis gekend zijn wordt de interpolatie doorgevoerd voor 1 januari van elk jaar. Hierdoor bekomen we in eerste instantie de jaarlijkse variatie van de waterinhoud per rekencel. Door vermenigvuldiging van de jaarlijkse variatie met min één (-1) bekomen we de sedimentvariatie ( $\Delta V_{tot}$ ) op jaarbasis. Een negatieve waarde betekent erosie terwijl een positieve waarde sedimentatie aanduidt.

### 3.3.3 Samenstellende delen van de zandbalans

Voor de opbouw van de zandbalans zijn volgende gegevens noodzakelijk:

- Variatie van de resulterende bathymetrie in de loop van de tijd op basis van de opeenvolgende lodingsgegevens
- Uitgevoerde baggerwerken waarbij zowel de baggerlocatie, het tijdstip, de baggerhoeveelheid en de samenstelling van het baggermateriaal (densiteit/zand, slib of combinatie) van belang zijn
- Uitgevoerde stortingen. Ook hier is de locatie, tijdstip, hoeveelheid en samenstelling belangrijk.
- Eventuele andere ingrepen die een invloed kunnen hebben op de zandbalans (bv. zandwinningen, wrakopruijningen, ...).

Alle nodige gegevens zijn beschikbaar gesteld door de opdrachtgever via AMT en MAD.

### 3.3.4 Praktische uitwerking zandbalans

De beschikbare lodingsgegevens worden voor elk (deel)gebied gesynchroniseerd op jaarbasis (cfr. vorige paragrafen). Voor elk jaar wordt vervolgens de resulterende volumevariatie ( $\Delta V_{\text{tot}}$ ) berekend. Gezien de beschikbaarheid van bagger-, stort en zandwingegegevens per kalenderjaar, is het logisch de interpolatie van de lodingsgegevens naar 1 januari van elk kalenderjaar door te voeren.

Alle berekeningen worden zoals gevraagd uitgevoerd ten opzichte van een vast referentievlak van 3.50 m NAP (of 5.82 m TAW). Per jaar wordt de waterinhoud van het beschouwde (deel)gebied berekend t.o.v. van het gekozen referentievlak. De variatie van deze waterinhoud stemt overeen met de volumevariatie van de bodem, maar is tegengesteld van teken. Een stijgende waterinhoud komt dus overeen met erosie in het beschouwde gebied en een dalende waterinhoud betekent dat er sedimentatie is.

Uit de gekende bagger-, stort- en zandwingegegevens per vak en per jaar kunnen de netto ingrepen per (deel)gebied ( $\Delta V_i$ ) voor elk jaar berekend worden. Hiervoor worden de stortvolumes vermindert met de som van baggervolumes en zandwinnings. Indien nodig worden ook de grondverplaatsingen ten gevolge van wrakopruijningen of werken in rekening gebracht.

Op basis van enerzijds de resulterende sedimentvolumevariatie van de rivierbodem en anderzijds de netto ingrepen in een (deel)gebied kan de "natuurlijke" variatie (erosie of sedimentatie) ( $\Delta V_{\text{nat}}$ ) berekend worden. Deze natuurlijke variatie wordt gegeven door volgende vergelijking:

$$\Delta V_{\text{nat}} = \Delta V_{\text{tot}} - \Delta V_i$$

Samenvattend worden de gebruikte termen als volgt gedefinieerd:

- $\Delta V_{\text{nat}}$ : de "natuurlijke" volumeverandering gedurende de beschouwde periode. Een positieve waarde duidt op sedimentatie terwijl een negatieve waarde wijst op erosie.
- $\Delta V_{\text{tot}}$ : de effectieve (gemeten) volumeverandering van een (deel)gebied bekomen op basis van de lodingsgegevens.
- $\Delta V_i$ : de volumeverandering in een (deel)gebied veroorzaakt door menselijke ingrepen (baggeren, storten, zandwinnings, wrakopruijningen, ...).

Alle veranderingen worden uitgedrukt op jaarbasis. Erosie, baggervolumes en zandwinnings worden als negatieve waarden uitgedrukt terwijl sedimentatie en stortvolumes als positieve waarden worden voorgesteld.

De resultaten voorgesteld op datum van bijvoorbeeld 1 juli 2000 bevatten de variaties opgetreden tussen 1 januari 2000 en 1 januari 2001:

- $\Delta V_{\text{tot}}$  = het volumeverschil in de loop van 2000 (verschil lodingsdata tussen 31 december en 1 januari)
- $\Delta V_i$  = het saldo van de ingrepen in de loop van 2000 opgetekend
- $\Delta V_{\text{nat}}$  = de "natuurlijke" variatie in de loop van 2000. Een positieve waarde betekent sedimentatie en een negatieve waarde betekent erosie (op jaarbasis).

### 3.4 Verdere opbouw van dit rapport

Zoals reeds aangehaald word het onderzoeksgebied eerst opgedeeld in drie grote zones (Zeeschelde, Westerschelde en monding). Deze deelgebieden worden dan als aparte eenheid uitgewerkt en vervolgens samengevoegd tot het volledige studiegebied van het Schelde-estuarium waarvoor de globale balans dan wordt opgesteld.

In Hoofdstuk 4 wordt de zandbalans voor de Zeeschelde opgebouwd. In dit hoofdstuk wordt zowel de globale balans als de balans voor de negen onderscheiden deelgebieden uitgewerkt.

In Hoofdstuk 5 wordt de informatie van de Westerschelde verwerkt. Ook hier wordt eerst de data van het volledige gebied onderzocht en wordt hiervoor een globale zandbalans opgesteld. Vervolgens wordt de data uitgesplitst over zeven mesocellen die vervolgens nog eens verfijnd worden tot in totaal 26 morfologische eenheden (= basisrekenellen). Voor elk van deze individuele gebieden wordt ook een zandbalans uitgewerkt.

Hoofdstuk 6 bevat alle resultaten voor het gebied van de monding. Ook hier wordt eerst een globale balans opgesteld en vervolgens het gebied opgedeeld in een aantal morfologische eenheden waarvoor een individuele balans begroot wordt.

In Hoofdstuk 7 wordt een globale zandbalans opgebouwd voor het volledig onderzoeksgebied. Hiertoe worden de resultaten van de voorgaande hoofdstukken samengevoegd tot één geheel.

Hoofdstuk 8 formuleert een aantal kanttekeningen bij de algemene kwaliteit en bijhorende sensitiviteitsanalyse bij de doorgerekende zandbalansoefening. Hier wordt kort geschetst waar en hoe de nauwkeurigheid en gevoeligheid van de doorgerekende zandvolumes liggen.

In Hoofdstuk 9 tenslotte worden tot slot een aantal vaststellingen en conclusies geformuleerd op basis van de bekomen resultaten.

## 4 Zeeschelde

### 4.1 Inleiding

Het deel van de Zeeschelde dat in rekening gebracht wordt bij de hier ontwikkelde opbouw van de zandbalans voor het volledige Schelde-estuarium strekt zich uit vanaf de monding van de Rupel tot aan de Belgisch-Nederlandse grens. Ter hoogte van de grensovergang wordt niet volledig de exacte grenslijn gevolgd maar wordt de grenslijn zoals aanwezig op de linkeroever nagenoeg recht doorgetrokken tot op de rechteroever. Een detailfiguur van dit deelgebied is opgenomen in Bijlage 1. In deze figuur is eveneens de indeling in negen deelgebieden opgenomen.

Deze deelgebieden zijn in onderling overleg met de technische begeleiders gedefinieerd en vastgelegd.

### 4.2 Indeling in deelgebieden

Naast een zandbalans voor de volledige Zeeschelde van Rupelmonde tot de Belgisch-Nederlandse grens wordt de zandbalans ook opgebouwd voor een aantal kleinere deelgebieden. Hierdoor wordt het enerzijds mogelijk de lokale variaties beter in beeld te brengen en anderzijds verklaringen te formuleren voor plotse wijzigingen in de data. Tevens krijgt men een specifiek beeld op de samenstellende onderdelen van de globale zandbalans van de Zeeschelde en hun onderlinge verhouding in de totale balans.

Gezien de beperkte breedte van de Schelde op Belgisch grondgebied wordt geopteerd voor cellen die de volledige breedte van de Schelde bevatten (vanaf dijk linkeroever tot dijk rechteroever). In totaal wordt de Zeeschelde ingedeeld in negen vakken die genummerd worden vanaf Rupelmonde tot aan de grens. In Bijlage 1 zijn plannen, op een overzichtelijke schaal van de Zeeschelde opgenomen met de indeling in vakken (Figuur 1a), en een indicatieve aanduiding van de gebruikte bagger- en stortlocaties (Figuren 1b en 1c).

De indeling in de negen vakken volgt principieel de vakindeling van de lodingen en is vroeger reeds bepaald en vastgelegd door AMT.

### 4.3 Verwerking lodingsgegevens

Voor de Zeeschelde zijn maar een beperkt aantal lodingsgegevens beschikbaar. Er is slechts om de 10 jaar een registratie van de resulterende bathymetrie uitgevoerd. Dit betekent dat voor de opbouw van een jaarlijkse zandbalans deze discrete data zullen moeten geïnterpoleerd worden naar tussenliggende jaren (synchronisatie). Deze interpolatie gebeurt principieel steeds lineair tussen de respectievelijke volumes (waterinhoud), zoals berekend uit de discrete (10-jaarlijkse) lodingsgegevens. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de data van de uitgevoerde lodingen in de Zeeschelde.

**Tabel 4-1: Overzicht lodingen Zeeschelde**

Loding	Gemiddelde datum
1930	1/1/1930
1950	1/7/1950
1960	1/7/1960
1970	1/7/1970
1980	1/7/1980
1990-1991	1/7/1990
2002-2003	1/1/2002

Omdat het uitvoeren van een loding van de volledige Zeeschelde niet op een korte tijd kan gebeuren wordt als referentiedatum het gemiddelde tussen begin- en einddatum van de lodingen aangenomen. Deze referentiedatum wordt dan verderop gebruikt om de lodingsdata te interpoleren naar 1 januari voor elk van de tussenliggende jaren. Omdat de laatste lodingsdata dateren van 2002 is het niet mogelijk de zandbalans voor de Zeeschelde te bepalen voor de meest recente jaargangen. Extrapolatie van de lodingsdata is niet aangewezen.

De lodingsgegevens zijn slechts éénmaal per periode van 10 jaar opgemeten. Dit betekent dat hierdoor de werkelijke zandbalans voor de tussenliggende jaren minder betrouwbaar is. Bij de berekeningen van de zandbalans op jaarbasis worden berekende volumes (waterinhoud) behorend bij de discrete lodingsgegevens namelijk lineair geïnterpoleerd waardoor er afwijkingen kunnen ontstaan ten opzichte van de werkelijk opgetreden variatie.

De digitale lodingsgegevens zijn ons toegeleverd door AMT onder de vorm van een ESRI-grid met een pixelresolutie van 5 meter onder het UTM-projectiesysteem. Binnen de Vlaamse instellingen worden veel GIS-data opgeslagen en verwerkt in UTM zone 31 met als datum de ED50. Dit systeem heeft als basis de hoekgetrouwe cilindrische projectie van Mercator. Dit projectiesysteem wijkt af van het in Nederland standaard gebruikte RD-systeem; doch bij de berekening van de volumevariëaties binnen eenzelfde projectiesysteem spelen de verschillen in projectie geen enkele verder rol.

## 4.4 Verwerking informatie ingrepen

### 4.4.1 Baggergegevens

De baggergegevens zijn beschikbaar gesteld door AMT. De ontvangen data beslaat de periode 1931 tot en met 2005. Zoals hierboven reeds gemeld is de meest recente data niet onmiddellijk bruikbaar voor de verwerking in de zandbalans bij gebrek aan bathymetriegegevens voor de laatste jaren.

Voor de hier ontwikkelde zandbalansoefening voor de Zeeschelde zijn de baggergegevens tot en met 2003 beschikbaar gesteld in een excel-bestand waarin per baggerlocatie volgende gegevens zijn opgenomen:

- Jaartal van baggeren
- Baggerhoeveelheid die gestort is en benaming van de bijhorende stortlocatie
- Baggerhoeveelheid die opgespoten is en benaming van de bijhorende opspuitlocatie.

Op basis van deze datafile kan een tabel opgebouwd worden waarin per baggerlocatie de jaarlijkse baggerhoeveelheid kan opgenomen worden.

Voor de jaren 2004 en 2005 is meer gedetailleerde spatio-temporele informatie beschikbaar betreffende deze gegevens. Hier is ook een uitsplitsing van de uitgevoerde baggerwerken op maandbasis beschikbaar. Maar zoals reeds gezegd zal deze informatie momenteel niet gebruikt worden in de zandbalans omdat de bathymetrie van de overeenstemmende jaren niet beschikbaar is.

In de loop van de beschouwde periode (1931-2005) is op een 40-tal locaties in het beschouwde deel van de Zeeschelde gebaggerd. Al deze locaties zijn (benaderend) aangeduid op het plan in Bijlage 1. Belangrijk hierbij is de plaatsing van de baggerzone in het juiste deelgebied. Voor oudere bagger- en stortlocaties zijn slechts omschrijvingen beschikbaar maar is geen exacte ligging gekend. Van de belangrijkste baggerlocaties van de laatste jaren is een omhullende van de baggerzone gekend die eveneens op het vermelde plan is weergegeven (Bijlage 1 - Figuur 1b). Beschouwen we de negen deelgebieden van de Zeeschelde dan blijken enkele van deze baggergebieden verspreid te liggen over twee deelgebieden. Om toch een uitsplitsing per deelgebied te kunnen maken is gebruik gemaakt van de oppervlakteverhouding: de gebaggerde hoeveelheid wordt verondersteld gelijkmatig en recht evenredig met de ingenomen oppervlakte over de baggerzone verdeeld te zijn. Deze gelijkmatige verdeling is zeker niet voor alle jaartallen en voor alle baggerzones gerespecteerd, maar bij gebrek aan meer gedetailleerde informatie is dit een logische en aanvaardbare aanname.

In onderstaande tabel zijn de betreffende baggerzones opgesomd die over twee deelgebieden verspreid liggen en zijn de gebruikte verdeelcoëfficiënten aangeduid.

**Tabel 4-2: Verdeling baggerlocaties per deelgebied**

<b>Benaming baggerlocatie</b>	<b>Verdeling deelgebieden</b>
Drempel van Zandvliet	Westerschelde vak 1: 0 % Zeeschelde vak 9: 100 %
Drempel van Frederik	Vak 9: 12.23 % Vak 8: 87.77 %
Drempel van Lillo	Vak 8: 26.77 % Vak 7: 73.33 %
Drempel van de Parel	Vak 7: 48.26 % Vak 6: 51.74 %

De baggerzone ter hoogte van de "Drempel van Zandvliet" is deels gelegen in deelgebied 9 van de Zeeschelde en deels in vak 1 van de Westerschelde. Na overleg met de opdrachtgever is ervoor geopteerd om de volledige baggeractiviteit toe te kennen aan deelgebied 9 van de Zeeschelde niettegenstaande dit deel slechts 64 % van de totale oppervlakte van de baggerzone omvat. Deze aanname is gebaseerd op het feit dat de baggerwerken zich voornamelijk concentreren in de zone die de aansluiting geeft tot de toegangseu naar Zandvliet- en Berendrechtsluis en (bijgevolg) volledig binnen deelgebied 9 van de Zeeschelde gelegen zijn.

#### **4.4.2 Stortingsgegevens**

Deze gegevens zijn samen met de baggergegevens beschikbaar gesteld. In deze file is volgende informatie betreffende de stortgegevens beschikbaar:

- Jaartal van storten
- Benaming stortlocatie en gestorte hoeveelheid
- Benaming opspuitlocatie en opgespoten hoeveelheid.

In Bijlage 1 - Figuur1c zijn de stortlocaties voorgesteld. De recent gebruikte zones zijn via een omhullende aangeduid terwijl de andere enkel door een punt aangeduid zijn.

Op basis van deze excel-file is een tabel opgebouwd waarin per stortlocatie en per jaartal de gestorte hoeveelheden zijn opgenomen. Deze tabel dient als basis voor de opbouw van zowel de globale zandbalans van de Zeeschelde als de zandbalans per deelgebied (vak).

Ook hier zijn de stortgegevens van de jaren 2004 en 2005 beschikbaar maar om dezelfde reden als in de vorige alinea worden deze voorlopig niet verder verwerkt. Verdere detaildata van de opgespoten hoeveelheden is in het kader van deze opdracht niet van belang. Deze hoeveelheden verdwijnen uit het systeem en hebben dus geen verdere invloed op de zandbalans.

#### 4.4.3 Andere nuttige informatie

In de Zeeschelde is geen detailinformatie gekend van wrakopruiming. Bij de opstelling van de zandbalans wordt er dan ook van uitgegaan dat er geen wrakopruiming van noemenswaardige grootte plaatsvonden. Ter hoogte van de "Schaar Ouden Doel" en "Plaat van Doel" vinden sedert 1981 regelmatig zandwinnings plaats.

Naast het gewone onderhoudsbaggeren en storten zijn er in de Zeeschelde heel wat werken uitgevoerd in de periode 1930-2005. Behalve de bouwkundige aspecten van deze werken (kaaimuren - sluizen - dammen - ...) gingen deze werken meestal gepaard met extra bagger- en stortactiviteiten. De hoeveelheden van deze bijkomende bagger- en stortwerkzaamheden zijn opgenomen/verwerkt in de inventarisatie van de beschikbaar gestelde bagger- en stortgegevens. Toch is het nuttig om de periodes te kennen waarin elk van deze grote havenwerken, in- en aansluitend aan de Schelde, zijn uitgevoerd. Deze data is vooral interessant bij de interpretatie van de uiteindelijke resultaten en kan nuttig zijn voor de verklaring van plots optredende variaties in de zandbalans.

Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste werken:

- Bouw Boudewijnsluis na de tweede wereldoorlog. Deze sluis is gelegen naast de Van Cauwelaertsluis (die tot 1962 Kruisschans genoemd werd).
- Bouw Kallosluis rond 1971 op Linkeroever
- Bouw Zandvlietsluis eind jaren '60 (??) inclusief aanleggen toegangsegeul
- Bouw Berendrechtluistussen 1981 en 1990 (naast Zandvlietsluis)
- Bouw Europaterminal (of Containerkaai Zuid) tussen 1987 en 1990. Deze containerterminal is gelegen onmiddellijk stroomopwaarts (rechteroever Schelde) van de toegangsegeul tot Zandvliet- en Berendrechtluist.
- Bouw Noordzeeterminal (of containerkaai Noord) in de periode 1995-1997. Deze containerterminal is gelegen onmiddellijk stroomafwaarts (rechteroever Schelde) van de toegangsegeul tot Zandvliet- en Berendrechtluist.
- Bouw Deurganckdok: In het voorjaar van 2005 is de verbinding met de Schelde gerealiseerd.

Voornamelijk de bouw van de Zandvlietsluis en bijhorende verbinding naar de Schelde (toegangsegeul) heeft voor grote volumeverplaatsingen gezorgd.

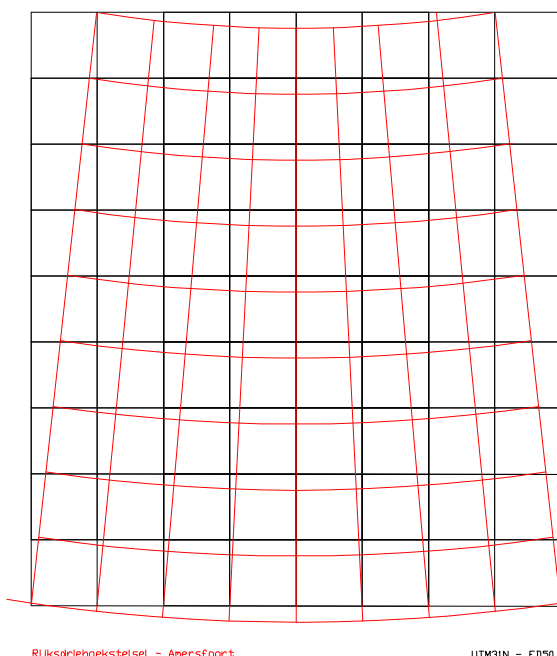


## 4.5 Verwerking van de basisgegevens

### 4.5.1 Verwerking lodingsgegevens

Aan de hand van de lodingsgegevens is het mogelijk om een variaties in waterinhoud doorheen de jaren te berekenen. Hiervoor dient alle data afgesteld te worden op elkaar en dat vergt natuurlijk het vastleggen van een uniforme standaard. Er is hier geopteerd om alle hoogtemetingen om te zetten naar Normaal Amsterdams Peil (NAP). Voor de horizontale coördinaten is bij de Zeeschelde gekozen voor de UTM31-ED50-projectie.

De volumeberekeningen zijn gemaakt met behulp van het softwarepakket Arc/Info 8 van ESRI. De omzetting naar het vooropgestelde uniforme projectiesysteem RD (Rijksdriehoekstelsel) vraagt dat ieder punt in de dataset moet herberekend worden naar een nieuwe locatie. Gezien we hier met grids met geïnterpoleerde data werken, zorgt dit voor extra problemen. Onderstaande Figuur 4-1 toont de verschillen in translatie en rotatie tussen twee projectiesystemen. De centra van de geïnterpoleerde cellen krijgen een nieuwe locatie in RD waardoor de vorm van de Zeeschelde eigenlijk een beetje wordt vervormd. Bij het hergridden van deze data in RD komen deze afwijkingen tot uiting met als gevolg dat de punten in de dataset niet meer correct zijn en dat er een oppervlaktevervorming optreedt. De transformatieproblemen zijn niet softwaregebonden maar wel eigen aan de mathematische omzetting tussen projectiesystemen. Hierdoor is dan ook voor de verdere berekeningen van de Zeeschelde gekozen om het oorspronkelijke projectiesysteem te behouden als basis voor de volumeberekeningen. Naar volumebepaling op zich heeft het gekozen projectiesysteem uiteindelijk geen enkele invloed; zolang binnen één oefening maar met een zelfde referentie wordt gewerkt.



**Figuur 4-1: Omrekening van grids in verschillende projectiesystemen**

- Controle van de beschikbare data - volledigheid

De 10-jaarlijkse lodingen van de Zeeschelde toegeleverd door AMT zijn opgemaakt in een ESRI-grid met horizontale resolutie van 5 m. Iedere pixel in het grid heeft een X-,Y- en Z-coördinaat. Met een horizontale resolutie van 5 m wordt bedoeld dat bij twee aaneenliggende cellen, het centrum van beide cellen op 5 m afstand van elkaar liggen voor zowel de noordzuid als de oostwest oriëntatie.

De pixelwaarde achter de Z-coördinaat geeft de diepte weer uitgedrukt in meter met een geïnterpoleerde precisie van vier cijfers na de komma. Het grid heeft als instelling een *single precision* waardoor het mogelijk is om cijfers na de komma uit te drukken. Het gebruikte referentieniveau is de gemiddeld laag laagwaterstand bij springtij (GLLWS). Aangezien GLLWS een plaatsafhankelijke referentie langsheen het Schelde-estuarium vormt, is tussen dit niveau en de tweede algemene waterpassing (TAW), dat als basis dient voor de topografie in België, een variabel plaatsafhankelijk verschil van 20 cm tot 50 cm te noteren. GLLWS ligt lager dan TAW. Naast de plaatsafhankelijkheid van GLLWS is er ook een (beperkte) variatie in de tijd. Meer info is terug te vinden in *Getijtafels 2006 voor Oostende, Zeebrugge, Vlissingen, Prosserpolder, Antwerpen en Wintam van de Vlaamse hydrografie*.

Die plaatsafhankelijke offset-waarde tussen TAW en GLLWS werd geleverd door AMT onder de vorm van een ruimtelijk ESRI-grid beeld met 50 m resolutie. Hieronder in "gebruikte rekenroutines" wordt de verdere verwerking uitgelegd.

- Gebruikte rekenroutine

Vooraleer effectief volumes kunnen worden berekend voor de respectieve lodingen dient de brondata te worden bewerkt. Hiervoor zijn principieel twee soorten gegevens nodig: enerzijds de lodingsdata in rasterformaat (grid) en anderzijds de vakindeling in vectorformaat (shape of coverage). Deze gegevenstypen dienen correct gerefereerd te zijn ten opzichte van elkaar.

De rastergegevens voor de lodingen van 1930 t.e.m. 2002-2003 bedekken niet allemaal hetzelfde gebied. In de loop der jaren zijn verschillende waterbouwkundige werken uitgevoerd die ervoor hebben gezorgd dat de oppervlakte van de vaklodingen veranderd is. In jaar X kan de oppervlakte groter zijn dan in jaar X +10, waardoor de volumes van beide jaren bij voorbaat al niet met elkaar vergelijkbaar zijn. Als oplossing wordt de gemeenschappelijke zone van beide vaklodingen op basis van *clipping* gebruikt. Voor de Westerschelde is een andere techniek gebruikt, namelijk aanvullen ontbrekende data met gegevens van een vorige vakloding en dan *clipping*. Gezien de vaklodingen in de Westerschelde elkaar snel opvolgen (gemiddeld 1-2 jaar) is deze techniek voor dit deel van het studiegebied te rechtvaardigen. Voor de Zeeschelde is het verschil in tijd tussen twee vaklodingen echter tien jaar. In tien jaar tijd verandert de situatie in de geul sterk onder invloed van ondermeer bagger- en stortwerken, maar ook door natuurlijke morfologische evoluties, met als gevolg dat het grid aanvullen niet meer zonder risico is. De veiligste oplossing is hier dus het berekenen van een (maximale) gemeenschappelijke lodingszone.

Vervolgens werden alle verticale coördinaten van de rasterdata herleid van de plaatsafhankelijke GLLWS-referentie naar het absolute referentieniveau TAW. Voor het berekenen van de zandbalans worden bathymetriegegevens tot op een niveau van 3.50 m NAP meegenomen, ofwel 5.82 m TAW. (TAW = NAP -2.32 m).

Een volgende stap is het omzetten van het datatype met *single precision* naar *integer* en deze uitdrukken in centimeter; opdat de rasters bruikbaar worden voor de volumeberekening in Arc/Info waarin voor iedere cel het watervolume tot 5.82 m TAW wordt bekomen. Per geïdentificeerd deel wordt zo per jaar de waterinhoud bekomen die de basis is voor verdere berekeningen in de zandbalans.

## 4.6 Berekenen van de zandbalans

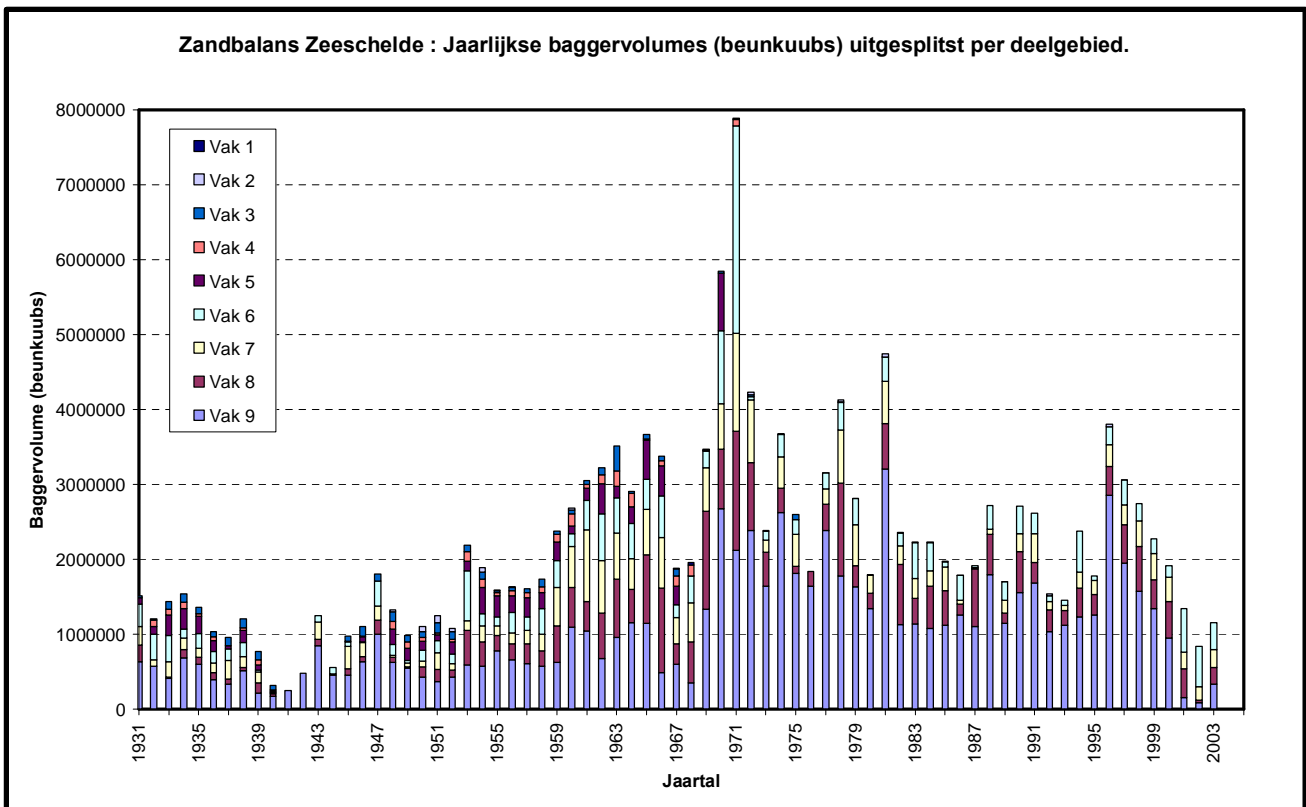
### 4.6.1 Randvoorwaarden

Bij de opbouw van de zandbalans van de Zeeschelde wordt verondersteld dat het transport van vast materiaal (zand) ter hoogte van de opwaartse rand van het onderzoeksgebied (de Rupelmonding) klein tot verwaarloosbaar is. Deze aanname, die vrij realistisch lijkt te zijn, is genomen in overleg met de opdrachtgever en is vooral gebaseerd op de praktische terreinkennis van de opdrachtgever.

### 4.6.2 Bagger- en stortgegevens

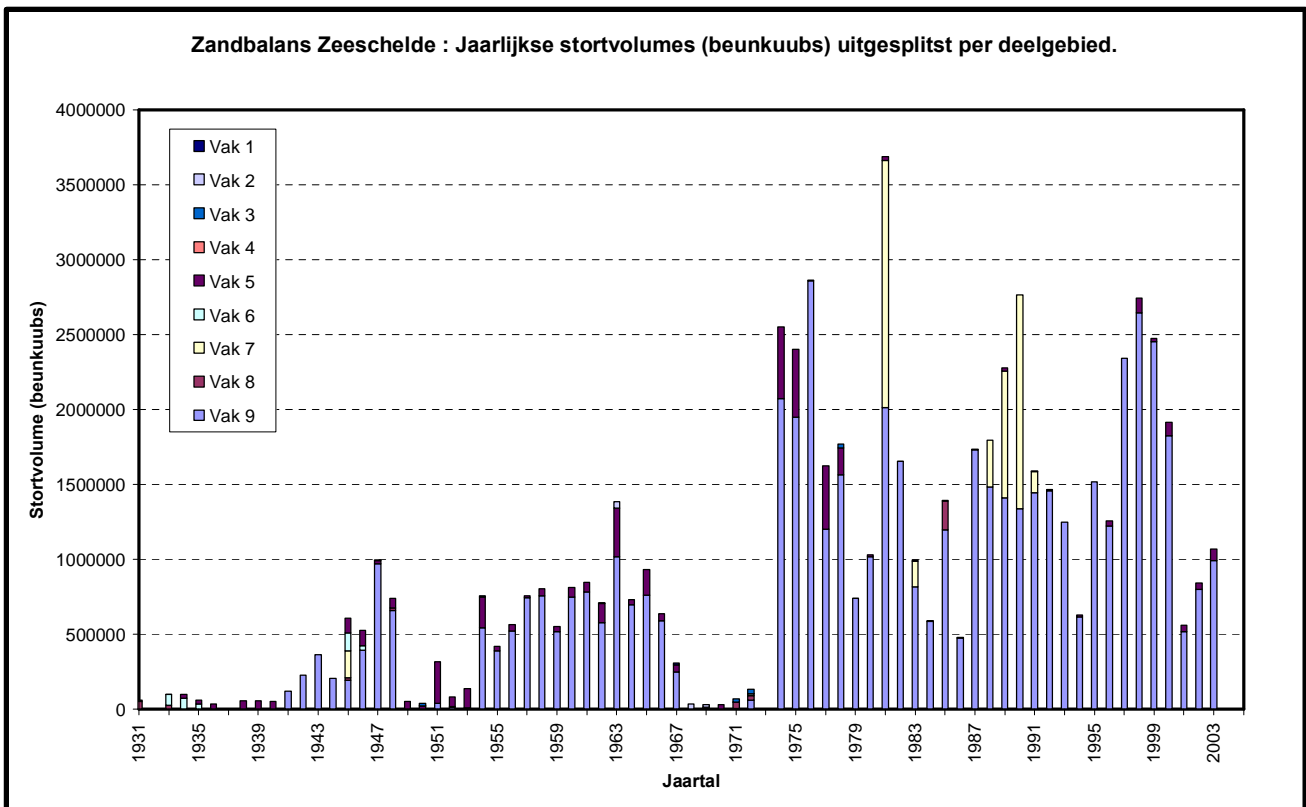
De beschikbaar gestelde bagger- en stortvolumes zijn in eerste instantie uitgesplitst volgens jaartal en volgens deelgebied. De initiële volumes zijn weergegeven in beunkuubs. Dit betekent dat voor de omrekening naar gestorte volumes een correctie moet gebeuren. In principe is deze correctie afhankelijk van het type materiaal dat gebaggerd is. Voor de data tot en met 2003 is meestal geen duidelijke/volledige informatie beschikbaar over de densiteit van het gebaggerd materiaal. Bijgevolg (en mede op basis van de terreinervaring op de Zeeschelde) wordt er verondersteld dat al het materiaal als zand gecatalogeerd is. Voor de omrekening van zand wordt ervan uitgegaan dat de verhouding 10/11 is, met andere woorden 11 beunkuubs komt overeen met 10 m<sup>3</sup> gestort materiaal.

In onderstaande grafieken wordt een overzicht gegeven van de hier nog beschikbare bagger- en stortvolumes voor de periode 1931 tot en met 2003. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in beunkuubs.



**Figuur 4-2: Baggervolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2003**

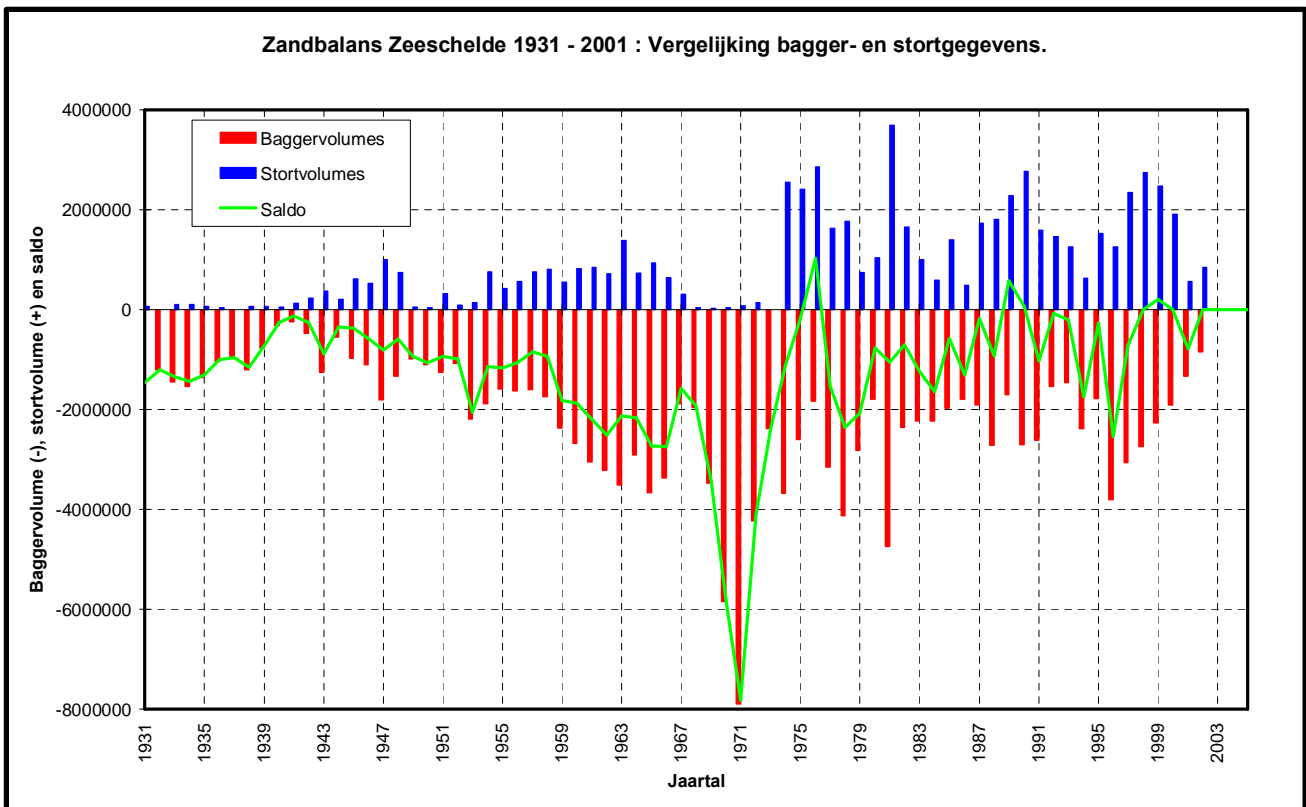
Uit de Figuur 4-2 valt onmiddellijk op dat in de jaren 1970 en 1971 de baggeractiviteit veel hoger was. Deze hogere waarden kunnen evenwel onmiddellijk gelinkt worden aan de aanleg van de Zandvlietsluis en bijhorende toegangseul. Tevens is duidelijk dat de baggeractiviteiten voornamelijk geconcentreerd zijn in de deelgebieden 5, 6, 7, 8 en 9 en dat in de meer opwaarts gelegen deelgebieden 1 tot 4 slechts sporadisch gebaggerd wordt.



**Figuur 4-3: Stortvolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2003**

De Figuur 4-3 toont aan dat de terug in de Zeeschelde gestorte volumes de laatste jaren sterk zijn toegenomen. In de jaren 1988, 1989 en 1990 is voor de aanleg van de Liefkenshoektunnel heel wat extern zand (+/- 2 500 000 m<sup>3</sup>) gestort in deelgebied 7. De toename van de laatste jaren heeft deels te maken met het feit dat in de jaren '70 en '80 veel baggermateriaal gebruikt is voor opspuitingen van haventerreinen waardoor slechts een deel teruggestort is in de Zeeschelde. Vooral tussen 1968 en 1974 zijn nagenoeg geen stortingen uitgevoerd in de Zeeschelde. De figuur toont ook aan dat de stortingen vooral gebeuren in de deelgebieden 5 (plaat van Boom, Oosterweel) en 9 (Schaar Ouden Doel). De laatste jaren wordt het gebaggerd materiaal echter grotendeels teruggestort.

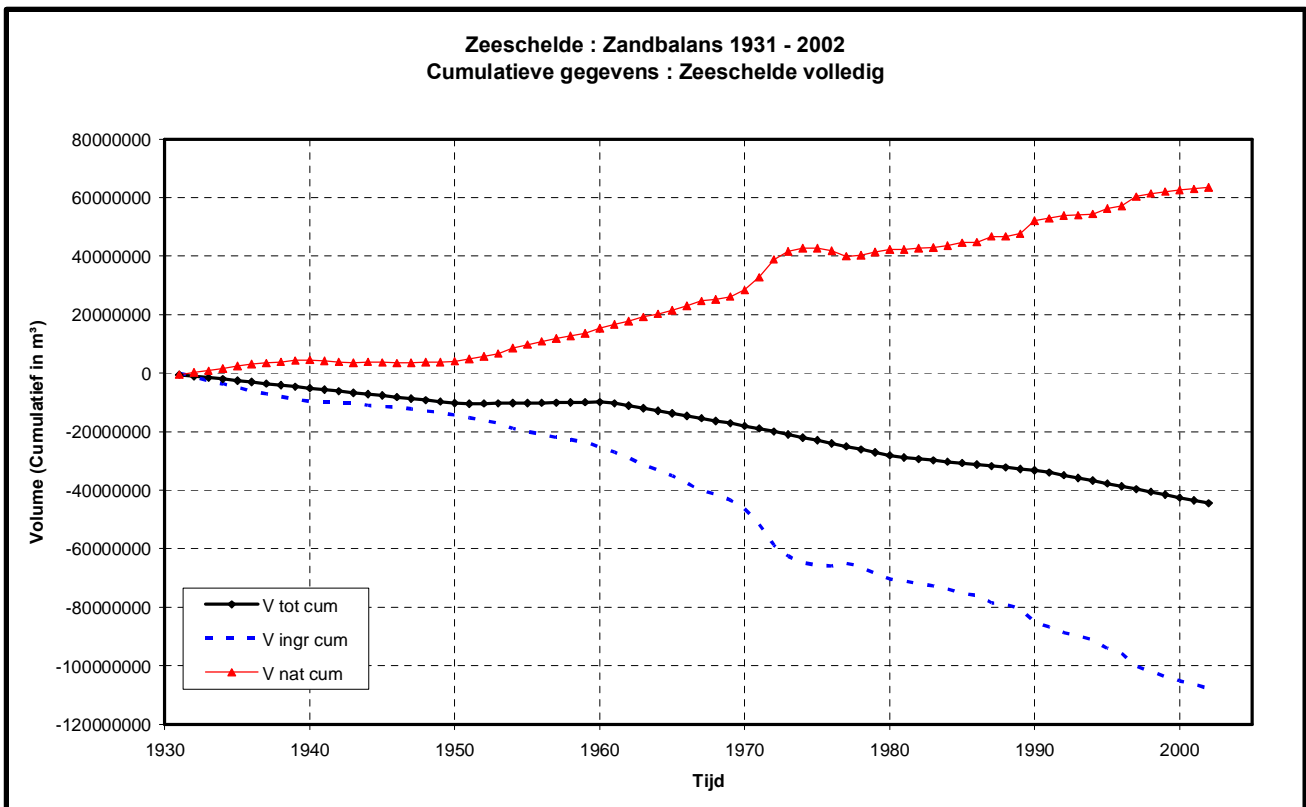
In Figuur 4-4 zijn de bagger- en stortgegevens gecombineerd en is tevens het saldo van beide voorgesteld. Ook deze data zijn uitgedrukt in beunkuubs. Deze figuur toont duidelijk aan dat per saldo (voor het overgrote deel van de jaren) meer materiaal gebaggerd wordt dan gestort. Slechts in enkele jaren wordt er meer gestort dan gebaggerd. Dit wordt veroorzaakt doordat een deel van het baggermateriaal uit de Westerschelde teruggestort wordt in de Zeeschelde. Sedert het einde van de jaren '90 blijken de stortingen bijna even groot te zijn dan de uitgevoerde baggerwerken.



**Figuur 4-4: Overzicht bagger- en stortvolumes Zeeschelde voor de periode 1931-2005**

### 4.6.3 Globale zandbalans

In eerste instantie is een zandbalans voor de Zeeschelde als één geheel uitgewerkt. Verwerking van de beschikbare gegevens (jaarlijks geïnterpoleerde lodingsdata, jaarlijkse bagger- en stortvolumes) leidt tot onderstaande resulterende grafiek.



**Figuur 4-5: Globale zandbalans van de Zeeschelde**

In deze figuur zijn drie datareeksen voorgesteld:

- De gecumuleerde variatie van de bathymetrie ( $\Delta V_{tot}$  in zwarte lijn) als resultaat van de berekende evolutie in waterinhoud (in  $m^3$ ) ten opzichte van het referentievlak (3.50 m NAP of 5.82 m TAW) is berekend. Een stijging van de waterinhoud tussen 1 januari en 31 december stemt overeen met een daling van de rivierbodem in dezelfde periode. Een dalende lijn in de hier voorgestelde grafiek van  $\Delta V_{tot,cum}$  betekent dus dat over de beschouwde periode de (gemiddelde) bodem daalt: er treedt erosie op.
- Het saldo van de ingrepen ( $\Delta V_i$  in blauwe stippellijn). Deze lijn wordt bepaald door op jaarbasis de storthoeveelheden te verminderen met de baggerhoeveelheden en de zandwinningsen en vervolgens te sommeren. Een dalende lijn betekent dat er meer gebaggerd wordt dan gestort in de beschouwde periode en er dus zand uit het gebied onttrokken wordt door menselijke ingrepen.
- De rode lijn ( $\Delta V_{nat}$ ) stelt de "natuurlijke" variatie voor in het beschouwde gebied. Deze lijn wordt opgebouwd door  $\Delta V_{tot}$  te verminderen met  $\Delta V_i$ . Een stijgende lijn wijst op sedimentatie terwijl een dalende lijn betekent dat er in de beschouwde periode erosie is.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat vooral begin jaren '70 de ingrepen een grote impact hadden. Dit is de periode van de aanleg van de Zandvlietsluis waardoor er gedurende die periode veel meer baggeractiviteiten plaatsvonden. Als gevolg hiervan blijkt ook de natuurlijke variatie sterk te wijzigen in deze periode. Doordat de effectieve volumevariatie slechts 10-jaarlijks gekend is, is het evenwel gevaarlijk op basis van de lineair geïnterpoleerde data conclusies te formuleren voor de tussenliggende periode (bv. tussen 1970 en 1980).

Globaal vindt men over de volledige periode 1931-2001 in de Zeeschelde een natuurlijke zandimport van 63 476 833 m<sup>3</sup> weer; wat neerkomt op een gemiddelde jaarlijkse import van 894 040 m<sup>3</sup>/jaar vanuit de Westerschelde. Tot 1950 was deze import vrij gering (tussen 1930 en 1950 werd cumulatief zo'n 4 089 460 m<sup>3</sup> zand aangevoerd naar de Zeeschelde) maar sedertdien blijft de import op lange termijn gezien vrij constant. In de laatste 50 jaar (vanaf 1952) bedraagt de gemiddelde jaarlijkse import 1 154 547 m<sup>3</sup>. Beschouwen men enkel de periode tussen de laatste en voorlaatste lading dan blijkt de gemiddelde jaarlijkse import 948 943 m<sup>3</sup> te bedragen. De laatste 5 jaar lijkt volgens de grafiek de sedimentaanvoer naar de Zeeschelde te dalen maar hierop conclusies formuleren is gevaarlijk omdat de deze gebaseerd is op een geïnterpoleerde bathymetrie waarde.

#### 4.6.4 Zandbalans per deelgebied

Naast de berekening van een globale zandbalans voor de volledige Zeeschelde (Rupelmonde tot grens) wordt voor elk van de negen deelgebieden eveneens een individuele zandbalans opgebouwd. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste cijfers samengevat voor de periode van 1 januari 1955 tot 1 januari 2002 (47 jaar).

**Tabel 4-3: Samenvatting ingrepen per rekenvak**

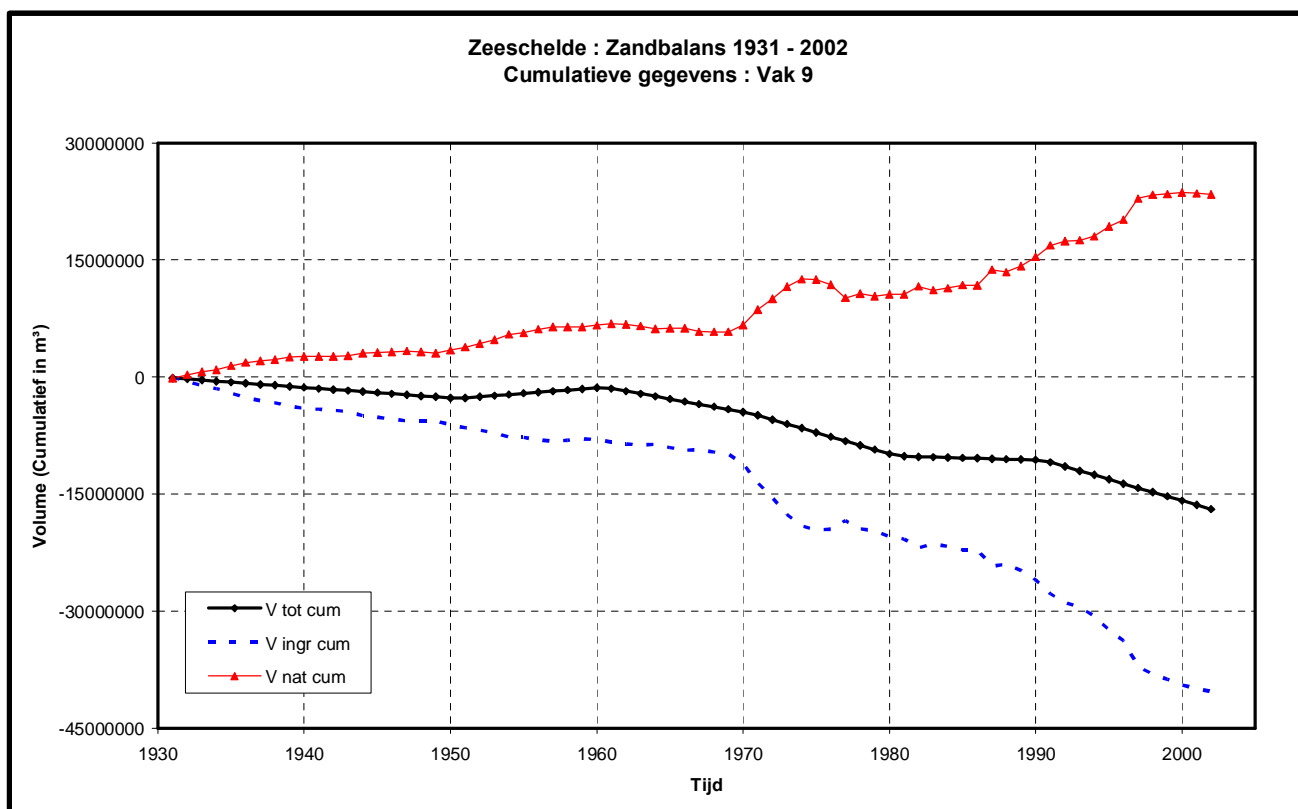
Vak nummer	Bathymetrie (m <sup>3</sup> )	Baggervolume (beunkuubs)	Stortvolume (beunkuubs)	Zandwinning (beunkuubs)
Vak 1	-970 446	61 873	10 940	0
Vak 2	-3 154 078	222 362	94 702	0
Vak 3	-1 946 028	1 198 100	77 686	0
Vak 4	-744 205	1 529 570	4 033	0
Vak 5	-1 495 352	4 228 149	3 006 398	0
Vak 6	-2 222 380	15 902 645	18 037	0
Vak 7	-2 890 750	17 491 195	4 545 471	4 505 988
Vak 8	-5 736 436	23 768 470	263 181	0
Vak 9	-14 583 872	63 892 619	49 839 178	21 795 493
Totaal	-33 743 547	128 294 984	57 859 626	26 301 481

In kolom 2 is de wijziging van de bathymetrie opgenomen. Een negatieve waarde duidt aan dat er materiaal uit het betreffende vak is verdwenen (resulterende erosie van de rivierbodem). In de derde kolom zijn de gebaggerde volumes (in beunkuubs) vermeld terwijl in kolom 4 de gestorte volumes bevat (eveneens in beunkuubs).

Wat betreft de bathymetrie zijn de grootste wijzigingen opgetreden in vak 8 en 9. Dit is ook logisch gezien de grootste werken in deze zones werden uitgevoerd. Uit de tabel blijkt ook dat de baggerwerkzaamheden zich grotendeels concentreren in de afwaartse vakken 6 tot 9, terwijl de stortvolumes zich nagenoeg compleet concentreren in vakken 5 (plaat van Boomke en Oosterweel: d.i. op RO van de Schelde), 7 (Ketelplaat) en 9 (Schaar van Ouden Doel en plaat van Doel). In kolom 5 zijn de zandwinnings opgenomen. Deze kolom toont aan dat enkel in vak 9 (Schaar van Doel - Plaat van Doel) en in vak 7 zandwinnings plaatsvonden. De zandwinnings in vak 7 waren éénmalig en zijn rechtstreeks verbonden met de aanleg van de Liefkenshoek-tunnel. In vak 9 gebeuren de zandwinnings systematisch sedert 1981.



In Bijlage 2 zijn de grafieken voor elk van de negen deelgebieden opgenomen met de variatie van de bathymetrie, de ingrepen alsook de "natuurlijke" variatie. Als voorbeeld is hieronder de grafiek voor het meest afwaartse vak 9 weergegeven. Hierbij is telkens een zelfde opbouw van deze cumulatieve gegevens ontwikkeld als bij de globale balans van de Zeeschelde.



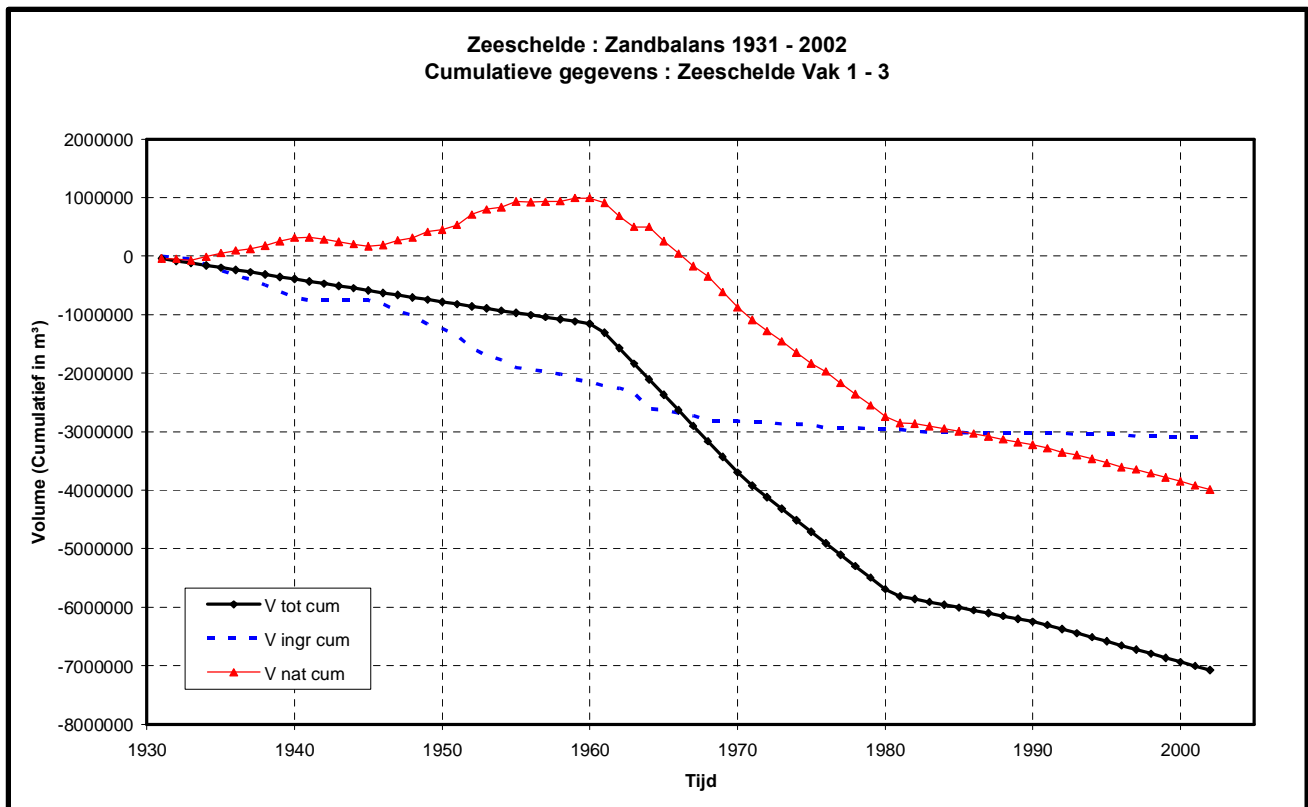
**Figuur 4-6: Zeeschelde - zandbalans vak 9**

In grote lijnen vertoont deze grafiek dezelfde tendensen als de grafiek van de globale zandbalans van de Zeeschelde. In deze grafiek is heel duidelijk zichtbaar dat in de jaren '70 heel grote baggerwerken plaatsvonden in dit vak. (Zandvlietsluis en aansluitend Berendrechtsluis).

Na een periode van bijna evenwicht in de jaren '77-'87 (horizontale lijn in cumulatieve grafiek) wordt nadien een "natuurlijke" sedimentatie in dit vak waargenomen tot en met 1997 (belangrijke aanvoer vanuit Westerschelde). De laatste jaren, sedert 1998, is de balans nagenoeg in evenwicht voor dit rekenvak.

#### 4.6.5 Controle randvoorwaarde Rupelmonde

Om enig zicht te krijgen op de betrouwbaarheid van de arbitrair gekozen opwaartse randvoorwaarde is eveneens een gezamenlijke balans opgesteld voor de vakken 1, 2 en 3. De resultaten zijn terug te vinden in hiernavolgende figuur.



**Figuur 4-7: Gezamenlijke zandbalans vakken de Zeeschelde**

Deze grafiek laat zien dat het saldo van de ingrepen in dit deel, sedert 1970, nagenoeg verwaarloosbaar zijn (blauwe stippellijn). Ook de individuele bagger- en stortvolumes zijn sedert 1970 nagenoeg nihil.

De "natuurlijke" erosie in deze zone bedraagt sedert 1980 ongeveer 56 000 m<sup>3</sup> op jaarbasis. Omdat deze data gebaseerd is op slechts drie lodingen (1980, 1990 en 2002) en er tussenin geïnterpoleerd is kan hieruit enkel een algemene lange termijn trend bepaald worden.

Deze grafiek kan niet aantonen welke de grootte van de sedimentbeweging is ter hoogte van de opwaartse rand in Rupelmonde. Evenmin kan de richting van het transport aangetoond worden. Gezien de beperkte volumevariatie op jaarbasis in vergelijking met de volumevariatie over de volledige Zeeschelde lijkt een aanname van 0-transport vrij realistisch en aanvaardbaar te zijn.

## 4.7 Conclusies Zeeschelde

### 4.7.1 Algemene conclusies

De opgestelde zandbalans van de Zeeschelde leidt tot de volgende algemene conclusies:

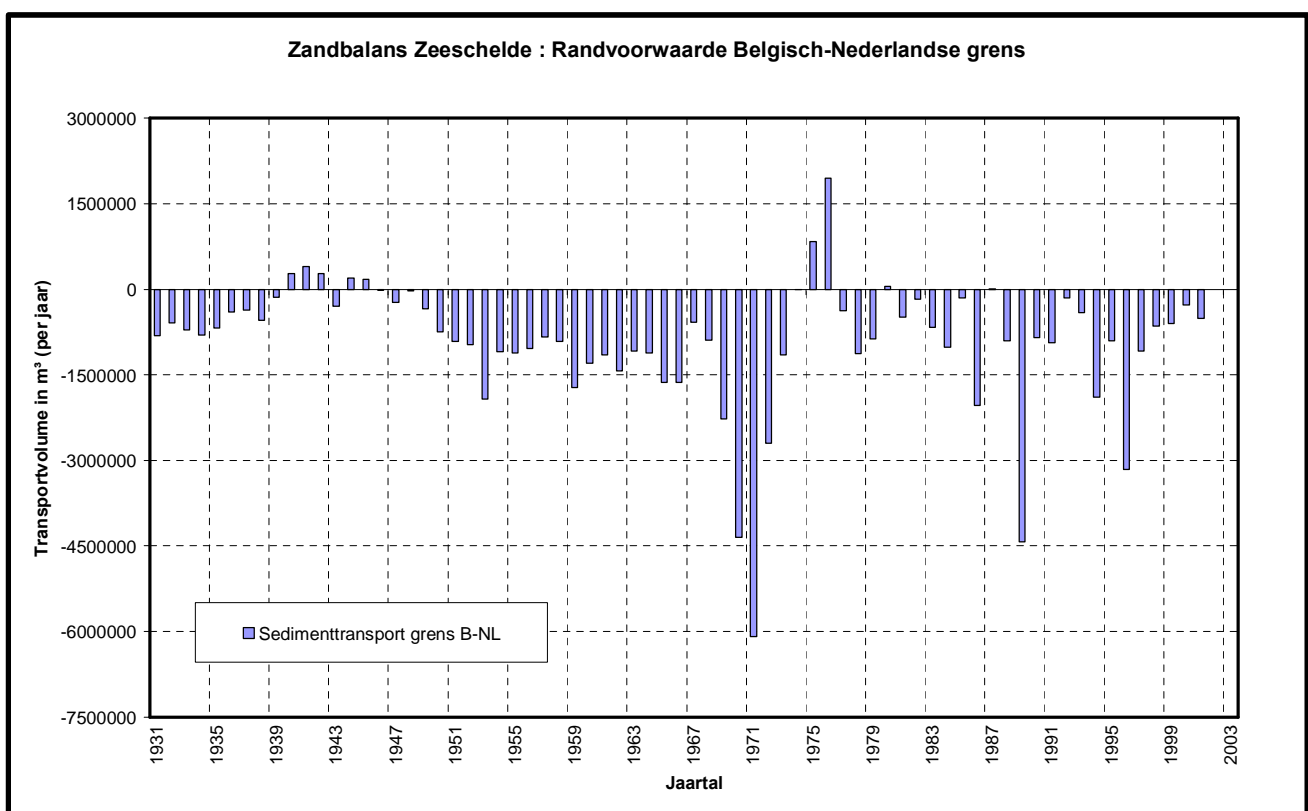
- Globaal is over de volledige periode 1931-2001 een daling van het resulterende bodemprofiel merkbaar. Deze daling is voornamelijk gesitueerd ter plaatse van de vaargeul wegens de toename van de tonnenmaat van de schepen en de bijhorende grotere diepgang waarbij de geul in de loop der jaren geleidelijk aan verdiept is.

- Het saldo van de ingrepen is vrij constant gedurende de laatste jaren. Concreet wordt vastgesteld dat de laatste jaren ongeveer alle baggerspecie uit de Zeeschelde teruggestort wordt binnen het gebied. In het verleden (jaren '70) was dit niet het geval: er werd toen vrij veel baggerspecie gebruikt voor het opspuiten van gebieden in en rond de haven. Het saldo van de ingrepen wordt de laatste jaren voornamelijk gestuurd door de zandwinningen ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel (ongeveer 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar).
- Tot 1950 was de import van zand naar de Zeeschelde eerder gering, terwijl in de laatste 50 jaar een gemiddelde jaarlijkse import van bijna 1 000 000 m<sup>3</sup> zand wordt waargenomen. De "natuurlijke" variatie in de Zeeschelde vertoont sedert enkele jaren een verminderende sedimentatie. De laatste jaren wordt dan ook minder zand vanuit de Westerschelde naar de Zeeschelde aangevoerd.

De jaarlijkse variatie van de zandbalans dient met de nodige voorzichtigheid gehanteerd te worden omdat deze gebaseerd is op geïnterpoleerde bathymetriegegevens die slechts om de 10 jaar beschikbaar zijn. Hierdoor kunnen tussentijdse bathymetrie variaties uitgevlakt zijn of eventueel zelfs versterkt tot uiting komen. Bij de kwaliteitsanalyse wordt dit meer in detail besproken.

#### 4.7.2 Bepaling opwaartse randvoorwaarde Westerschelde

Op basis van de resultaten van de jaarlijkse zandbalans van de Zeeschelde kan bepaald worden hoeveel sedimenttransport er plaatsvindt over de Belgisch-Nederlandse grens (bij aanname van nultransport ter hoogte van Rupelmonde = opwaartse rand van de Zeeschelde).



Figuur 4-8: Opwaartse randvoorwaarde Westerschelde

De jaarlijkse transportbeweging ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens is in bovenstaande grafiek opgenomen. Een negatieve waarde betekent dat er sediment verplaatst wordt van de Westerschelde naar de Zeeschelde, terwijl een positieve waarde aangeeft dat het transport gebeurt van Zeeschelde naar Westerschelde.

Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de sedimenttransportrichting niet altijd dezelfde is. Tot en met 1939 was er transport richting België, in de jaren '40 was er een licht transport richting Nederland, vanaf het einde van de jaren '40 was er een duidelijk transport richting België, enkel in de jaren 1975 en 1976 was er schijnbaar erosie van materiaal uit de Zeeschelde.

De berekende erosie uit de jaren 40 houdt mogelijk verband met de 20 jaar die tussen de lodingen van 1930 en 1950 gelegen is. Bij de berekeningen is verondersteld dat de bathymetrie lineair varieert, maar in werkelijkheid is dit niet zo. Hierdoor kan de 'theoretisch' berekende randvoorwaarde er in werkelijkheid anders uitzien. Wel is het zo dat het saldo van de ingrepen in deze periode ('40-'48) ook een stuk lager was en dit mogelijk ook zijn invloed had op de sedimentbeweging.

De erosie van 1975-1976 wordt mogelijk eveneens veroorzaakt door de lineaire interpolatie van de 10-jaarlijkse lodingsgegevens. In die periode zijn er immers grote werken uitgevoerd waardoor de bodem tijdelijk méér dan lineair gewijzigd (verlaagd) zal zijn. Geleidelijk zal er zich een evenwichtssituatie ingesteld hebben maar de hier jaarlijks berekende erosie voor die specifieke periode onmiddellijk na de werken is vermoedelijk overschat.

Bovenstaande data zal gebruikt worden als opwaartse randvoorwaarde bij de verdere opbouw van de zandbalans van de Westerschelde. Omdat bij de Westerschelde de lodingsdata beschikbaar zijn tot en met 2005 zal voor de meest recente jaren aangenomen worden dat het sedimenttransport nog steeds gebeurt van Nederland naar België (voortzetting van de gemiddelde trend van de laatste 12 jaar - periode tussen de laatste lodingen). Hierbij wordt het gemiddeld transport van de laatste 12 jaar bepaald en gebruikt. Dit betekent dat vanaf 2002 een transport aangenomen wordt van 900 000 m<sup>3</sup> per jaar dat van de Westerschelde naar de Zeeschelde beweegt.

Voor de beschouwde waarnemingsperiode van Westerschelde en mondingsgebied (1955-2004) bekomt men aldus een resulterend volume van 56 448 558 m<sup>3</sup> zand (i.e. 53 748 558 m<sup>3</sup> voor de periode 1955-2001 en 3 x 900 000 m<sup>3</sup> voor de periode 2002-2004) als geïmporteerd zand vanuit de Westerschelde naar de Zeeschelde.

## 5 Westerschelde

### 5.1 Inleiding

Het studiegebied voor dit deel van het Schelde-estuarium strekt zich uit van de Belgisch-Nederlandse grens tot aan de overgang naar het mondingsgebied, ter hoogte van de lijn Vlissingen-Breskens. Als aansluiting op voorgaande zandbalansoefening voor de Zeeschelde wordt de effectieve randvoorwaarde aan de Belgisch-Nederlandse grens (als overgang tussen Zee- en Westerschelde) meegenomen in de zandbalans voor de Westerschelde.

### 5.2 Indeling in deelgebieden

Bij de indeling van de Westerschelde is gebruikt gemaakt van de basisindeling uit het rapport betreffende de zandbalans tot en met 2001. Hierbij is de Westerschelde ingedeeld in zeven cellen, één mesocel (linkeroever opwaarts van Breskens) en zes macrocellen. Elke cel is verder onderverdeeld in een aantal rekencellen maar minder in aantal dan in de vorige studie. De Figuur 2 in Bijlage 1 bevat op A3-formaat een weergave van de gebruikte cellen en de bijhorende nummering voor het Westerschelde-gebied. Ook de lodingsvakken 1 tot en met 6 zijn op deze figuur aangeduid.

### 5.3 Beschikbare gegevens

De data die in rekening gebracht is bij de uitwerking van de zandbalans betreft de periode 1955 tot en met 2004 (2005 voor de lodingsgegevens). Voor deze periode zijn de volgende gegevens verzameld:

- Lodingen van het volledige gebied van de Westerschelde
- Baggervolumes per locatie en per jaar
- Stortvolumes per locatie en per jaar
- Zandwinnings per locatie en per jaar en dit voor zowel winningen van de overheid als winningen ten behoeve van derden
- Volumes van verplaatste hoeveelheden bij opruiming van scheepswrakken.

Deze gegevens worden verzameld per bagger- en stortlocatie en worden nadien verdeeld over de rekencellen volgens oppervlakteverhoudingen.

### 5.4 Verwerking lodingsgegevens

In onderstaande tabel zijn de beschikbare lodingsgegevens van de Westerschelde opgenomen. De vermelde datum komt overeen met het gemiddelde van begin- en einddatum van de uitgevoerde loding. Deze datum is eveneens gebruikt als referentie bij de synchronisatie van de lodingsdata naar 1 januari van ieder jaar.

**Tabel 5-1: Overzicht beschikbare lodingen Westerschelde**

	<b>vak 1</b>	<b>vak 2</b>	<b>vak 3</b>	<b>vak 4</b>	<b>vak 5</b>	<b>vak 6</b>
1955	07/05/55	01/06/55	14/07/55	11/08/55	23/09/55	30/10/55
1956						
1957	19/06/57	24/07/57	31/08/57			
1958				29/07/58	28/07/58	04/06/58
1959	05/09/59	08/07/59	02/08/59			
1960				14/09/60	26/06/60	01/07/60
1961	24/07/61	29/05/61	03/08/61			
1962				09/06/62	19/10/62	07/08/62
1963	04/06/63	08/07/63				
1964				25/08/64	24/06/64	21/09/64
1965	01/10/65	11/08/65	18/09/65			
1966				13/06/66	29/06/66	02/07/66
1967	12/05/67	05/06/67				
1968				13/05/68	21/09/68	05/06/68
1969	08/11/69	27/08/69	17/04/69			
1970				03/07/70	15/05/70	27/04/70
1971	09/10/71	14/06/71	03/06/71			
1972				06/07/72	27/08/72	02/07/72
1973	31/08/73	09/08/73	21/03/73			
1974		25/08/74	14/08/74	25/06/74	04/06/74	23/04/74
1975	15/11/75	21/09/75	16/07/75			
1976				01/04/76	28/05/76	02/05/76
1977	23/09/77	02/06/77	04/04/77			
1978					08/06/78	23/10/78
1979	22/02/79	05/07/79	24/09/79			
1980	25/10/80	12/08/80	01/07/80	08/03/80	22/03/80	01/05/80
1981						
1982	25/11/82	16/09/82		14/03/82	24/04/82	11/04/82
1983						
1984		15/12/84	13/08/84			16/08/84
1985	12/05/85		22/10/85			
1986	28/10/86	17/08/86	07/01/87	23/04/86		
1987	11/06/87	19/04/87	08/11/87			
1988	05/08/88	30/01/88	06/09/88	21/06/88		29/09/88
1989	09/04/89	13/03/89	25/10/89			
1990	24/07/90	25/04/90	29/11/90	09/02/90	10/02/90	28/07/90
1991	16/01/91	24/05/91	28/09/91			
1992	01/02/92	11/02/92	07/10/92	03/04/92	26/08/92	13/01/92
1993	15/03/93	10/04/93	06/06/93			
1994	02/03/94	18/03/94	23/01/94	29/06/94	23/07/94	12/02/94
1995	07/01/95	19/01/95	25/03/95			
1996	05/01/96	15/01/96	25/02/96	24/02/96	28/02/96	21/02/96
1997	17/04/97	21/04/97	27/02/97	30/08/97	02/06/97	23/07/97
1998	22/05/98	08/06/98	31/03/98	02/06/98	07/03/98	31/03/98
1999	17/02/99	20/03/99	27/01/99	03/11/99	12/04/99	08/05/99
2000	08/03/00	07/04/00	24/02/00	06/05/00	21/04/00	11/06/00
2001	19/11/01	22/10/01	23/10/01	31/03/01	26/02/01	15/02/01
2002	08/05/02	03/04/02	31/03/02	27/06/02	21/05/02	24/05/02
2003	18/06/03	27/05/03	20/04/03	29/03/03	07/03/03	01/03/03
2004	29/07/04	27/06/04	24/04/04	04/04/04	16/03/04	08/03/04
2005	10/01/05	26/01/05	07/02/05	10/02/05	17/03/05	23/03/05

De lodingsgegevens van de Westerschelde zijn opgeleverd door MAD onder de vorm van aangevulde grids voor de periode 1955 tot en met 2005. De uniforme standaard gebruikt voor de berekeningen van het volume bestaat enerzijds uit de Rijksdriehoekprojectie en anderzijds het Normaal Amsterdams Peil voor de hoogtemetingen. Deze standaard is verschillend van die van de Zeeschelde (cfr. 4.5.1).

- **Controle van de beschikbare data - volledigheid**  
De lodingen hebben een horizontale resolutie van 20 m; de verticale resolutie is precies tot op 1 cm maar de fout op deze lodingen varieert van 11 cm tot 54 cm in functie van de tijd. De lodingen zijn uitgedrukt in *integer*. Het referentievlak is NAP oftewel gemiddelde zeeniveau en verschilt 2.32 m van TAW dat het gemiddeld laag laagwaterstand bij springtij als referentievlak heeft.
- **Gebruikte rekenroutines**  
Om het volume efficiënt te kunnen berekenen dienen grids op elkaar afgesteld te worden. Elk vak moet dezelfde afmetingen hebben en bovendien zijn lege cellen niet toegestaan. De lodingsgegevens worden daarom vergeleken met de gegevens van het jaar voordien waarbij de ontbrekende cellen worden aangevuld en de buiten het vakgebied gelegen cellen worden "geclippt". Eens de lodingen volledig zijn, worden berekeningen in Arc/Info onder UNIX gestart samen met een coverage om het volume te komen voor 3.50 m NAP. Het bekomen volume dient als basis voor verdere berekeningen in de zandbalans.

## 5.5 Verwerking informatie ingrepen

### 5.5.1 Randvoorwaarden

Bij de opbouw van de zandbalans van de Westerschelde wordt het transport van vast materiaal (zand) ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens overgenomen uit de zandbalans van de Zeeschelde (zie hiervoor paragraaf 4.7.2). De totale import (naar de Zeeschelde) over de periode 1955-2004 bedraagt ruim 56 000 000 m<sup>3</sup>.

Net als bij de vorige oefening van de zandbalans door RIKZ en bij gebrek aan betere aanvullende informatie omtrent deze sedimenttransfer, wordt de invloed van "Het Verdronken Land van Saeftinghe" opnieuw verondersteld constant te zijn en 300 000 m<sup>3</sup> per jaar te bedragen. Dit betekent dat er gemiddeld jaarlijks zo'n 300 000 m<sup>3</sup> zand uit de Westerschelde verdwijnt richting "Het Verdronken land van Saeftinghe" om daar te sedimenteren.

Deze schatting/aanname is voornamelijk gebaseerd op ruimtelijke waarnemingen van sedimentatie op het "Land van Saeftinghe" maar zou idealiter meer in detail en geactualiseerd dienen geregistreerd te worden.

### 5.5.2 Bagger- en stortgegevens

De beschikbaar gestelde bagger- en stortvolumes zijn in eerste instantie uitgesplitst volgens jaartal en volgens deelgebied. De volumes zijn weergegeven in beunkuubs. Dit betekent dat voor de omrekening naar gestorte volumes een correctie moet gebeuren. In principe is deze correctie afhankelijk van het type materiaal dat gebaggerd is. Voor de data tot en met 2003 is meestal geen duidelijke/volledige informatie beschikbaar over de densiteit van het gebaggerd materiaal. Bijgevolg wordt er verondersteld dat al het materiaal als zand gecatalogeerd is. Voor de omrekening van zand wordt ervan uitgegaan dat de verhouding 10/11 is, met andere woorden 11 beunkuubs komt overeen met 10 m<sup>3</sup> gestort materiaal.

In paragraaf 5.6 wordt een overzicht gegeven van de hier nog beschikbare bagger- en stortvolumes voor de periode 1955 tot 2005. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in beunkuubs.

### 5.5.3 Zandwinningsgegevens

Deze gegevens zijn uitgesplitst in twee reeksen: enerzijds de zandwinnings voor de handel bestemd en anderzijds zandwinnings door de overheid uitgevoerd. Deze data is uitgesplitst per rekencel en gesommeerd tot één getal per jaartal en per rekencel voorgesteld.

### 5.5.4 Wrakopruijningen

Deze data zijn enkel de laatste jaren beschikbaar. Vermoedelijk zijn er geen grote ingrepen in de voorgaande jaren gebeurd. Over de volledige Westerschelde gezien is dit een globale nuloperatie maar op het niveau van de rekencellen kan dit een kleine impact hebben.

### 5.5.5 Samenvattend overzicht gegevens

In onderstaande tabel zijn de verschillende componenten van de zandbalans voor de volledige Westerschelde samengevat. Het betreft de sommen van de basisdata voor elke categorie voor de periode 1955-2004.

Uit de tabel blijkt dat de totale ingrepen in deze periode -135 122 889 m<sup>3</sup> bedragen (in beunkuubs). Er zijn met andere woorden 135 miljoen beunkuubs uit de Westerschelde verdwenen. In gestort volume vertegenwoordigt dit bijna 123 miljoen m<sup>3</sup>. Dit wordt voor 89 miljoen m<sup>3</sup> opgevangen door de daling van het bodemprofiel. Het saldo van -34 miljoen m<sup>3</sup> (89-123) is bijgevolg het verschil tussen de opwaartse en afwaartse randvoorwaarde. Er verdwijnt 56 miljoen m<sup>3</sup> richting de Zeeschelde en 15 miljoen m<sup>3</sup> naar Saeftinghe. Dit betekent dus dat er resulterend zo'n 105 miljoen m<sup>3</sup> zand vanuit de monding geïmporteerd werd in de Westerschelde over de volledige beschouwde waarnemingsperiode.

**Tabel 5-2: Overzicht globale zandbalans Westerschelde**

Periode 1955-2004	Wijzigingen in m <sup>3</sup>
Baggervolumes	-413 665 325
Stortvolumes	393 190 642
Zandwinnings	-114 648 206
Wrakopruijningen	0
Totaal ingrepen (beunkuubs)	-135 122 889
Totaal ingrepen (gestort volume)	-122 838 990
Randvoorwaarde Saeftinghe	-15 000 000
Randvoorwaarde Zeeschelde	-56 448 558
Wijziging bathymetrie	-89 233 245
Totaal (= randvoorwaarde monding)	105 054 303

Negatieve waarden betekenen dat er materiaal uit de Westerschelde verdwijnt, terwijl een positieve waarde betekent dat er sediment binnenkomt. Uit deze tabel blijkt dat ongeveer 105 miljoen m<sup>3</sup> zand getransporteerd is vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde over de periode 1955-2004.



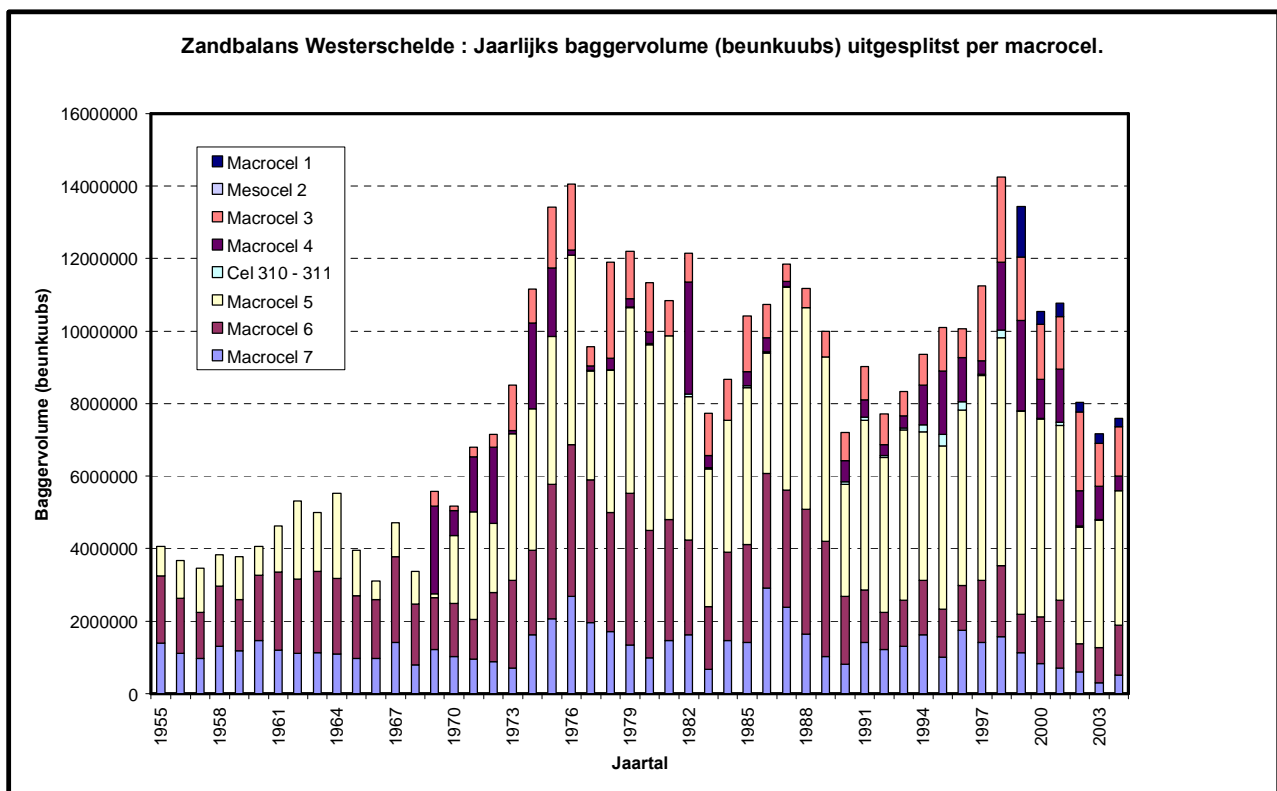
## 5.6 Berekenen van de zandbalans

### 5.6.1 Randvoorwaarden

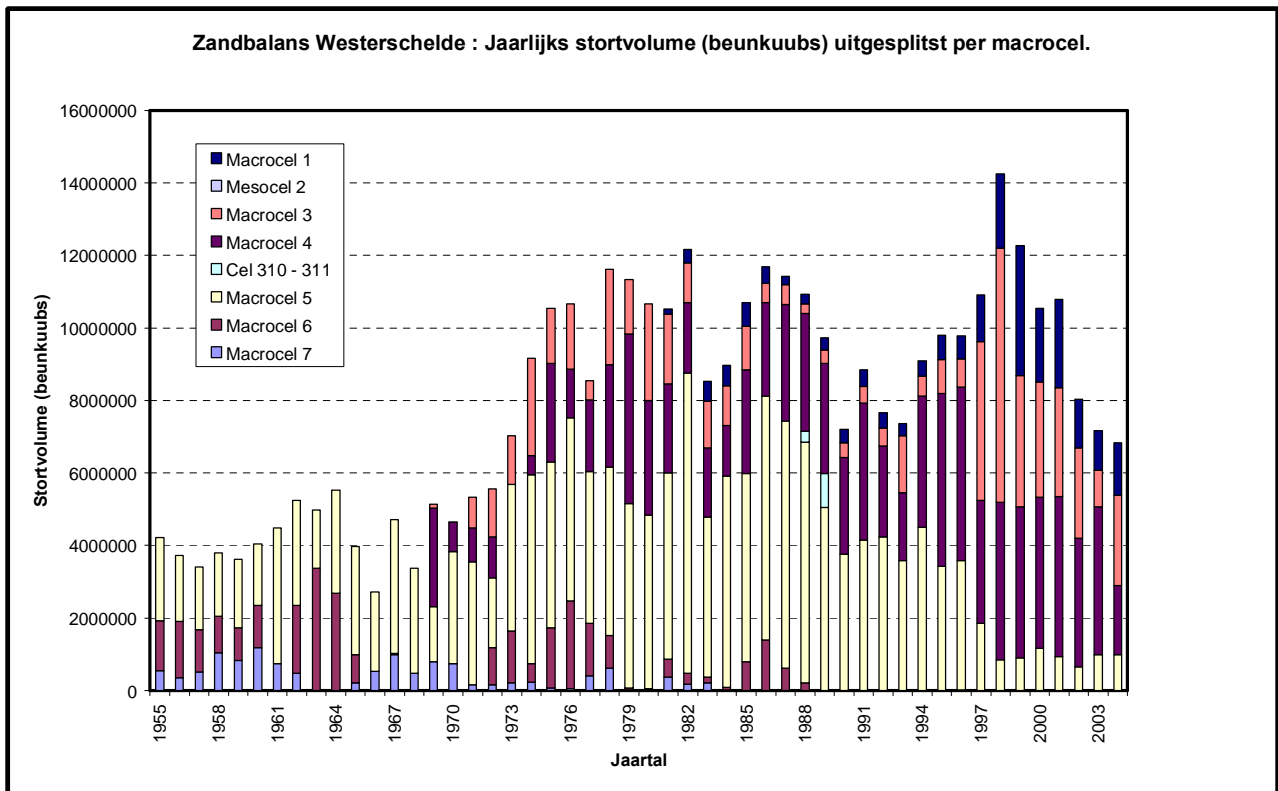
Aan de Belgisch-Nederlandse grens wordt gebruik gemaakt van de gegevens voortvloeiend uit de zandbalans van de Zeeschelde. De uitwisseling ter hoogte van “Het Verdrongen Land van Saeftinghe” wordt constant verondersteld. Hier wordt aangenomen dat er jaarlijks een constant volume zand van 300 000 m<sup>3</sup> van de Westerschelde naar “Het Verdrongen Land van Saeftinghe” getransporteerd wordt. In paragraaf 8.2 wordt kort op deze aanname ingegaan.

### 5.6.2 Bagger- en stort- en zandwingegevens

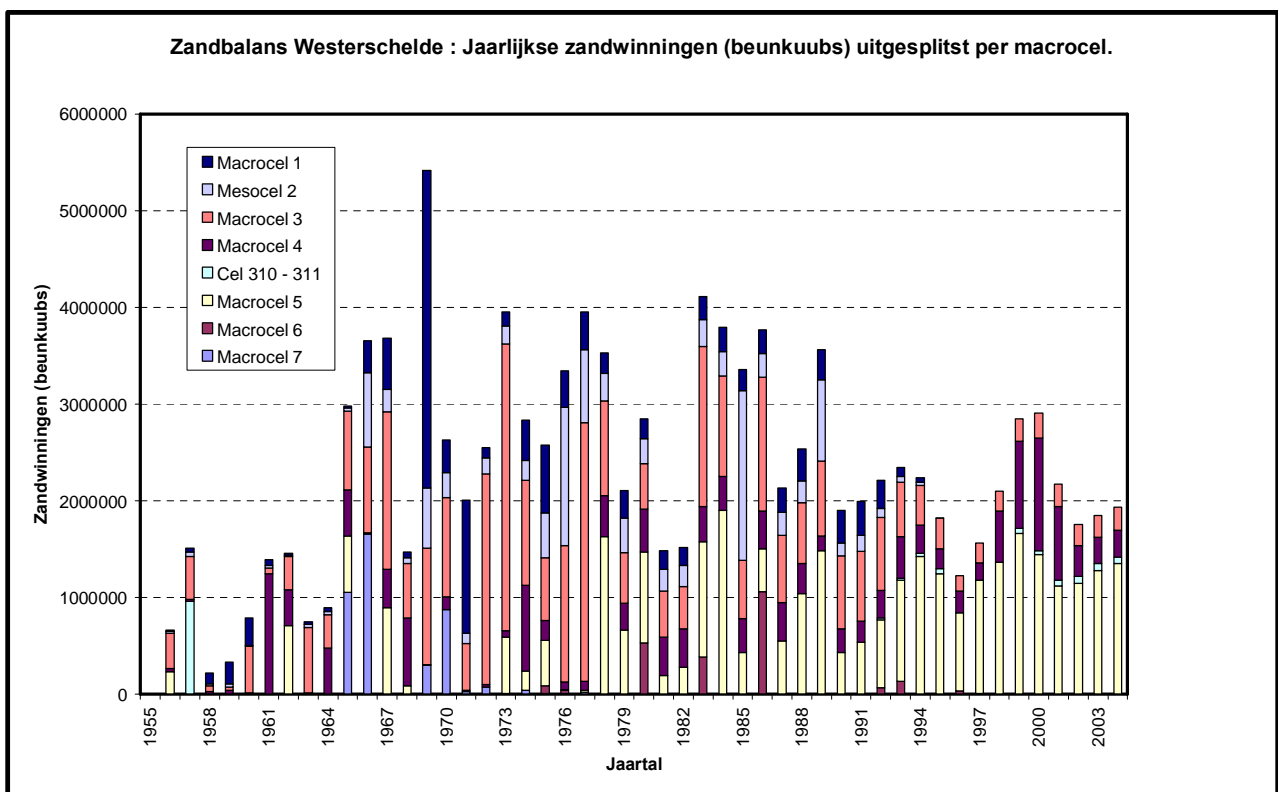
Onderstaande grafieken geven een samenvatting van de bagger-, stort- en zandwingegevens in de Westerschelde voor de opeenvolgende jaren. Omdat de data van de wrakopruidingen een nuloperatie is en de verplaatste volumes vrij beperkt zijn worden deze data hier niet voorgesteld.



Figuur 5-1: Baggervolumes per jaartal en per macrocel

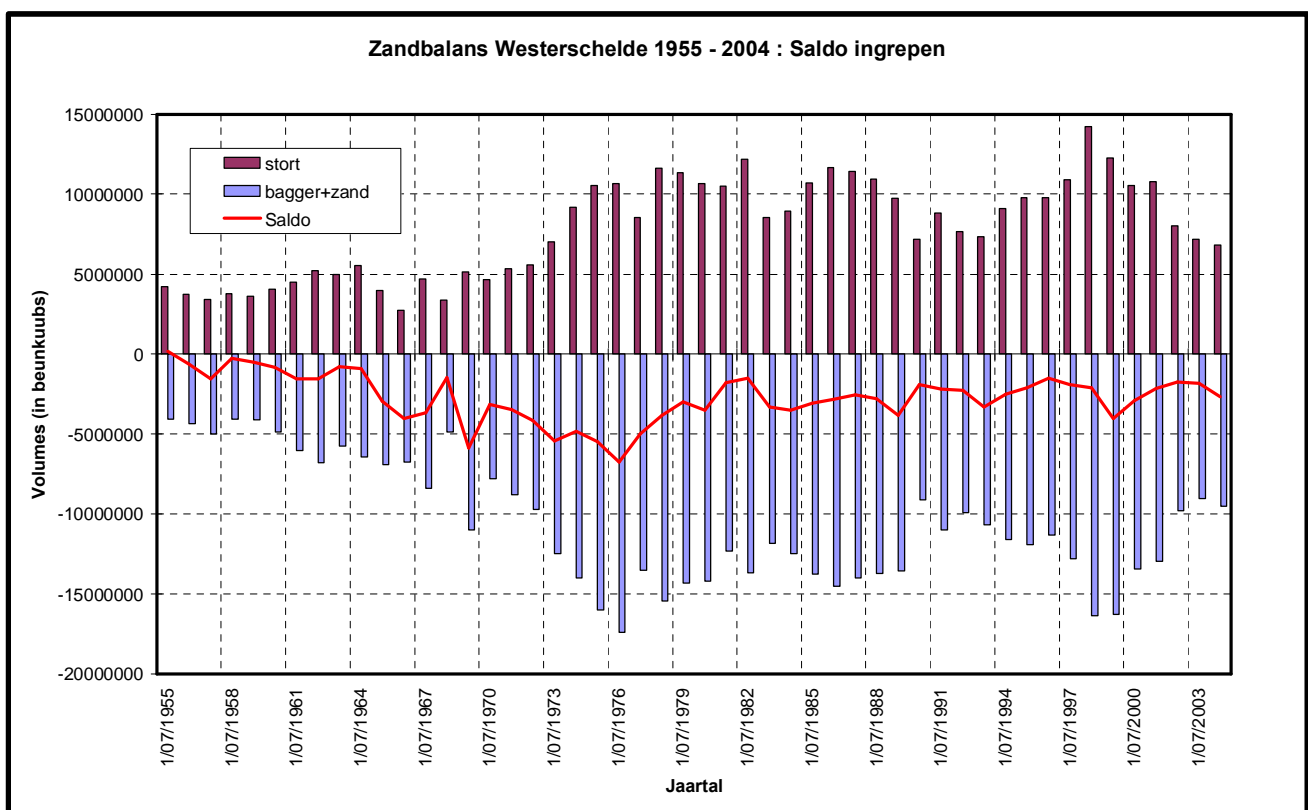


**Figuur 5-2: Stortvolumes per jaartal en per macrocel**



**Figuur 5-3: Zandwinnings per jaartal en per macrocel**

Uit deze figuren is af te leiden dat de voornaamste ingrepen gebeuren in macrocel 5. Dit geldt zowel voor baggeren, storten als zandwinning. Enkel de laatste jaren is de stortactiviteit in deze zone sterk afgenomen. In de volgende figuur zijn alle ingrepen gecombineerd en is het saldo van de ingrepen over de jaren heen weergegeven. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat er, gedurende de beschouwde waarnemingsperiode, elk jaar meer materiaal uit de Westerschelde is gehaald dan dat er teruggestort is. De laatste jaren schommelt het saldo rond de 2 à 3 miljoen m<sup>3</sup> terwijl het in de jaren '60 eerder in de buurt van 5 miljoen m<sup>3</sup> lag. Sinds de jaren '80 merkt men in de saldo-lijn een cyclische trend (1977 - 1983 - 1989 - 1993 - 1999 - 2004): saldo neemt af tot minimale waarde (rond 3.5 miljoen m<sup>3</sup>) om dan opnieuw te stijgen tot de initiële waarde (van om en bij 1.8 miljoen m<sup>3</sup>). Bovenstaande vaststellingen worden bevestigd door een wijziging in het stortbeleid na 1997. Sedert dan wordt er meer in het westelijk deel teruggestort (macrocellen 3 en 4). Daarnaast worden de zandwinningen sedert het begin van de jaren '90 meer geconcentreerd in het oostelijk deel van de Westerschelde. Deze zandwinningen zijn momenteel beperkt tot maximaal 2.6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

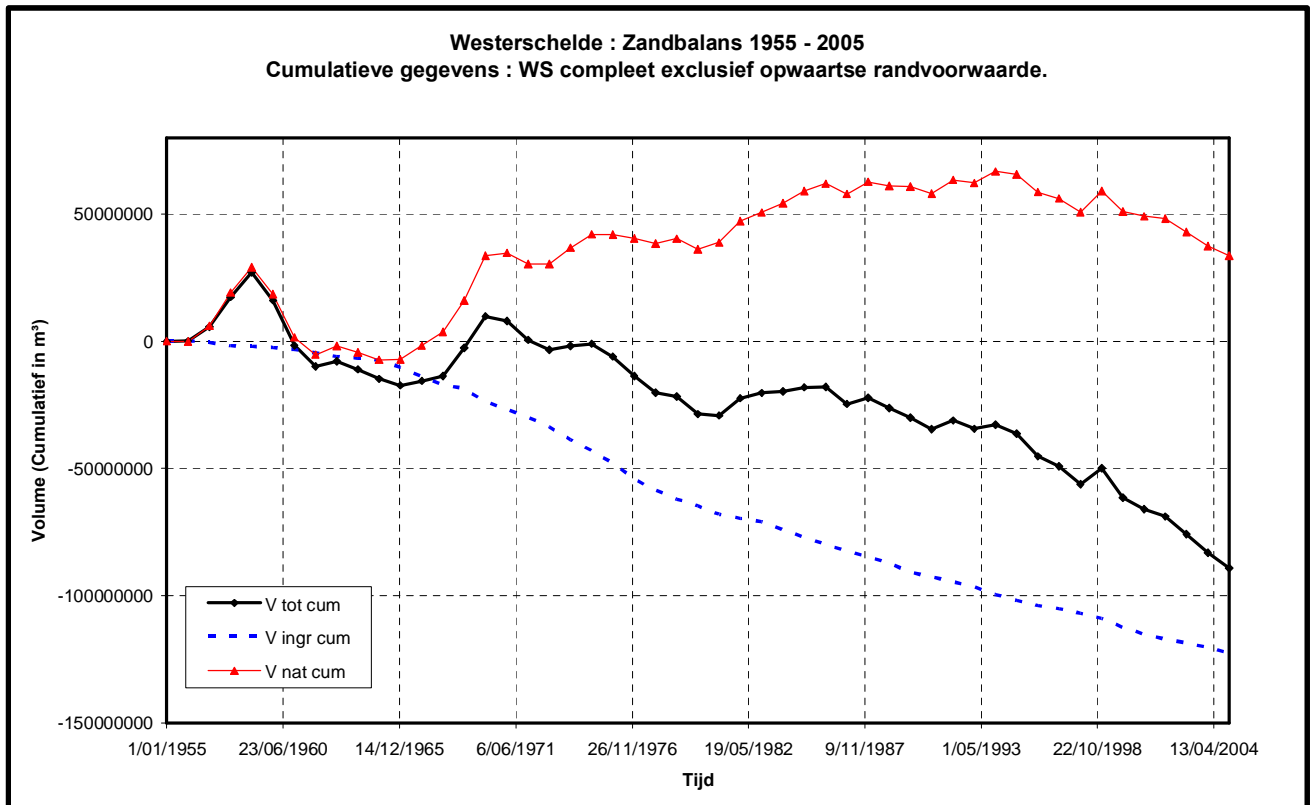


Figuur 5-4: Samenvatting van de uitgevoerde ingrepen tussen 1955 en 2004

### 5.6.3 Globale zandbalans van de Westerschelde

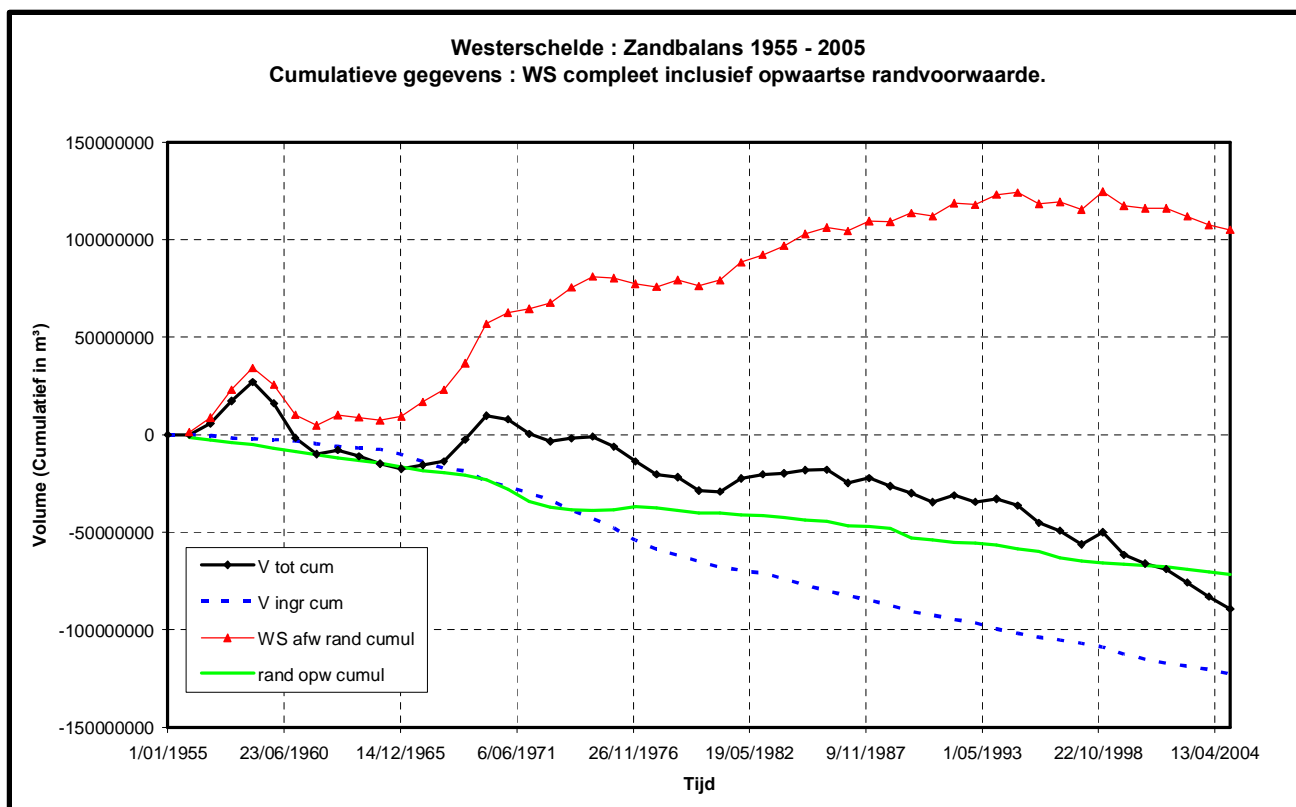
In eerste instantie is een zandbalans voor de Westerschelde als één geheel uitgewerkt. Verwerking van de beschikbare gegevens (jaarlijks geïnterpoleerde lodingsdata, jaarlijkse bagger- en stortvolumes) leidt tot onderstaande resulterende grafiek. In deze grafiek is nog geen rekening gehouden met de randvoorwaarden en reflecteert als dusdanig de "interne" zandbalans van de Westerschelde.

Figuur 5-5 toont aan dat over de periode 1955-2004 een "natuurlijke" variatie waar te nemen is van 34 miljoen m<sup>3</sup> (sedimentatie). Men merkt een scherpe sedimentatie (aanvoer van sedimenten in de Westerschelde) in de periode 1965 tot en met 1969, waarna een stabiel netto volume wordt berekend. Vanaf 1980 merkt men opnieuw een sterke sedimentatie gedurende zes jaar om daaropvolgend weer een vrij stabiel netto verloop te krijgen. Sedert 1994 is de sedimentatie evenwel omgeslagen in een erosie. Deze figuur toont enkel de volumevariatie in de Westerschelde zonder rekening te houden met de transfer van zand ter hoogte van de "externe" randen.



**Figuur 5-5: Globale zandbalans van de Westerschelde exclusief opwaartse randvoorwaarde**

De opwaartse randen (Saeftinghe en Zeeschelde) zorgen voor een export uit de Westerschelde van respectievelijk 15 en 56 miljoen m<sup>3</sup> over de beschouwde periode. In onderstaande figuur van dezelfde cumulatieve zandbalanscomponenten wordt nu wel rekening gehouden met deze randvoorwaarden om tot een netto volumevariatie voor de Westerschelde te komen.



**Figuur 5-6: Globale zandbalans van de Westerschelde**

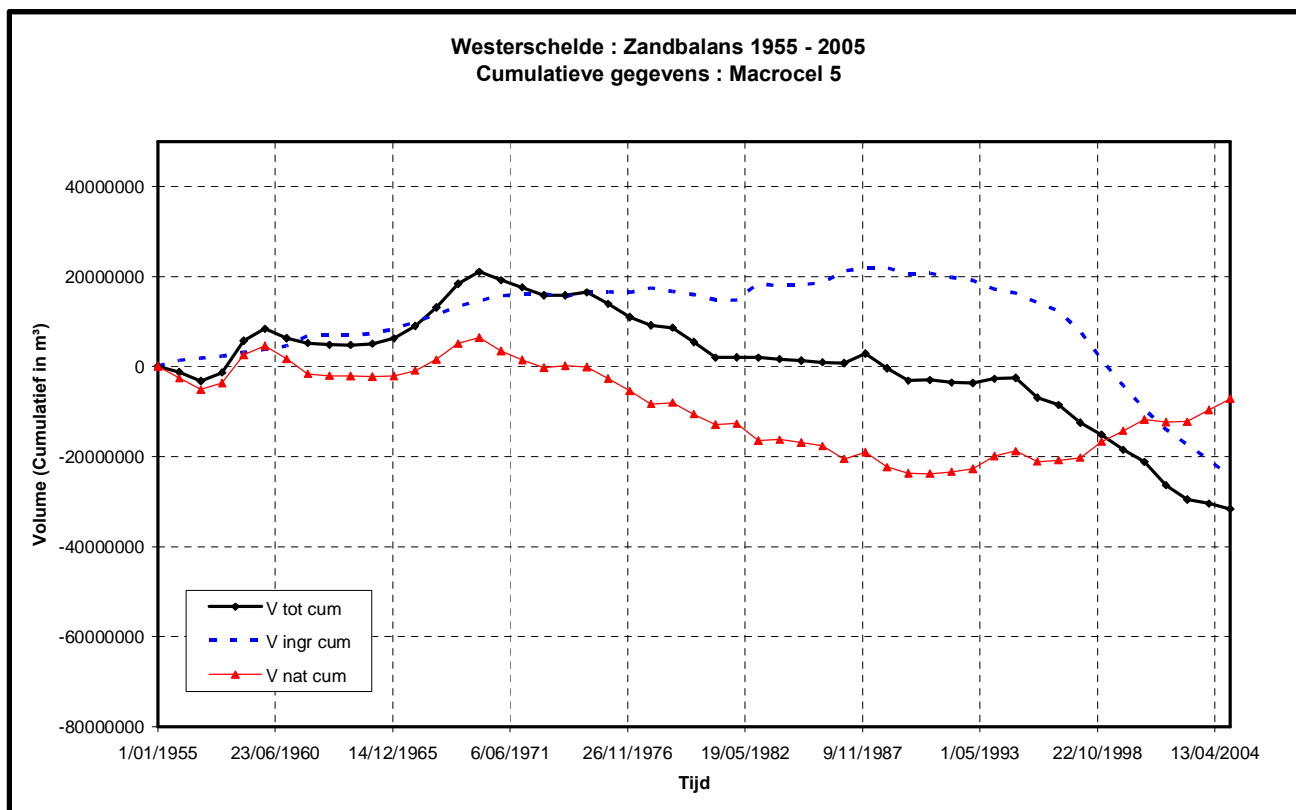
In deze figuur zijn vier datareeksen voorgesteld:

- De gecumuleerde variatie van de bathymetrie ( $\Delta V_{\text{tot}}$  in zwarte lijn) als resultaat van de berekende evolutie in waterinhoud (in  $\text{m}^3$ ) ten opzichte van het referentievlak (3.50 m NAP of 5.82 m TAW). Een stijging van de waterinhoud tussen 1 januari en 31 december stemt overeen met een daling van de rivierbodem in dezelfde periode. Een dalende lijn in de grafiek betekent dus dat over de beschouwde periode de (gemiddelde) bodem daalt: men registreert resulterende erosie.
- Het saldo van de ingrepen ( $\Delta V_i$  in blauwe stippellijn). Deze lijn wordt bepaald door op jaarbasis de storthoeveelheden te verminderen met de baggerhoeveelheden en zandwinningsen en vervolgens cumulatief te sommeren. Een dalende lijn betekent dat er meer gebaggerd wordt dan gestort in de beschouwde periode.
- De groene lijn stelt de opwaartse randvoorwaarde ter hoogte van de Belgisch Nederlandse grens voor. In deze randvoorwaarde is zowel het transport naar de Zeeschelde als het transport naar "Het Verdrongen Land van Saeftinghe" begrepen. Een dalende lijn wijst op export vanuit de Westerschelde naar de Zeeschelde en Saeftinghe.
- De rode lijn stelt de afwaartse randvoorwaarde voor (ter hoogte van de lijn Vlissingen-Breskens). Een stijgende lijn duidt op import in de Westerschelde vanuit het mondingsgebied terwijl een dalende lijn export vertegenwoordigt van de Westerschelde richting monding.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat tussen 1955 en 1965 de afwaartse randvoorwaarde (import/export vanuit de Westerschelde) sterk op en neer schommelt rond een evenwichtstoestand. Tussen 1965 en 1974 is er een sterke import. Vanaf 1975 tot en met 1981 is de situatie nagenoeg stabiel (geen import/export). Tussen 1982 en 1994 is er duidelijk import terwijl vanaf dat ogenblik er eerst een stabilisatie (nagenoeg nultransport) en vervolgens export optreedt (sedert 1998). Deze "natuurlijke" import/export van zand in de Westerschelde is naar alle waarschijnlijkheid een natuurlijke reactie van het estuarien systeem op een aantal factoren. Enerzijds is na 1997 de stortstrategie in de Westerschelde gewijzigd en anderzijds is er de verdere verdieping van de vaargeul waardoor het stromingsbeeld en bijgevolg de sedimentbewegingen beïnvloed kunnen worden.

### 5.6.4 Zandbalans per macrocel in de Westerschelde

Voor elk van de macrocellen is eveneens een zandbalans samengesteld. Als voorbeeld is hier de balans van de macrocel 5 weergegeven. In deze figuur wordt enkel rekening gehouden met de ingrepen en de opgemeten bodemvariatie in de cel zelf. De op- en afwaartse randvoorwaarden zijn niet in deze figuur opgenomen. In Bijlage 3 zijn de figuren voor elk van de macrocellen opgenomen.



**Figuur 5-7: Balans van macrocel 5 in de Westerschelde**

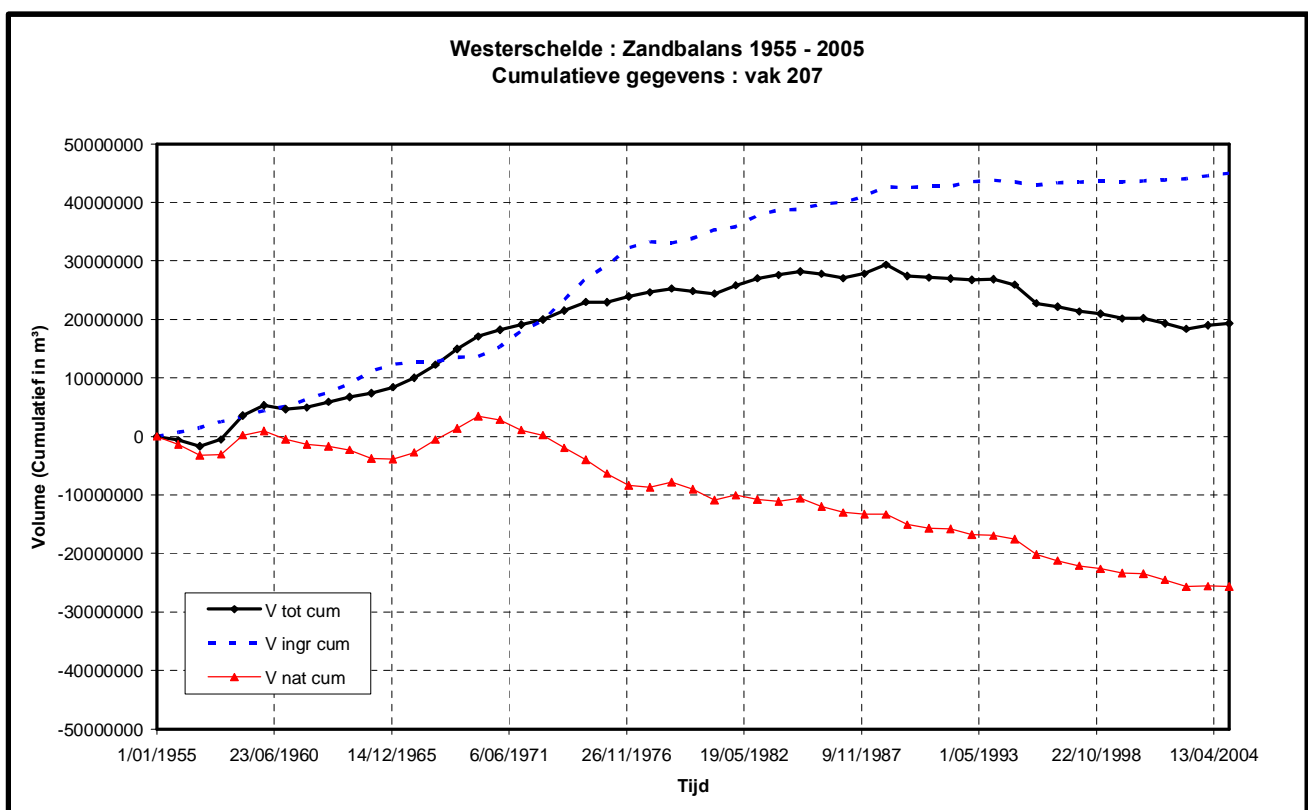
Deze figuur toont aan dat sedert 1993 het saldo van de ingrepen in dit gebied sterk gewijzigd is. Tot 1993 werd er meer materiaal toegevoegd (voornamelijk stortingen op Schaar van Waarde) dan dat er materiaal onttrokken werd. Sedert 1993 is deze situatie vrij plotseling omgeslagen: sedert die datum wordt er veel meer materiaal (zand) onttrokken (baggeren en zandwinning) dan er gestort is.

Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

- Verplaatsing van de zandwinning van het westelijk deel van de Westerschelde naar het oostelijk deel.
- Beperking van het stortvolume tot 1 miljoen m<sup>3</sup> (vanaf 1997)
- Mogelijke invloeden van de verdieping van de vaargeul.

### 5.6.5 Zandbalans per rekencel in de Westerschelde

Voor elk van de 26 rekencellen is eveneens een individuele balans opgemaakt. Deze grafieken tonen opnieuw het verloop van de menselijke ingrepen, de resulterende bathymetrie en als resultante de "natuurlijke" variatie in de rekencel. Als voorbeeld is hier de grafiek voor rekencel 207 opgenomen (omvat de Schaar van Waarde).



**Figuur 5-8: Balans van rekencel 207 (deel macrocel 5) in de Westerschelde**

Deze figuur toont aan dat er per saldo ongeveer 45 miljoen m<sup>3</sup> cumulatief gestort wordt in deze cel over de volledige waarnemingsperiode. Ook het bodemprofiel is gedurende de beschouwde periode gestegen (maar de geregistreerde sedimentatie is minder dan het saldo van de stortingen). Dit betekent dat er een natuurlijke erosie van ongeveer 25 miljoen m<sup>3</sup> optreedt in deze rekencel. De figuren van de 26 gedefinieerde rekencellen zijn opgenomen in Bijlage 4.

### 5.6.6 Doorrekening van de randvoorwaarde van Zeeschelde tot Monding per macrocel

Voor de opeenvolgende macrocellen is eveneens de randvoorwaarde tussen de opeenvolgende cellen bepaald. De figuren voor de opeenvolgende macrocellen zijn hieronder opgenomen. Door implementatie van de opwaartse rand (initieel vanaf de Zeeschelde) kan de variatie ter hoogte van de volgende afwaartse rand berekend worden. Door op deze wijze systematisch van opwaarts naar afwaarts te werken doorheen het estuarium wordt uiteindelijk de afwaartse randvoorwaarde naar het mondingsgebied bekomen. Ter controle kan gesteld worden dat die randvoorwaarde natuurlijk moet overeenstemmen met deze bepaald voor de Westerschelde in zijn geheel. Aldus wordt een aaneengeschaalde ketting van macrocellen samengesteld waartussen zandbeweging/-uitwisseling kan bepaald worden als macro-transport binnen het estuarium.

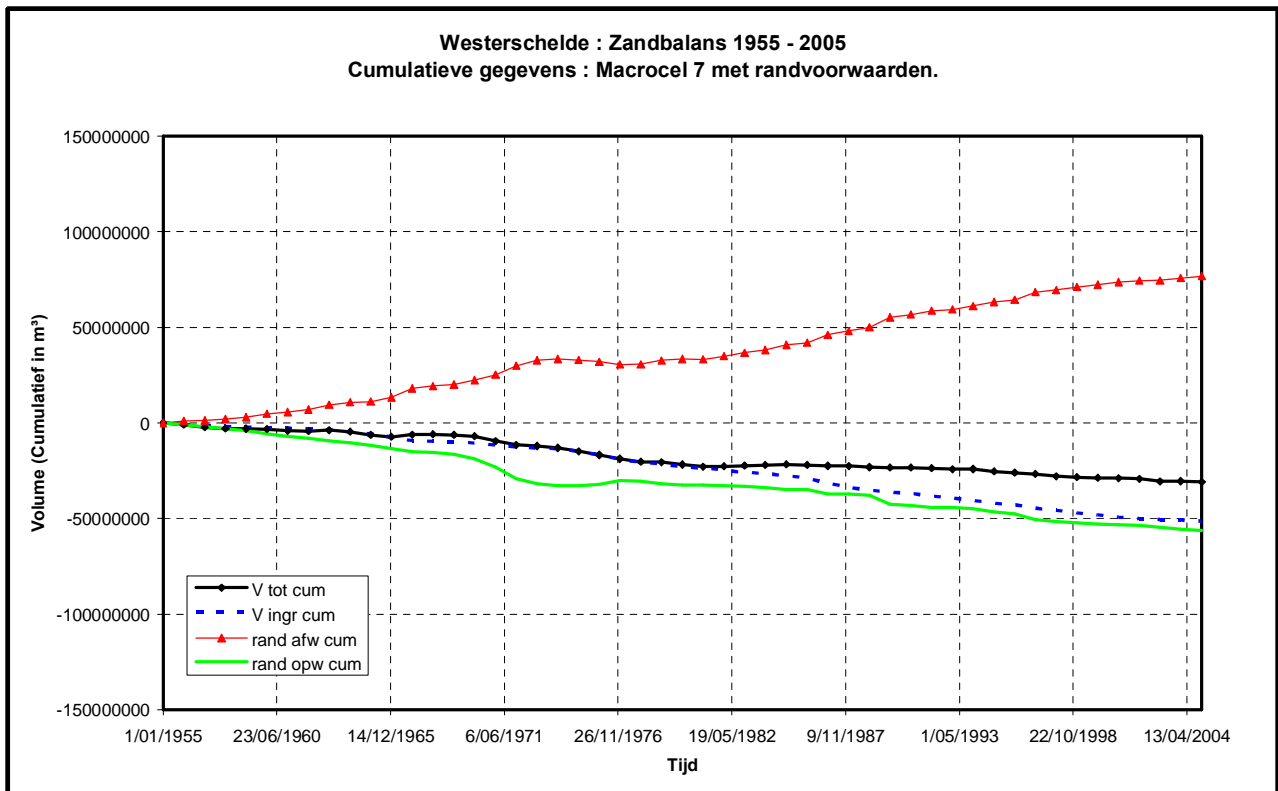
Bij deze berekeningen dient rekening gehouden te worden met drie speciale zones:

- Rekencellen 310 en 311 (Plaat van Ossensisse - Put van Hansweert) vormen de scheiding tussen macrocel 5 en macrocel 4. Deze rekencellen zijn niet opgenomen in een macrocel. Voor deze beide vakken wordt de berekening dan ook apart uitgevoerd.
- Mesocel 2 wordt bij macrocel 1 gevoegd om de afwaartse randvoorwaarde te bekomen.
- Voor de macrocel 5 wordt ook rekening gehouden met de uitwisseling naar het "Verdronken Land van Saefthinghe". Zoals vroeger reeds aangehaald is wordt deze uitwisseling constant in de tijd (300 000 m<sup>3</sup>/jaar) verondersteld.

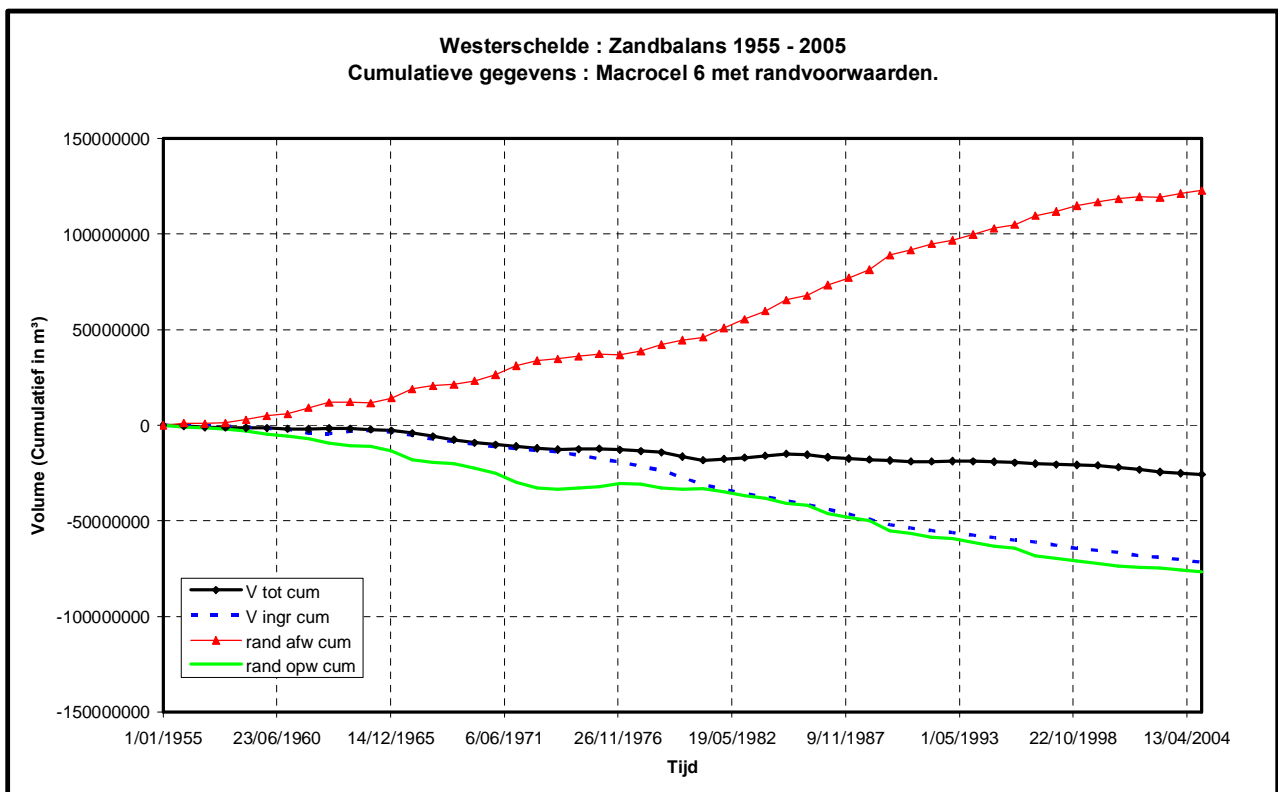
In de figuren worden vier cumulatieve datareeksen voorgesteld:

- Bathymetrie variatie (volgens lodingsdata) in de betreffende macrocel (zwarte lijn)
- Som van ingrepen in de betreffende macrocel (blauwe streeplijn)
- Randvoorwaarde aan opwaartse zijde van de macrocel (groene lijn). Een dalende lijn betekent export uit de macrocel, terwijl een stijgende lijn import naar de macrocel vertegenwoordigt.
- Randvoorwaarde aan de afwaartse zijde van de macrocel (rode lijn). Ook hier betekent een dalende lijn export uit de macrocel, terwijl een stijgende lijn import naar de macrocel vertegenwoordigt.

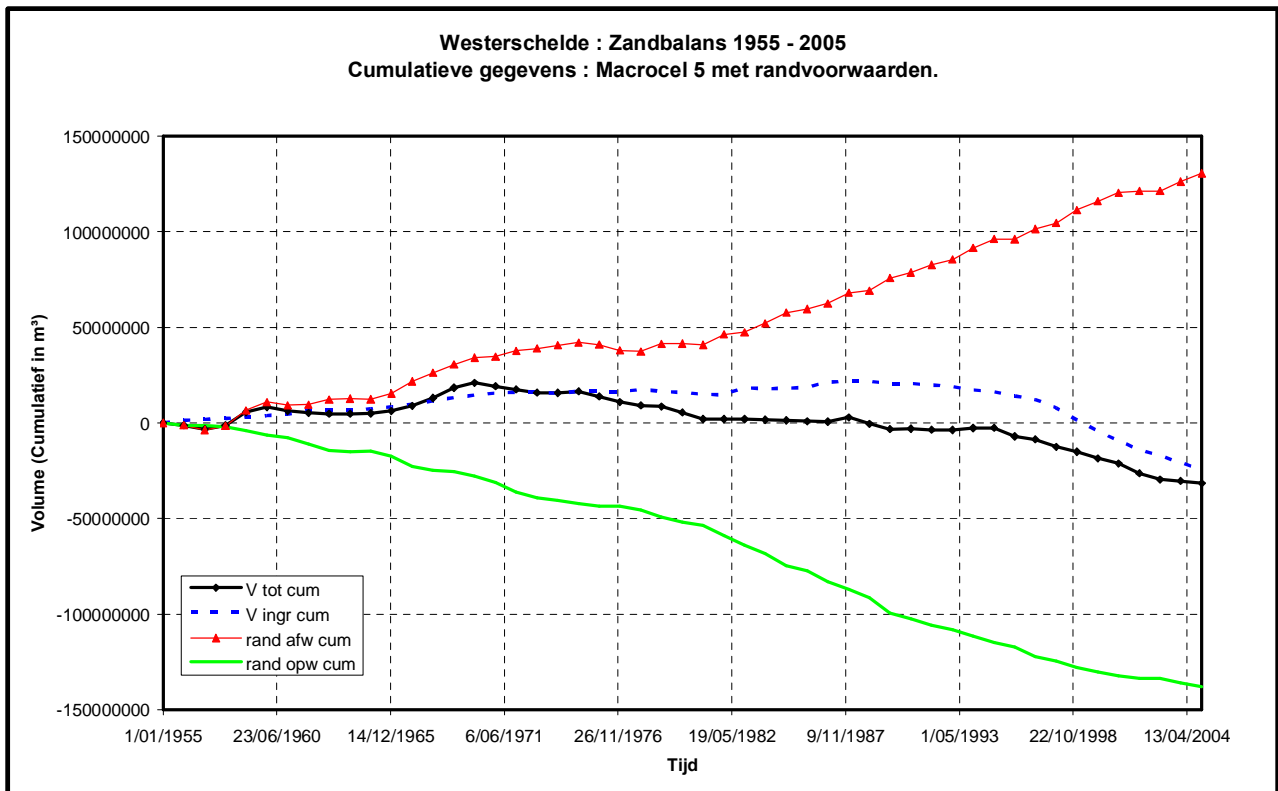




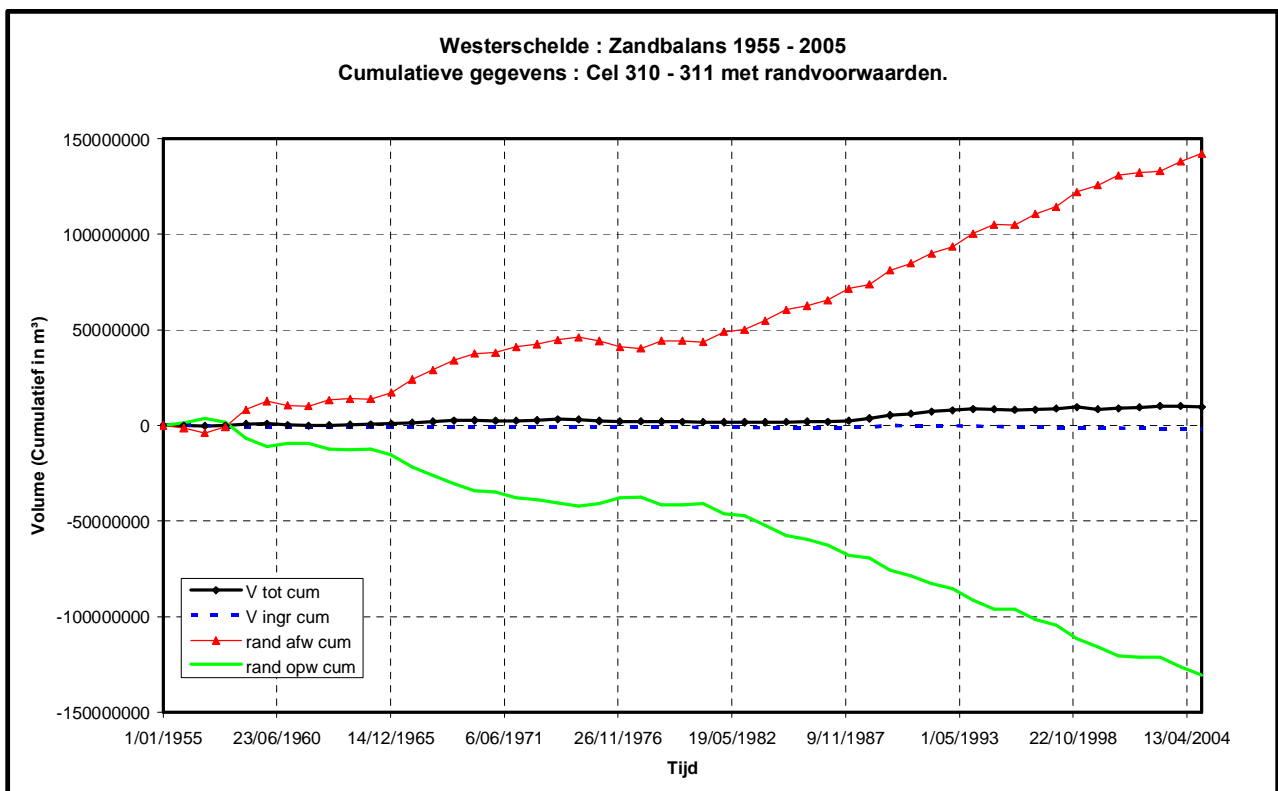
**Figuur 5-9: Volledige zandbalans voor macrocel 7 van de Westerschelde**



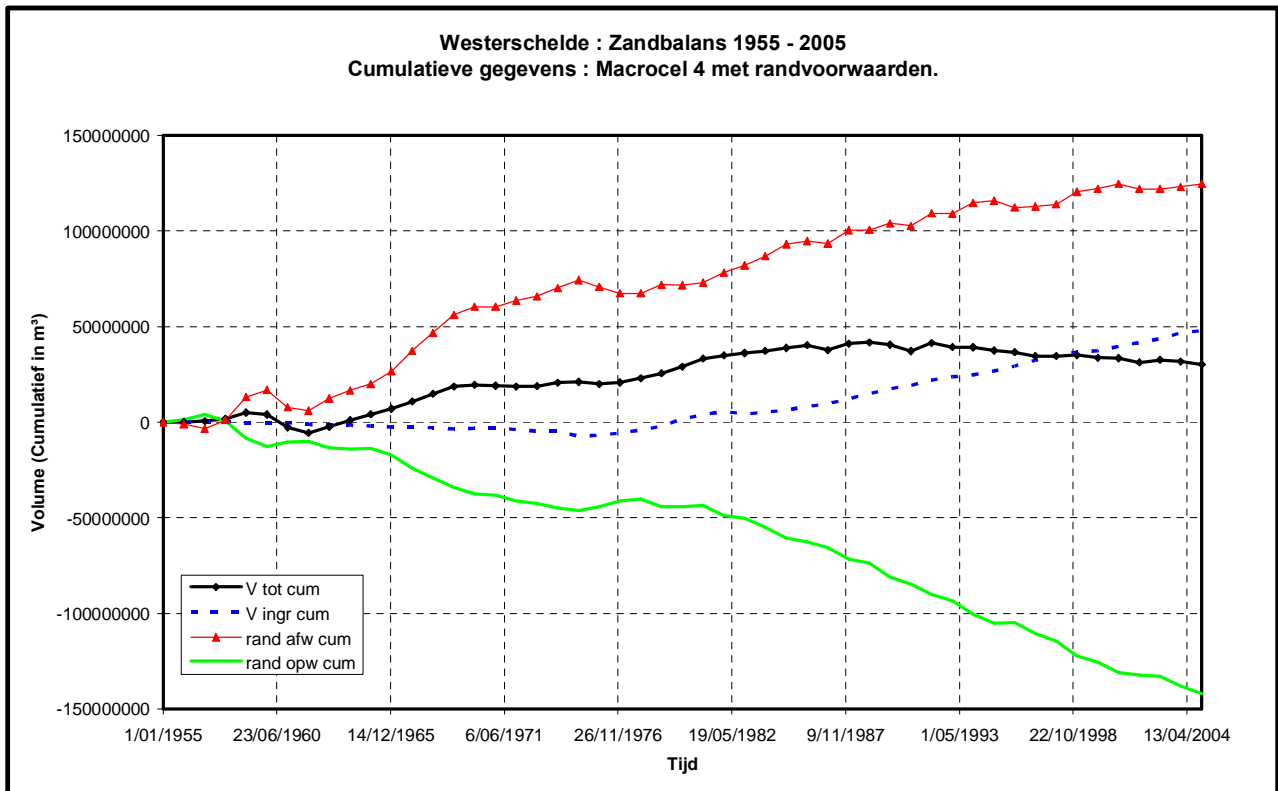
**Figuur 5-10: Volledige zandbalans voor macrocel 6 van de Westerschelde**



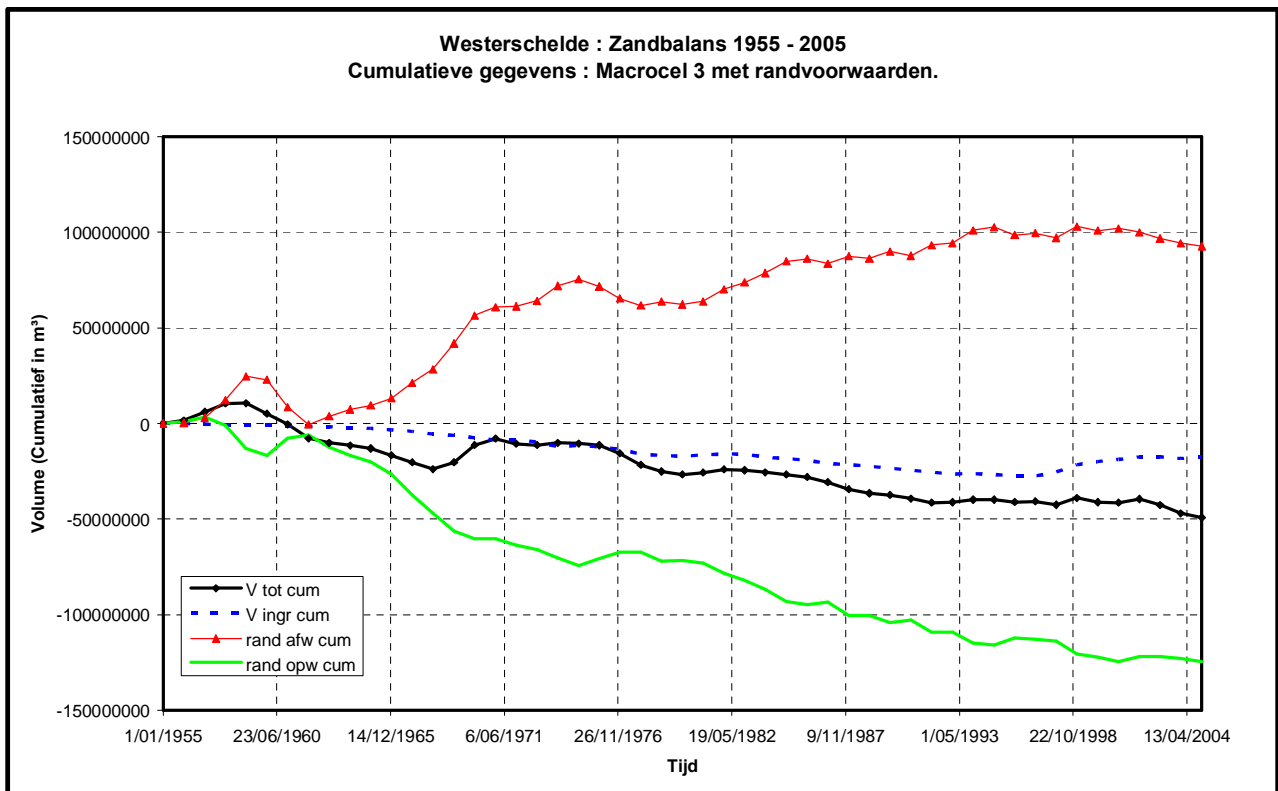
**Figuur 5-11: Volledige zandbalans voor macrocel 5 van de Westerschelde**



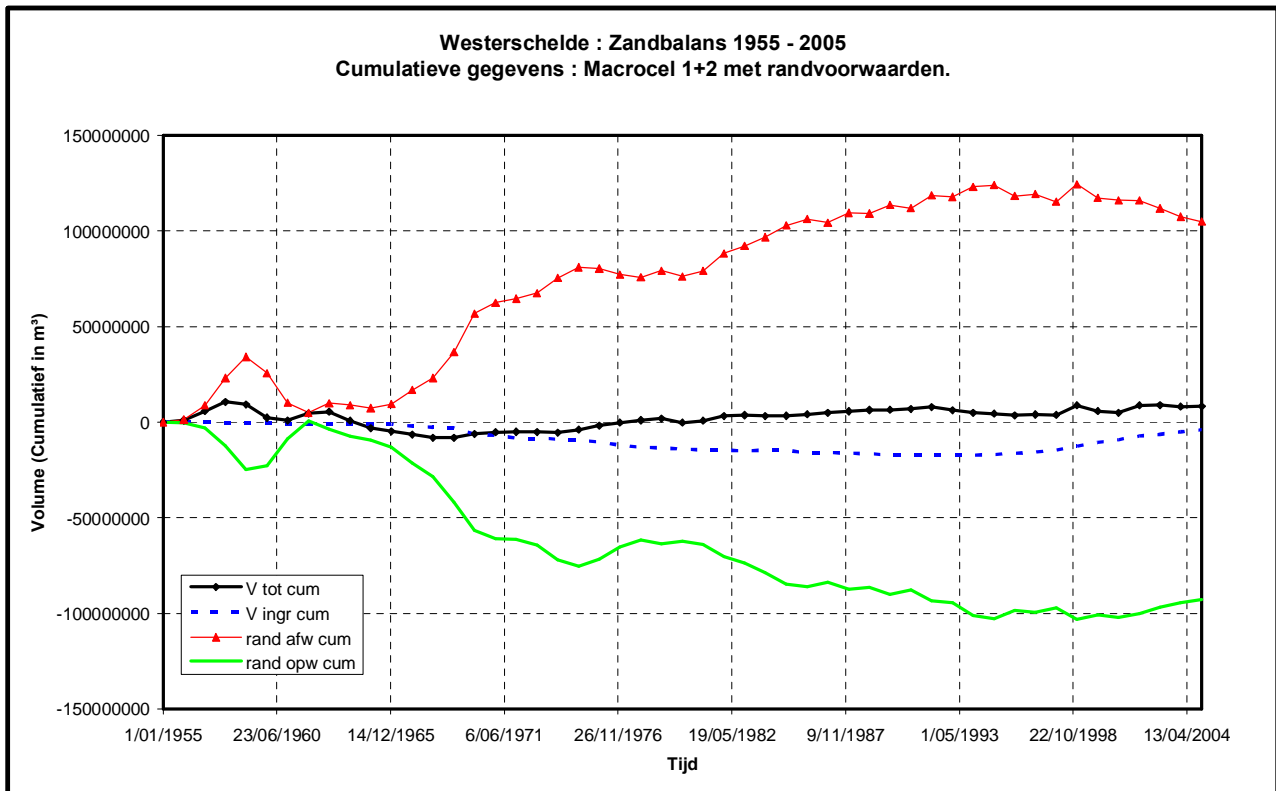
**Figuur 5-12: Volledige zandbalans voor cellen 310-311**



**Figuur 5-13: Volledige zandbalans voor macrocel 4 van de Westerschelde**



**Figuur 5-14: Volledige zandbalans voor macrocel 3 van de Westerschelde**



**Figuur 5-15: Volledige zandbalans voor macrocel 1 en 2 van de Westerschelde**

Zoals uit deze laatste figuur blijkt komt de afwaartse rand (rode lijn) zoals hier cumulatief berekend doorheen de opeenvolgende macrocellen perfect overeen met het eerder uit de globale zandbalans berekende saldo in Figuur 5-6.

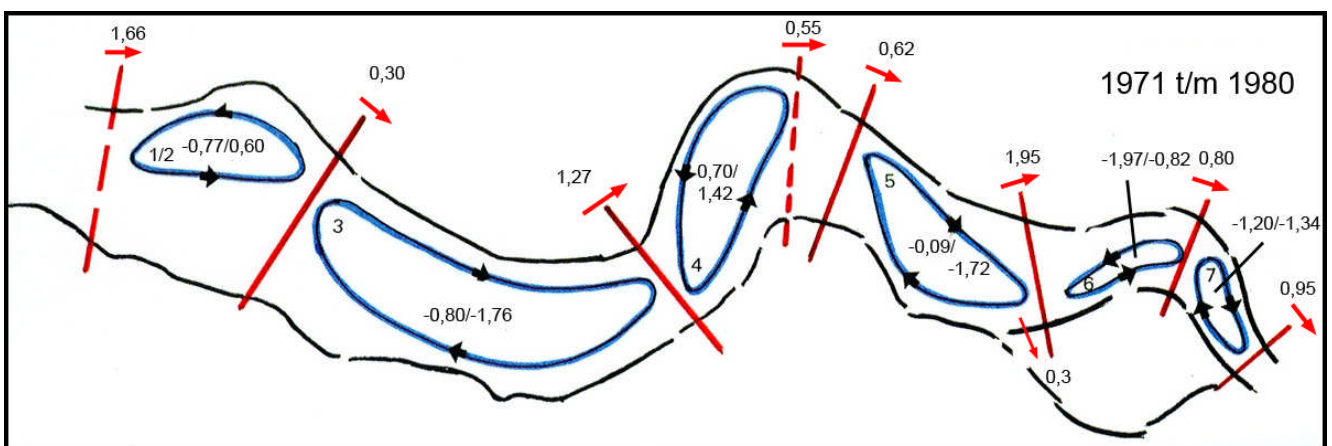
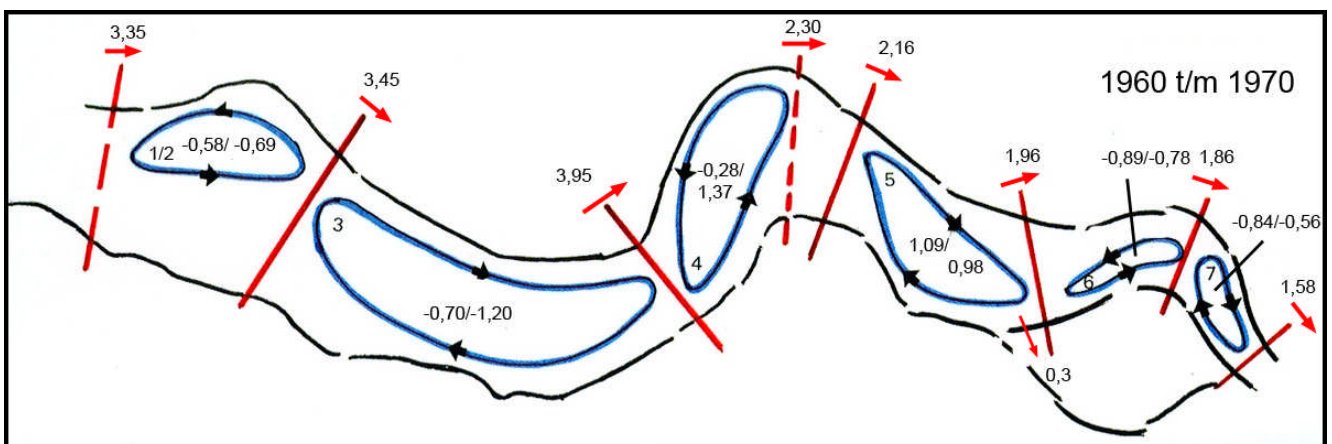
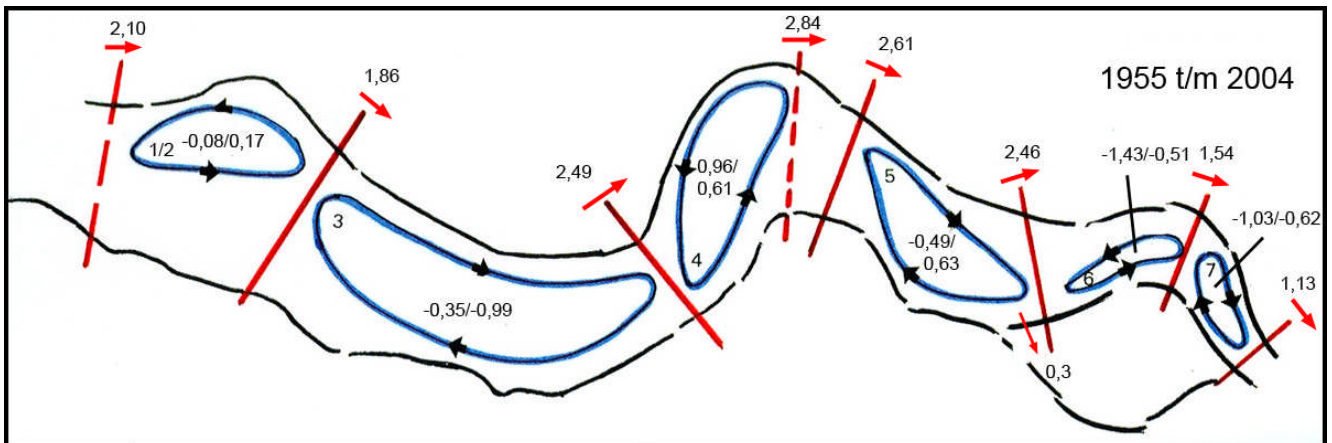
### 5.6.7 Schematische voorstelling van de sedimentbewegingen

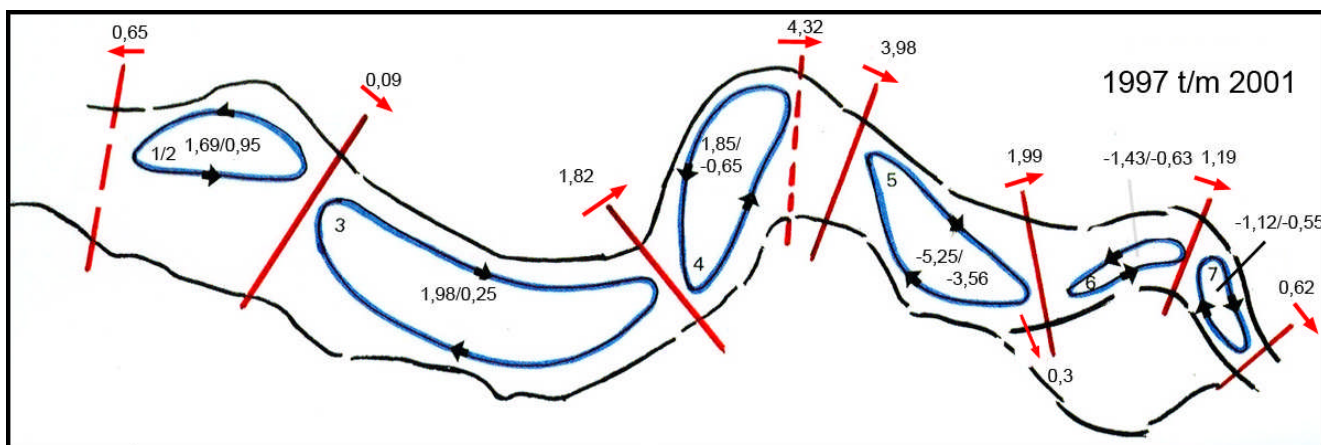
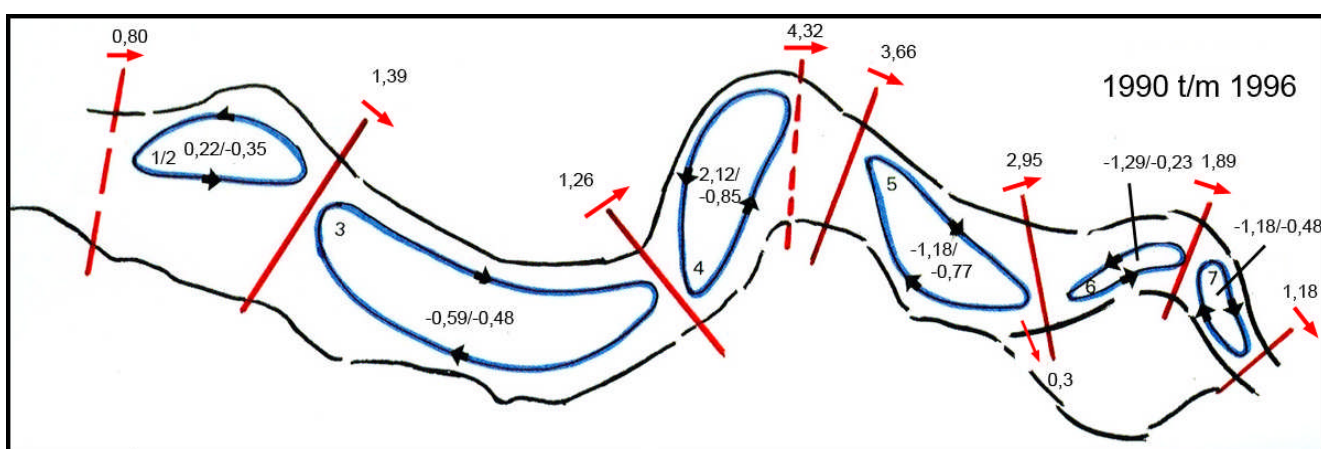
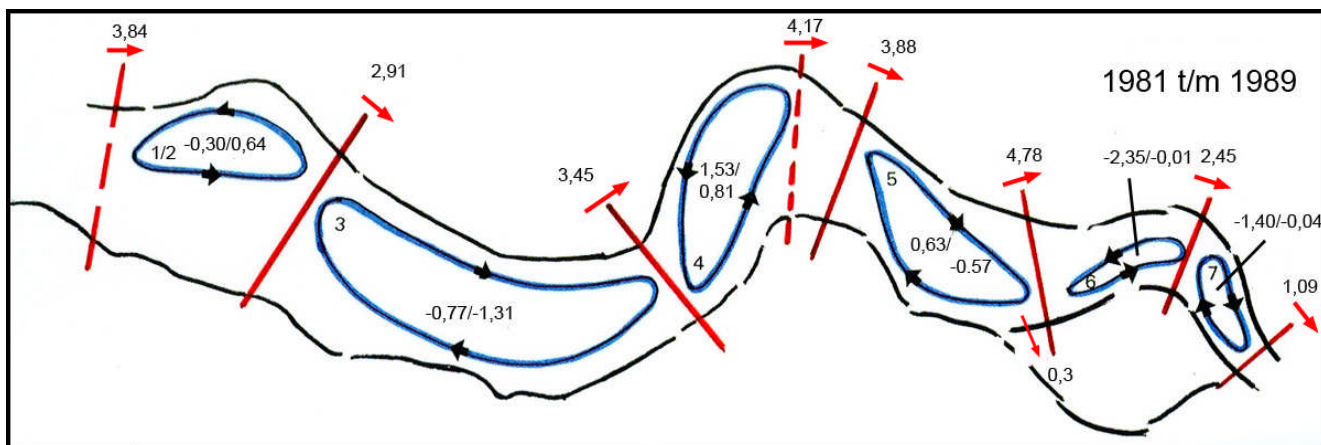
Op basis van bovenstaande schakeling tussen de opeenvolgende macrocellen in het Westerschelde-estuarium en de bijhorende randvoorwaarden wordt dan verder effectief de beweging van zand begroot binnen deze macrocellen.

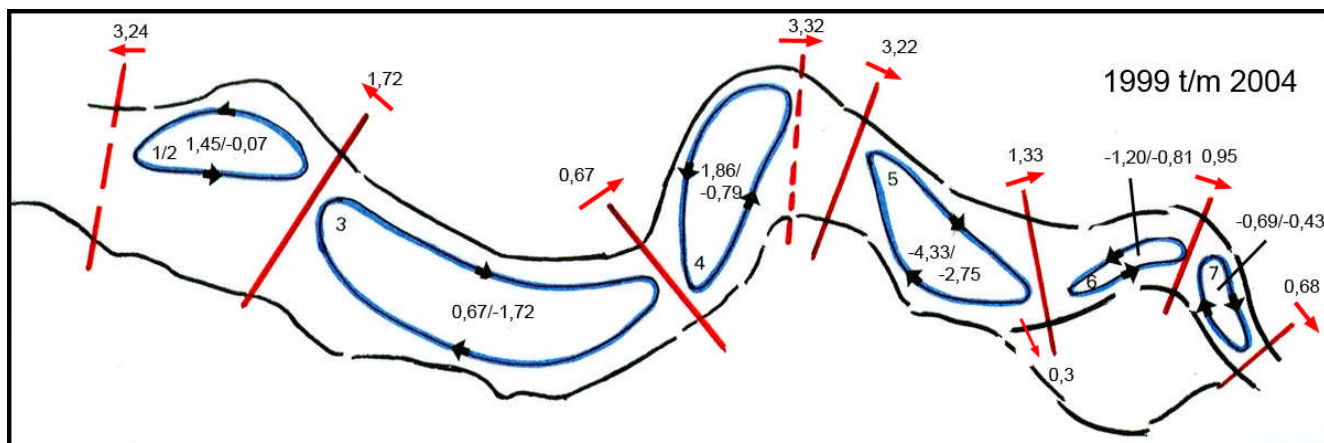
Onderstaande figuren schetsen de uitwisseling van zandmateriaal in de Westerschelde in de opeenvolgende macrocellen. Omdat er mogelijks in de loop der jaren wijzigingen optreden in het transportbeeld zijn hier enkele figuren voor respectievelijke deelperiodes uit de volledige waarnemingsperiode geselecteerd. Volgende periodes zijn beschouwd:

- periode 1955-2004: de volledige 50 jaar data
- periode 1960-1970: periode overgenomen uit vorige zandbalans
- periode 1971-1980: periode overgenomen uit vorige zandbalans
- periode 1981-1989: periode overgenomen uit vorige zandbalans
- periode 1990-1996: periode overgenomen uit vorige zandbalans
- periode 1997-2001: periode overgenomen uit vorige zandbalans.
- periode 1999-2004: de laatste 6 jaar die een globale en sterke daling (erosie) vertoont

In de figuren zijn gemiddelde jaarvolumes over de beschouwde periode weergegeven (in miljoen m<sup>3</sup> per jaar). Op de scheidingslijnen is de uitwisseling tussen de opeenvolgende macrocellen aangeduid alsook de richting van het transport. In de cellen zelf is telkens het volume van de ingrepen weergegeven (linkse waarde) samen met de volumewijziging van de cel (rechtse waarde). Een negatieve waarde van de ingrepen betekent dat er per saldo zand uit de betreffende cel verdwijnt. Een negatieve waarde voor de volumewijziging van de cel geeft aan dat de bodem van de cel gemiddeld verlaagd is.







**Figuur 5-16: Gemiddelde jaarlijkse transporten tussen de cellen in de Westerschelde**

Bovenstaande figuren tonen aan dat sedert 1997 het transportgedrag in de Westerschelde wijzigt. In de afwaartse zone (macrocel 1) is reeds transport in de richting van de monding. De omslag van import naar export verplaatst zich geleidelijk aan naar opwaarts in de Westerschelde.

## 5.7 Conclusies

Op basis van de globale balans voor de periode 1955-2004 is ter hoogte van de monding ongeveer 105 miljoen m<sup>3</sup> zand geïmporteerd. Hiervan verdwijnt 15 miljoen m<sup>2</sup> richting Saeftinghe en 56 miljoen m<sup>3</sup> richting Zeeschelde.

De import vanuit de monding is niet constant in de loop der jaren. Tussen 1955 en 1960 is er eerst een vrij aanzienlijke import gevolgd door een grote export. Mogelijk hebben deze schommelingen te maken met minder betrouwbare lodingsgegevens. Tussen 1969 en 1991 is de import vrij constant. Sedert 1994 is de import vanuit de mondingszone geleidelijk afgenomen en uiteindelijk omgeslagen naar een vrij aanzienlijke export gedurende de laatste jaren. Deze omslag heeft een aantal mogelijke verklaringen. Enerzijds is de stortstrategie sedert 1997 gewijzigd waarbij de terugstortingen de laatste jaren voornamelijk in het westelijk deel in plaats van in het oostelijk deel van de Westerschelde plaatsvinden en anderzijds is er mogelijk de invloed van de verdiepingen van de vaargeul.

## 6 Monding

### 6.1 Inleiding

Het mondingsgebied strekt zich uit vanaf de lijn Breskens-Vlissingen (op de Westerschelde) tot afwaarts de haven van Zeebrugge. In deze zone zijn een aantal belangrijke stortlocaties (S1, S2, R4, Zeebrugge Oost) en baggerzones (vaargeulen richting Westerschelde: Scheur-Wielingen en richting haven van Zeebrugge: Pas van het zand-Ribzand) gelegen.

In dit gebied zijn de lodingsgegevens pas sedert het begin van de jaren '70 beschikbaar. Daarnaast is de aanleg en uitbouw van de haven van Zeebrugge ook in deze periode gerealiseerd.

### 6.2 Indeling in deelgebieden

Bij de indeling in rekenvakken is in eerste instantie vertrokken van de lodingsvakken (12 tot 19 en 44) en verder onderverdeeld op een wijze die aanleunt bij deze voorgesteld door RIKZ. In Bijlage 1 Figuur 3 zijn de lodingsvakken alsook de rekenvakken aangeduid. Tevens is de gehanteerde nummering van de rekenvakken in de figuur opgenomen. In totaal is dit gebied ingedeeld in 44 rekenvakken.

### 6.3 Beschikbare gegevens

Zoals reeds aangehaald zijn de lodingsgegevens voor het mondingsgebied slechts beschikbaar vanaf begin de jaren '70. Het lodingsvak 44 (afwaarts van Zeebrugge) is echter pas de eerste maal gepeild in 1976.

Volgende gegevens zijn verzameld:

- Lodingsgegevens voor het volledige gebied van de Monding
- Baggervolumes per locatie en per jaar
- Stortvolumes per locatie en per jaar
- Gegevens over de uitgevoerde suppleties
- Eventuele zandwinnings en verplaatsingen van volumes.

Deze gegevens worden verzameld per bagger-, stort-, suppletie- of zandwinlocatie om nadien verdeeld te worden over de rekencellen volgens de oppervlakteverhoudingen.

### 6.4 Verwerking zandbalans

De zandbalans wordt op dezelfde wijze opgebouwd als bij de Westerschelde en bij de Zeeschelde. Details van de werkwijze kunnen teruggevonden worden in paragraaf 3.3.



## 6.5 Verwerking van de basisgegevens

### 6.5.1 Verwerking lodingsgegevens

De lodingsgegevens van de monding zijn slechts beschikbaar vanaf het begin van de jaren '70. Voor het lodingsvak 44 (afwaarts van Zeebrugge) zijn deze gegevens slechts beschikbaar vanaf 1976. Omdat geen exacte datum gekend is van de lodingen wordt bij deze berekeningen aangenomen dat de lodingsdatum gesitueerd is op 1 juli van het betreffende jaar. In onderstaande tabel zijn de gebruikte lodingen opgenomen. Dit zijn enkel de lodingen die na een kwaliteitscontrole als voldoende betrouwbaar gecatalogeerd zijn onder de vorm van aangevulde grids. De grids hebben de zelfde eigenschappen als die van de Westerschelde (cfr. 5.4).

**Tabel 6-1: Overzicht beschikbare lodingsgegevens mondingsgebied**

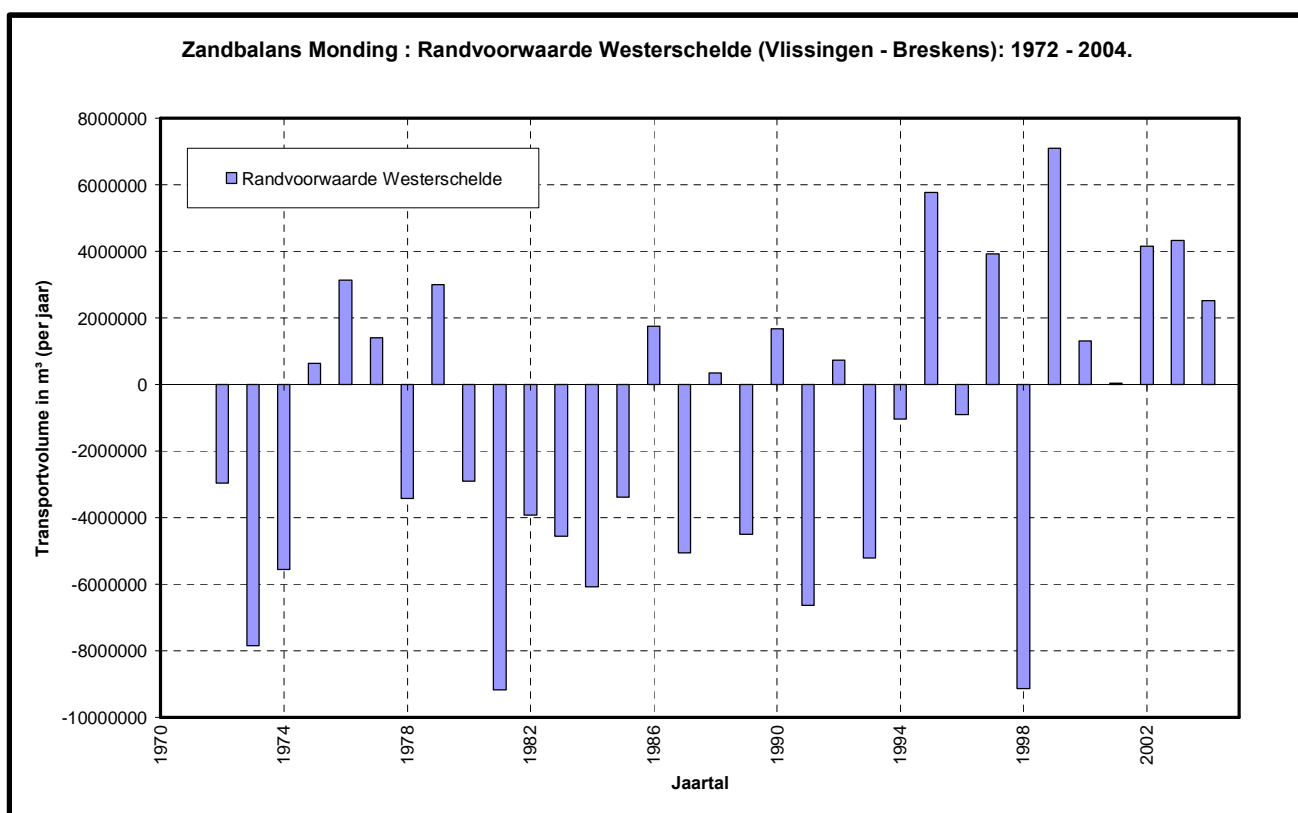
	<b>vak 12</b>	<b>vak 13</b>	<b>vak 14</b>	<b>vak 15</b>	<b>vak 16</b>	<b>vak 17</b>	<b>vak 18</b>	<b>vak 19</b>	<b>vak 44</b>	<b>vak 99</b>
1969		1/7/69								
1970										
1971			1/7/71	1/7/71	1/7/71					
1972	1/7/72	1/7/72				1/7/72	1/7/72	1/7/72		
1973			1/7/73	1/7/73	1/7/73					
1974	1/7/74					1/7/74	1/7/74	1/7/74		
1975		1/7/75		1/7/75	1/7/75					
1976	1/7/76		1/7/76			1/7/76	1/7/76	1/7/76	1/7/76	
1977				1/7/77	1/7/77				1/7/77	
1978	1/7/78	1/7/78	1/7/78			1/7/78	1/7/78	1/7/78		
1979			1/7/79	1/7/79	1/7/79				1/7/79	
1980	1/7/80	1/7/80				1/7/80	1/7/80	1/7/80		
1981										
1982	1/7/82					1/7/82	1/7/82	1/7/82		
1983										
1984						1/7/84	1/7/84			
1985		1/7/85	1/7/85	1/7/85	1/7/85			1/7/85	1/7/85	
1986	1/7/86					1/7/86	1/7/86	1/7/86		
1987				1/7/87	1/7/87				1/7/87	
1988						1/7/88	1/7/88	1/7/88		
1989		1/7/89	1/7/89	1/7/89	1/7/89	1/7/89		1/7/89	1/7/89	
1990	1/7/90			1/7/90	1/7/90	1/7/90	1/7/90	1/7/90	1/7/90	
1991										
1992						1/7/92	1/7/92	1/7/92		
1993	1/7/93	1/7/93	1/7/93	1/7/93	1/7/93				1/7/93	
1994						1/7/94	1/7/94	1/7/94		
1995				1/7/95	1/7/95				1/7/95	
1996						1/7/96	1/7/96	1/7/96		
1997	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	1/7/97	
1998						1/7/98	1/7/98	1/7/98		
1999				1/7/99	1/7/99		1/7/99		1/7/99	
2000						1/7/00	1/7/00			1/7/00
2001	1/7/01	1/7/01	1/7/01		1/7/01		1/7/01	1/7/01		1/7/01
2002				1/7/02		1/7/02	1/7/02	1/7/02	1/7/02	1/7/02
2003				1/7/03	1/7/03		1/7/03		1/7/03	
2004						1/7/04	1/7/04	1/7/04		1/7/04
2005	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05	1/7/05

In deze tabel is een lodingsvak 99 toegevoegd. Dit lodingsvak omvat 3 rekenvakken (42, 43 en 44) gelegen langs de Belgische kust. Voor deze 3 rekenvakken is enkel voor de laatste jaren enige informatie beschikbaar betreffende de bathymetrie. De lodingsgegevens die uitgedrukt zijn in het projectiesysteem Lambert 72 met TAW voor de hoogte, zijn afkomstig van de Afdeling Kust en bevatten hoogtepunten opgenomen via laseraltimetrie. Deze punten zijn gegrid op 5 m en bruikbaar gemaakt voor de volumeberekening onder UNIX.

Rekening houdend met de beschikbare lodingsgegevens is gekozen om de zandbalans uit te werken vanaf 1 januari 1972. Bij de rekenvakken waarbij de eerste lodingsdata dateert van na 1 januari 1972 wordt verondersteld dat de bathymetrie constant is en gelijk aan de situatie op datum van de eerste lodingsgegevens

### 6.5.2 Randvoorwaarden

Bij de opbouw van de zandbalans van het mondingsgebied van de Westerschelde wordt het transport van vast materiaal ter hoogte van de lijn "Vlissingen-Breskens" overgenomen uit de zandbalans van de Westerschelde (zie Figuur 6-1). Deze lijn wordt de opwaartse randvoorwaarde van het mondingsgebied. Aan de andere zijde (zeezijde) van het onderzoeksgebied is geen detail informatie bekend over de uitwisseling van vast materiaal tussen de Zee en het mondingsgebied. Het zal dan ook niet mogelijk zijn om hieromtrent gedetailleerde uitspraken te formuleren. Enkel de globale import of export van of naar de zee kan bepaald worden uit de zandbalans.



Figuur 6-1: Opwaartse randvoorwaarde mondingsgebied

Negatieve waarden in bovenstaande figuur betekenen een transport van monding naar Westerschelde. Tot 1994 was het transport overwegend landinwaarts gericht. Sedert 1995 gebeuren de grootste bewegingen evenwel in de richting van de monding. In de figuur is duidelijk dat de sedimentbewegingen vrij scherp variëren van jaar tot jaar. Dit is deel te wijten aan de gehanteerde rekenmethode waarbij op jaarbasis gewerkt wordt. Hierdoor kunnen de resultaten op jaarbasis een vertekend beeld geven (over- of onderschatting van transport). De afwijkingen kunnen vrij drastische waarden aannemen. De lange termijn trend is daarentegen wel betrouwbaar.

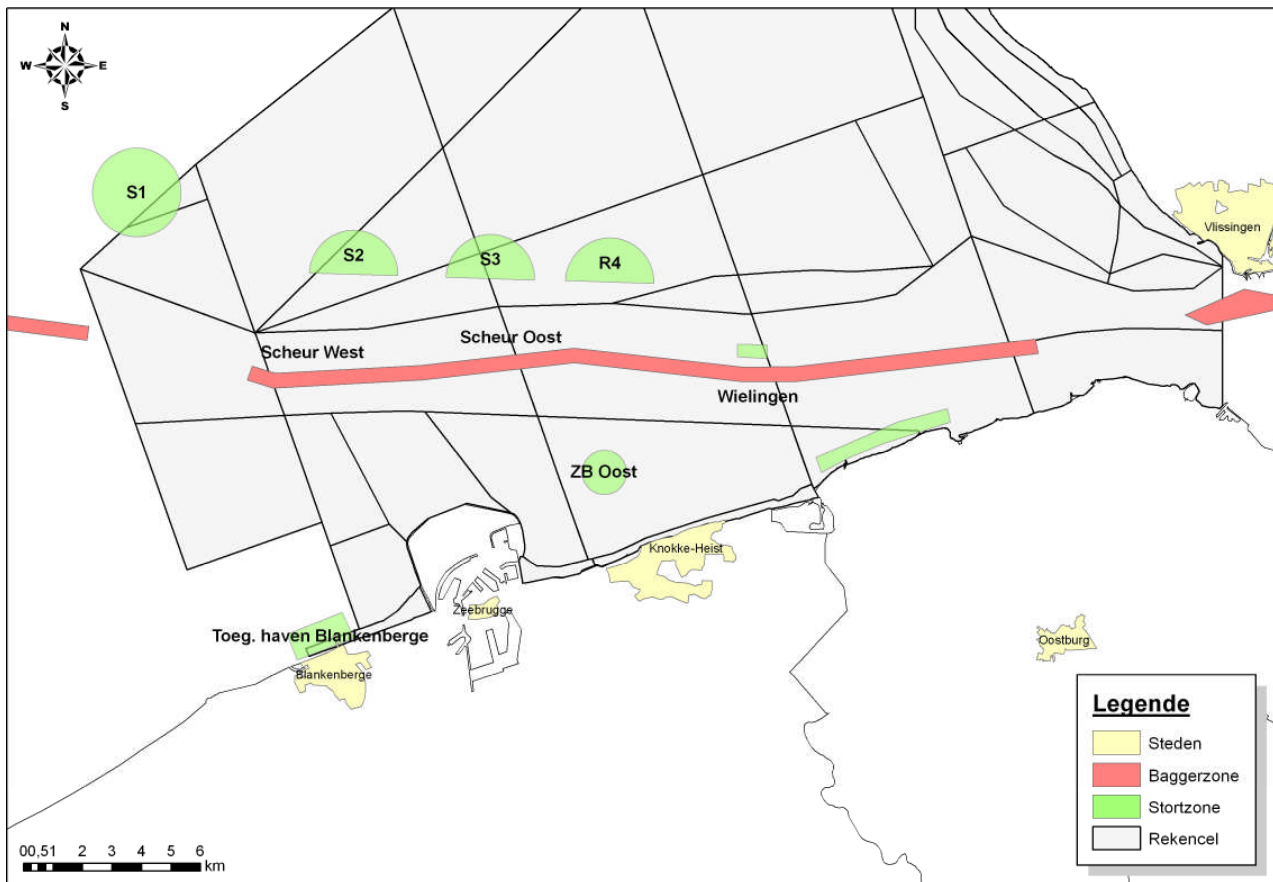
### **6.5.3 Bagger- en stortgegevens**

#### **6.5.3.1 Belgisch deel monding**

De grens tussen Belgisch en Nederlands deel van de monding wordt gemakshalve gekozen op de scheidinglijn tussen de lodingsvakken 12/13 en 16/17. Deze lijn leunt vrij dicht aan bij de effectieve grens tussen Belgisch en Nederlands deel van de monding.

De informatie over bagger- en stortgegevens langs de Belgische zijde van de monding (lodingsvakken 13 tot 16 en 44) is beschikbaar gesteld via AMT. Het betreft jaardata maar deze data hebben betrekking over de periode van 1 april tot en met 31 maart van het volgende jaar (= pachtjaar). Om deze data te kunnen linken aan de gegevens van de Westerschelde en de Zeeschelde, waar de jaardata betrekking hebben op de periode 1 januari tot 31 december, worden de jaarvolumes van het mondingsgebied herrekend naar dezelfde periode. Hierbij wordt verondersteld dat de bagger- of stortactiviteiten gelijkmatig verdeeld zijn over het betreffende pachtjaar.

De bagger- en stortactiviteiten aan Belgische zijde van de monding zijn beperkt tot enkele locaties. Onderstaande figuur geeft de ligging van deze zones weer. De baggerwerken vinden plaats in de vaargeulen: enerzijds de toegangseul naar de haven van Zeebrugge (Pas van het Zand en Ribzand) en anderzijds de vaargeul van de Westerschelde naar de zee (Scheur en Wielingen). De stortlocaties zijn eveneens op het Belgisch deel van de monding gelegen: het betreft de locaties S1, S2, R4 en Zeebrugge Oost.



**Figuur 6-2: Mondingsgebied met aanduiding van belangrijkste bagger- en stortzones**

Bij de interpretatie en het gebruik van de bagger- en stortgegevens van het Belgisch deel van de monding horen een paar opmerkingen:

- Op de figuur is zichtbaar dat de belangrijkste stortzone S1 grotendeels buiten de rekenvakken 40 en 41 gelegen is. Ook hier blijven we de aanname van verdeling van volumes volgens de oppervlakteverhouding hanteren maar mits toepassing van een correctie. Volgens informatie van de opdrachtgever blijken de stortingen voornamelijk aan de oostzijde van deze stortzone te gebeuren. Daarom is in onderling overleg afgesproken om de wegingsfactor van het buiten de rekencellen gelegen deel van S1 te halveren (0.5 i.p.v. 1) en dit deel toe te kennen aan de rekencellen 40 en 41.
- De beschikbaar gestelde data betreffen in eerste instantie betaalkuubs met een dichtheid van 1.6 ton/m<sup>3</sup> (ten behoeve van de verrekeringen aan de baggeraars). Deze data dient gecorrigeerd te worden om 2 redenen:
  - \* In het mondingsgebied is de zandfractie in de gebaggerde specie vrij laag (schommelend tussen 5 en 25 %). De opgegeven bagger- en stortvolumes dienen bijgevolg gecorrigeerd te worden op basis van deze geschatte zandfractie.
  - \* Omdat de dichtheid van de betaalkuubs slechts 1.6 ton/m<sup>3</sup> bedraagt dienen de bekomen volumes nog vermenigvuldigd te worden met 0.6 om deze om te zetten naar de referentiedichtheid van 2 ton/m<sup>3</sup>.

- Bij de zandbalans berekeningen wordt enkel de zandfractie van de ingrepen in rekening gebracht. Dit betekent dat de volumes van de bagger- en storthoeveelheden vrij laag zijn gezien de beperkte zandfractie in het bagger- en stortmateriaal. Hierbij wordt er ook van uitgegaan dat bij de lodingen de vaste (zand)bodem gedetecteerd wordt. Voor de Westerschelde en de Zeeschelde kan dit, voor de gebruikte meettechnieken, met vrij grote zekerheid aangenomen worden. Voor het mondingsgebied is dit niet overal het geval. Onder andere in de vaargeulen worden de lodingen met dezelfde vrij hoge frequentie uitgevoerd (210 kHz) om een betrouwbare bathymetrie dataset te bekomen. Hierdoor wordt niet noodzakelijk de vaste (zand)bodem gedetecteerd maar wel de top van de overgang slib - water (m.a.w. de slibbodem) geregistreerd. Daar het niet denkbeeldig is dat precies in deze vaargeul op sommige locaties toch wel eens een zekere sliblaag (bovenop de zandbodem) aanwezig is, volgt hieruit dat de resultaten van de doorgerkende zandbalans voor een aantal deelgebieden een vertekend beeld laat zien.

### **6.5.3.2 Nederlands deel monding**

In dit gedeelte zijn vrij weinig activiteiten uitgevoerd. Er is enkel informatie beschikbaar gesteld van de jaren 1999, 2001 en 2003. Deze data is verdeeld over de betreffende rekenvakken.

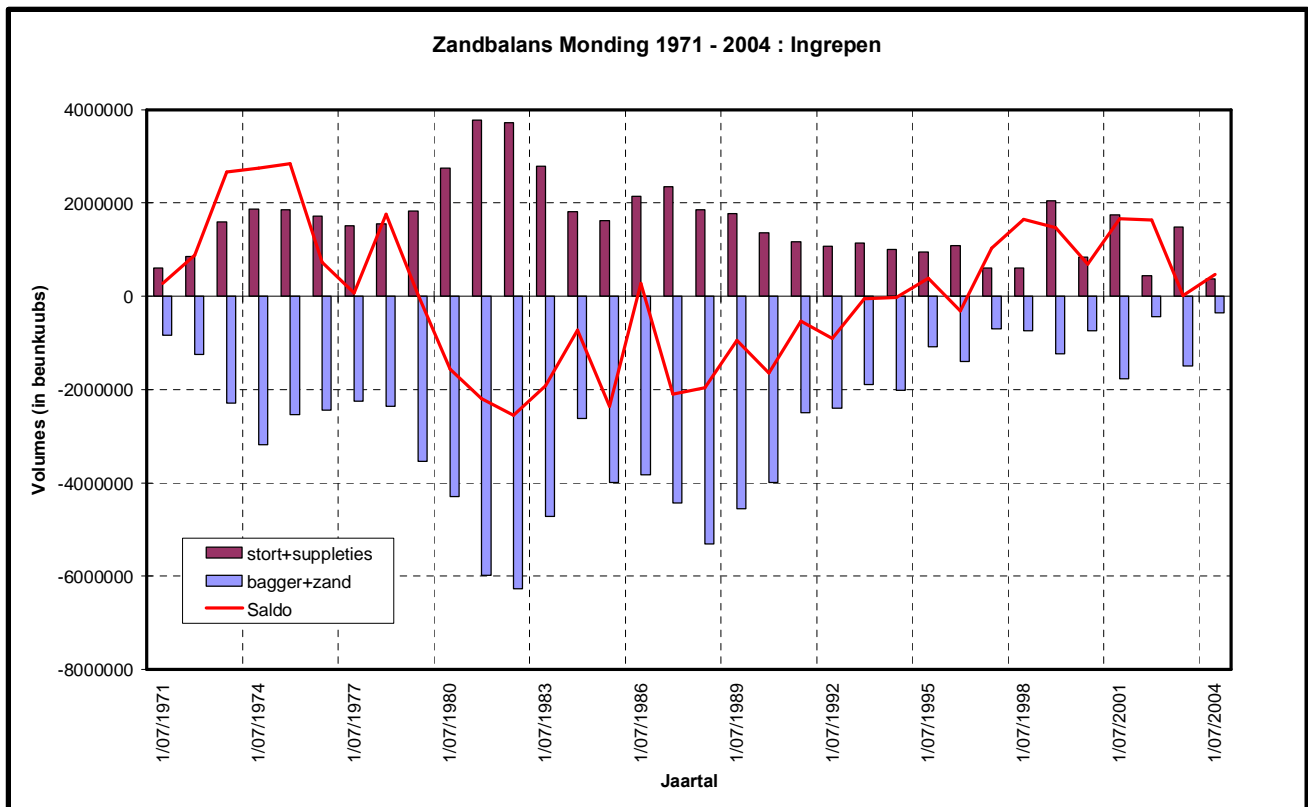
### **6.5.4 Zandwinnings en suppleties**

Suppleties en zandwinnings in de loop der jaren zijn voornamelijk op het Nederlands deel van de monding doorgevoerd. De data is uitgesplitst per jaartal en per rekenvak.

Voor het Belgisch deel van de monding zijn gegevens beschikbaar van grote suppleties ter hoogte van Knokke (1977-1979, 1986) en ter hoogte van de Appelzak (1971-1976). Daarnaast zijn er nog een reeks data beschikbaar gesteld van eenmalige zandverplaatsingen voor de Belgische kust. De relevante data (in het mondingsgebied gelegen) zijn eveneens verwerkt in de zandbalans.

### **6.5.5 Samenvatting ingrepen**

Onderstaande figuur toont een samenvatting van de stort-, bagger-, suppletie- en zandwinhoeveelheden over de afgelopen 34 jaar. In de grafiek zijn de stort- en suppletiegegevens als één geheel voorgesteld evenals de bagger- en zandwinhoeveelheden. Daarnaast is het saldo van de ingrepen voor het volledige mondingsgebied als lijn voorgesteld.



**Figuur 6-3: Ingrepen in het mondingsgebied per jaargang**

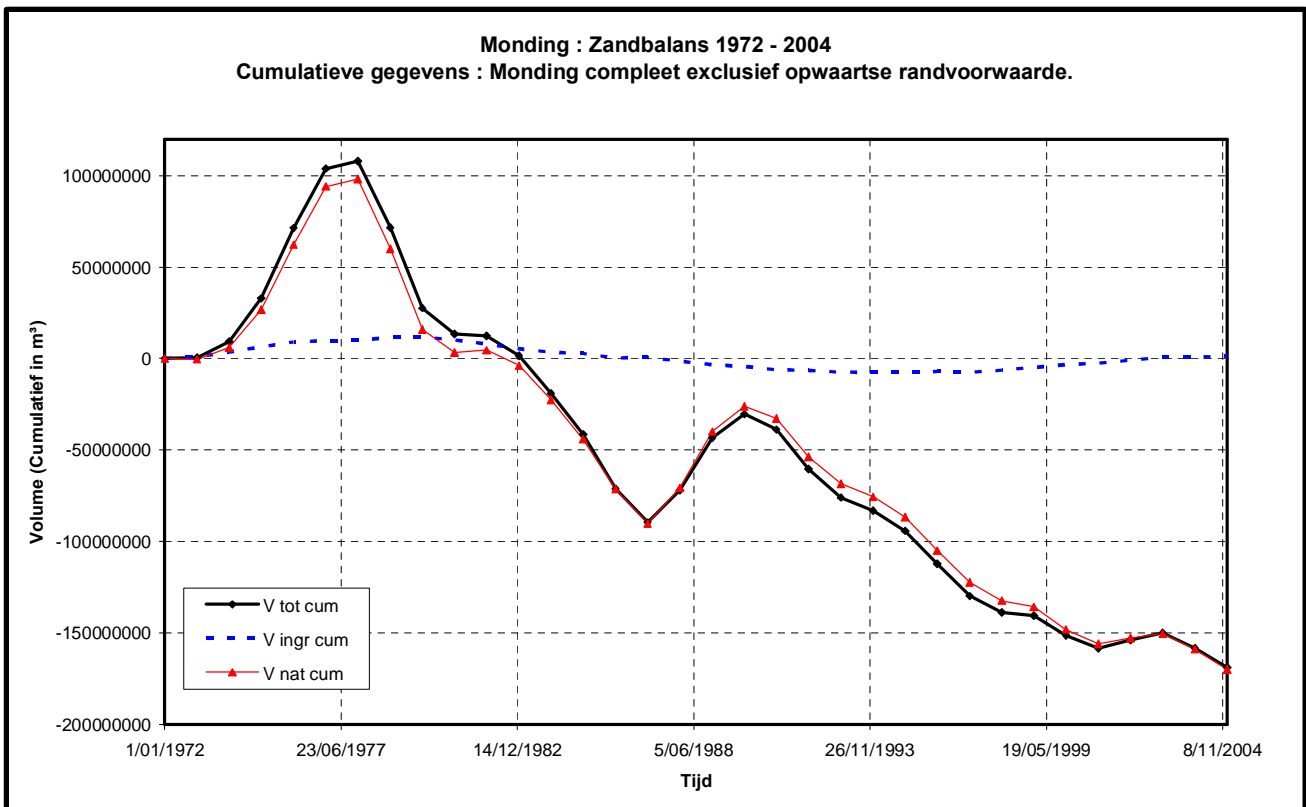
Figuur 6-3 toont aan dat voor 1980 en vanaf 1994 er per saldo materiaal in dit gebied toegevoegd wordt. In de tussenliggende periode wordt er per saldo meer materiaal uit de mondingszone verwijderd dan er toegevoegd wordt. De grote hoeveelheden baggermateriaal en zandwinningen begin van de jaren '80 hebben te maken met de aanleg van de haven van Zeebrugge en de aanpassingen aan de vaargeulen (Pas van het zand - Ribzand - Scheur).

## 6.6 Berekenen van de zandbalans.

### 6.6.1 Globale zandbalans van het mondingsgebied

In eerste instantie is de balans voor het volledige mondingsgebied opgesteld. De Figuur 6-4 geeft de interne variatie van het mondingsgebied weer. In de figuur staan 3 parameters voorgesteld:

- de variatie van de bathymetrie (zwarte lijn)
- de ingrepen
- de natuurlijke variatie in het gebied.



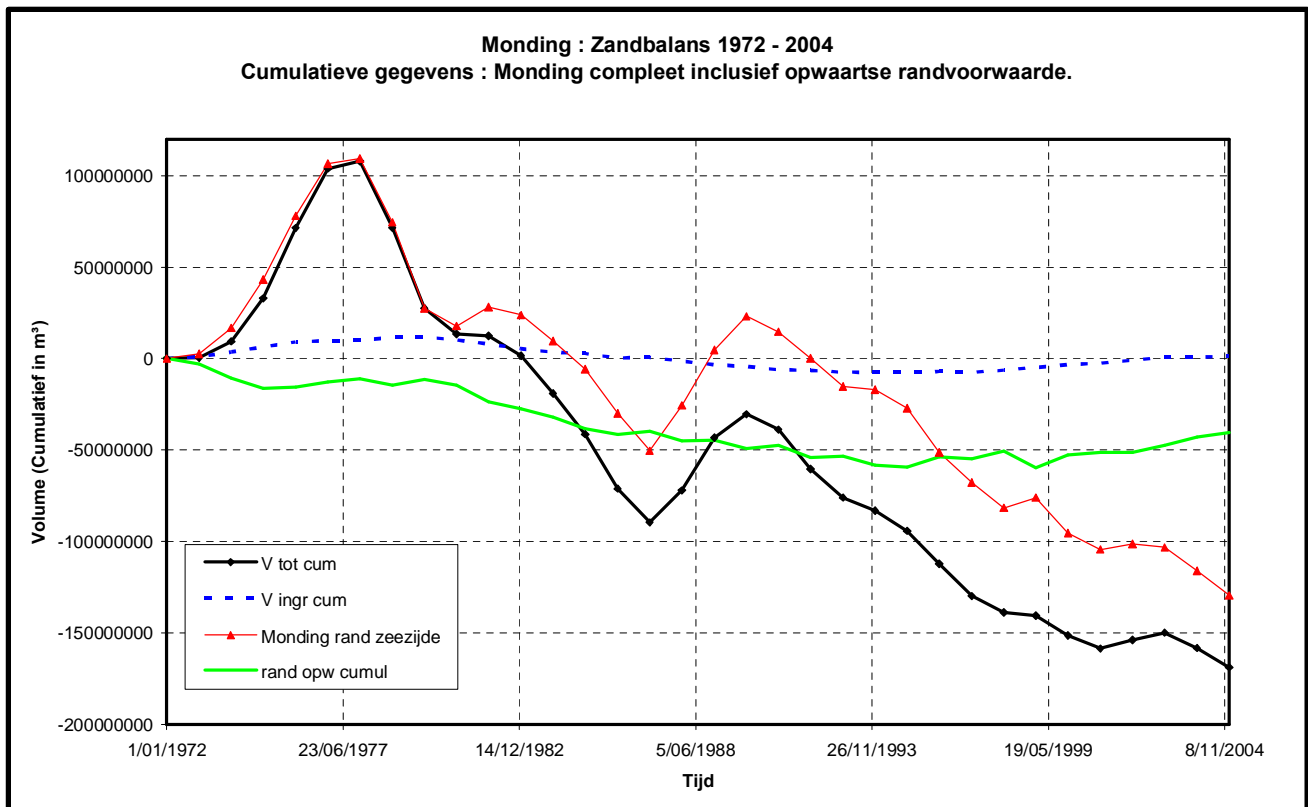
**Figuur 6-4: Zandbalans mondingsgebied zonder randvoorwaarden**

Deze figuur toont aan dat de cumulatieve ingrepen in het volledige mondingsgebied nagenoeg verwaarloosbaar zijn (saldo = 1.1 miljoen m<sup>3</sup> gestort). Ook voor het totale volume (zand + slib) aan ingrepen zou het saldo van de ingrepen beperkt zijn. Nagenoeg alle baggermateriaal wordt teruggestort in het mondingsgebied (behalve een deel van stort S1, maar dit wordt deels gecompenseerd door suppleties)

De bathymetrie daarentegen vertoont een vrij grote daling (na eerst een sterke stijging). Het saldo of de natuurlijke variatie toont dan ook een vergelijkbare schommeling als de variatie in de bathymetrie. Per saldo verdwijnt er 168.8 miljoen m<sup>3</sup> uit het mondingsgebied.

De Figuur 6-4 alsook een hele reeks figuren van de afzonderlijke rekenvakken (zie Bijlage 5) zijn gekenmerkt door een plotse stijging van de bodem in de periode 1973– 1978. Tijdens deze periode stijgt de zandinhoud van het mondingsgebied met ruim 100 miljoen m<sup>3</sup>, terwijl hiervan slechts 10 miljoen m<sup>3</sup> kan verklaard worden door de uitgevoerde ingrepen. Een gelijkaardige evolutie kan vastgesteld worden in de jaren 1987 – 1990.

Een duidelijke verklaring voor deze vaststellingen is niet bekend. De beschikbare en gebruikte lodingsgegevens lijken betrouwbaar.



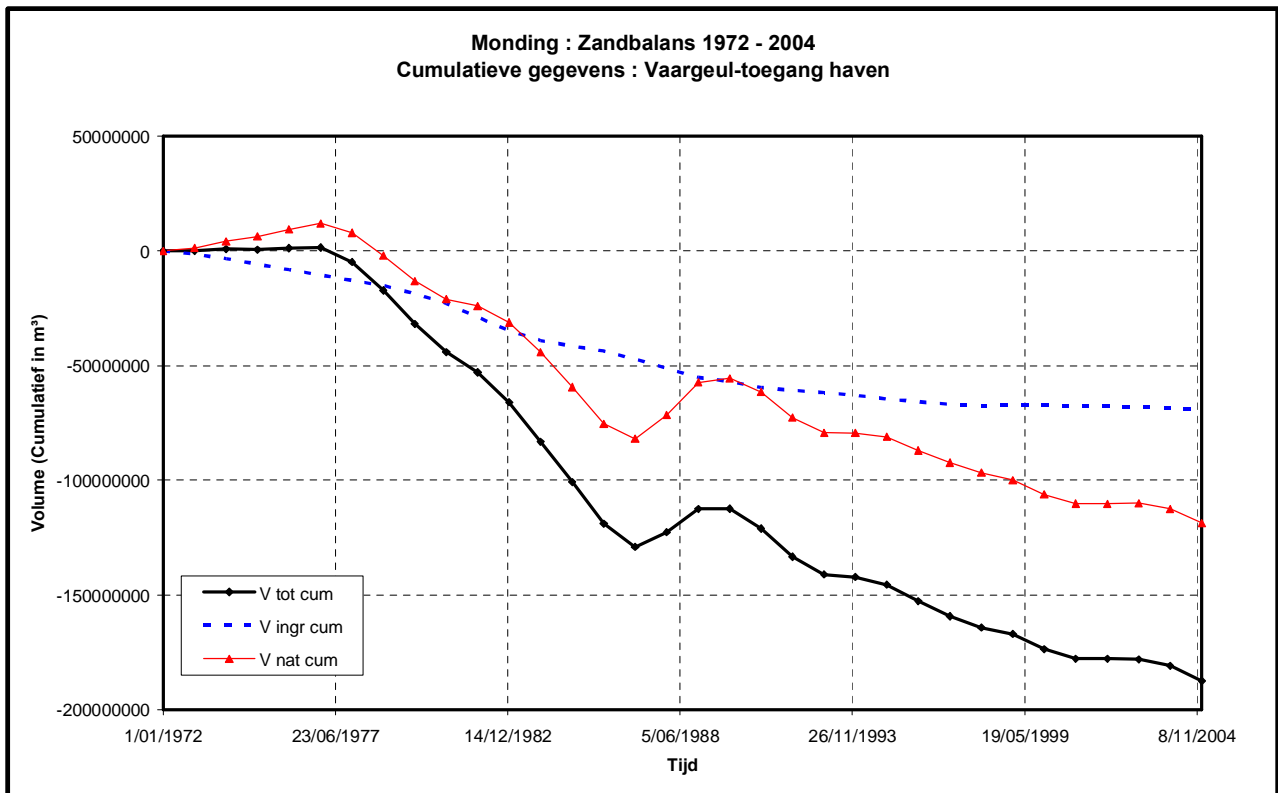
**Figuur 6-5: Zandbalans monding met randvoorwaarden**

Uit Figuur 6-5 kan afgeleid worden dat er langs de zeezijde ongeveer 130 miljoen m<sup>3</sup> zand verdwijnt uit het mondingsgebied (rode lijn). Het zandtransport naar de Westerschelde in deze periode bedraagt 40 miljoen m<sup>3</sup>. Combineren we dit met het positieve saldo van de ingrepen (1.2 miljoen m<sup>3</sup>) dan bekomen we een volumevermindering in het mondingsgebied van 168.8 miljoen m<sup>3</sup> over 34 jaar. De oppervlakte van het mondingsgebied bedraagt 658 km<sup>2</sup>. Dit betekent dus een gemiddelde daling van het bodempeil in dit gebied van 25 cm (of 7.8 mm op jaarbasis).

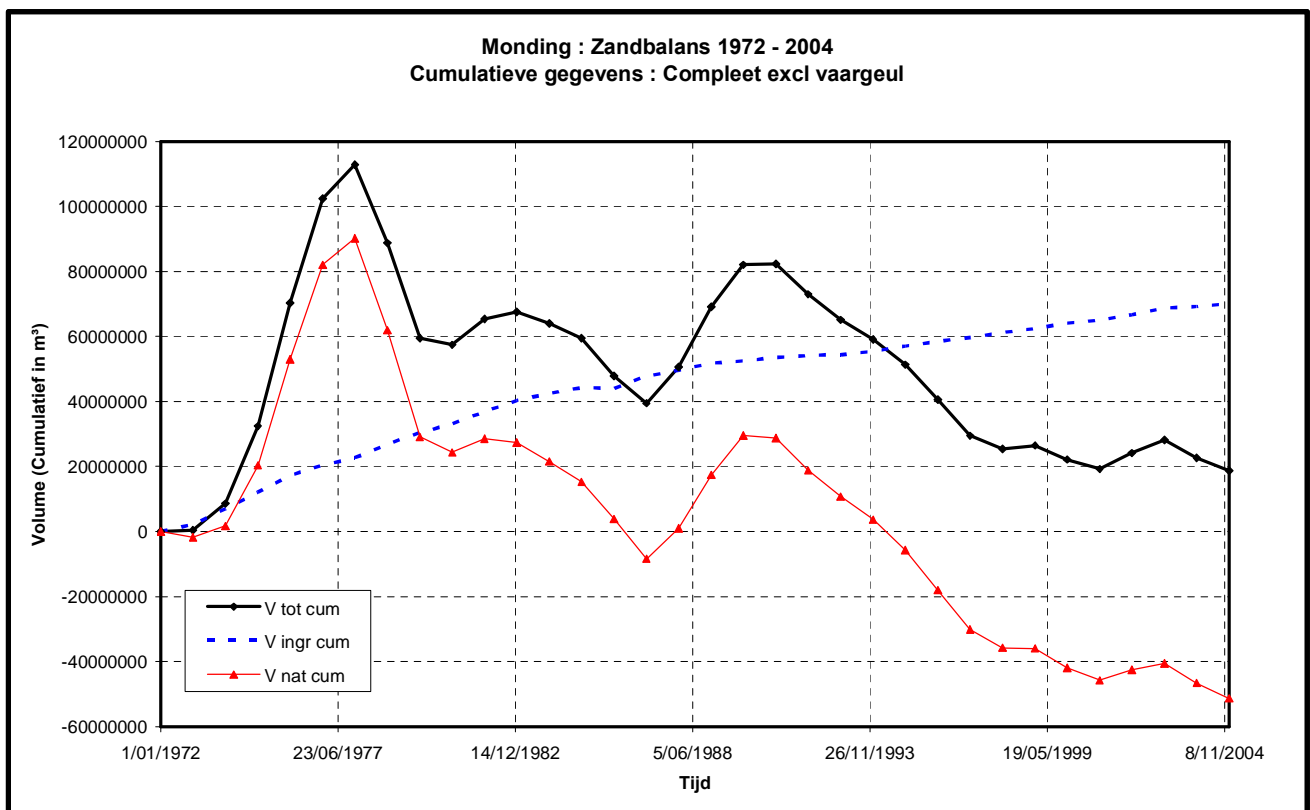
### 6.6.2 Resultaten vaargeul

Daar de grootste ingrepen plaatsvinden in de toegangsheulen naar Zeebrugge en de Westerschelde is een aparte berekening doorgevoerd voor de rekenvakken die deze vaargeulen omvatten. De resultaten zijn hieronder weergegeven.





**Figuur 6-6: Zandbalans monding: Toegang Zeebrugge en vaargeul naar Westerschelde**



**Figuur 6-7: Zandbalans monding exclusief vaargeulen**

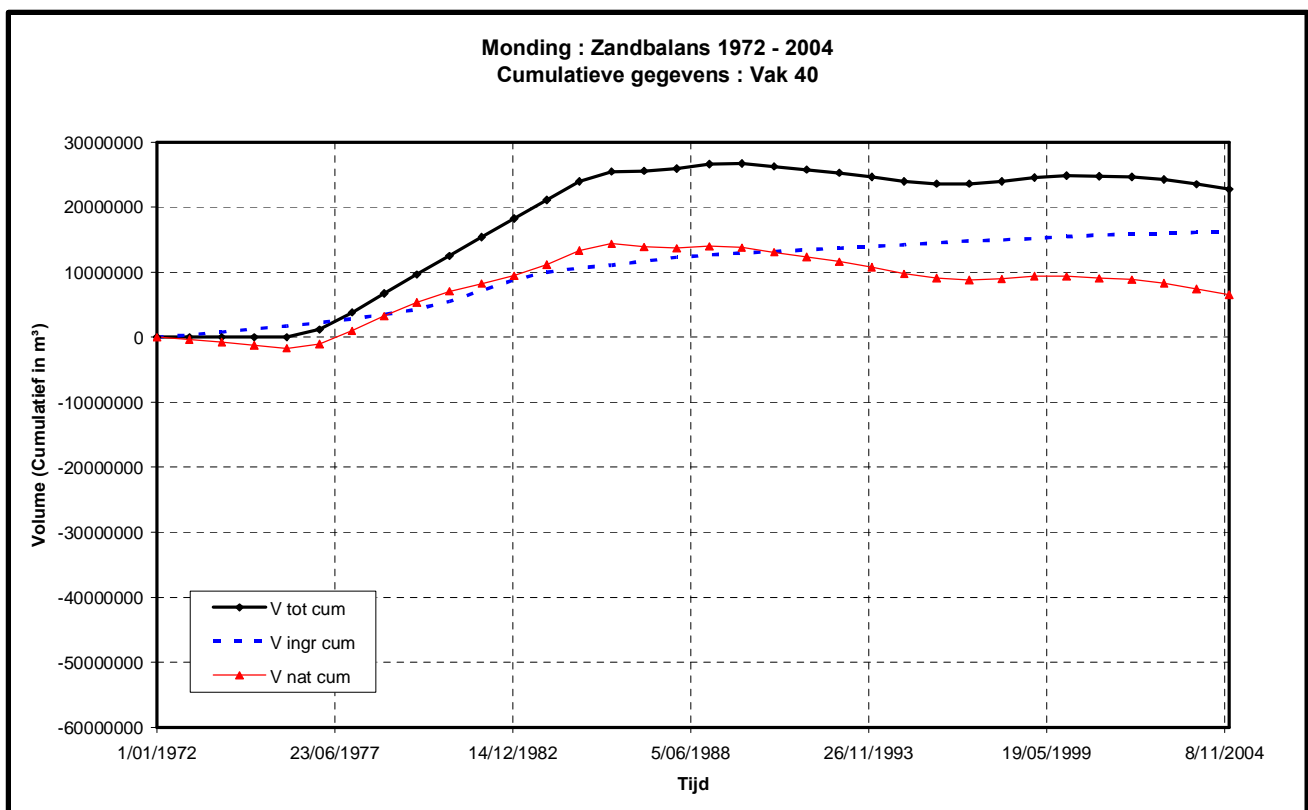
Zoals uit deze Figuur 6-6 te zien is zijn de ingrepen in de rekenvakken die de vaargeulen omvatten (1, 2, 22, 25, 33, 35 en 39) vrij aanzienlijk (69 miljoen m<sup>3</sup>). Toch is de bathymetrie verlagings in deze gebieden nog veel groter (188 miljoen m<sup>3</sup>). Dit betekent dat in deze zone er ongeveer 119 miljoen m<sup>3</sup> zand verdwijnt.

In Figuur 6-7 is de zandbalans opgebouwd voor alle vakken gelegen buiten de vaargeulen (dus exclusief bovenstaande vakken 1, 2, 22, 25, 33, 35 en 39). Deze figuur laat een heel ander beeld zien. Enerzijds valt hier de sterke stijging van de bodem op in de jaren '70 en anderzijds blijkt de bodem over de volledige periode licht te stijgen (+ 19 miljoen m<sup>3</sup>). Het is duidelijk dat in dit gebied meer materiaal gestort is dan gebaggerd (+/- 70 miljoen m<sup>3</sup>). Een verklaring voor de sterke variatie van de bodem rond 1975-1976 is niet onmiddellijk voorhanden

### 6.6.3 Resultaten van de afzonderlijke rekenvakken

Voor elk van de rekenvakken is eveneens een balans opgemaakt. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 4.

Als voorbeeld is hier het resultaat van vak 40 opgenomen. In dit vak is een deel van de stortzone S1 gelegen.



Figuur 6-8: Zandbalans vak 40 (stortzone S1)

Zoals reeds aangehaald is de rekencel 40 gedeeltelijk gelegen in de stortzone S1. Dit is duidelijk zichtbaar omdat de waterinhoud in deze cel met ruim 22 miljoen afneemt. Op het eerste zicht is dit niet volledig te verklaren door de uitgevoerde stortingen (ongeveer 16 miljoen m<sup>3</sup>) in dit gebied. Volgens deze grafiek is een deel van de bodemstijging ook te wijten aan een natuurlijke sedimentatie in het gebied.

Bij deze conclusie dient men toch het nodige voorbehoud te nemen. Zoals eerder aangehaald is de afbakening van de stortzone, en zijn de effectieve stortlocaties niet perfect gekend. In de huidige berekeningen wordt een kleine 40 % van de stortingen in zone S1 niet in rekening gebracht omdat die buiten de rekencellen valt. De reële inhoudsverdeling van de zone S1 buiten rekencellen 40 en 41 valt niet te achterhalen maar mogelijk kan dit percentage afwijken van de gehanteerde 40 %.

## 6.7 Conclusies

De resultaten in het mondingsgebied (1972-2004) leiden tot volgende vaststellingen:

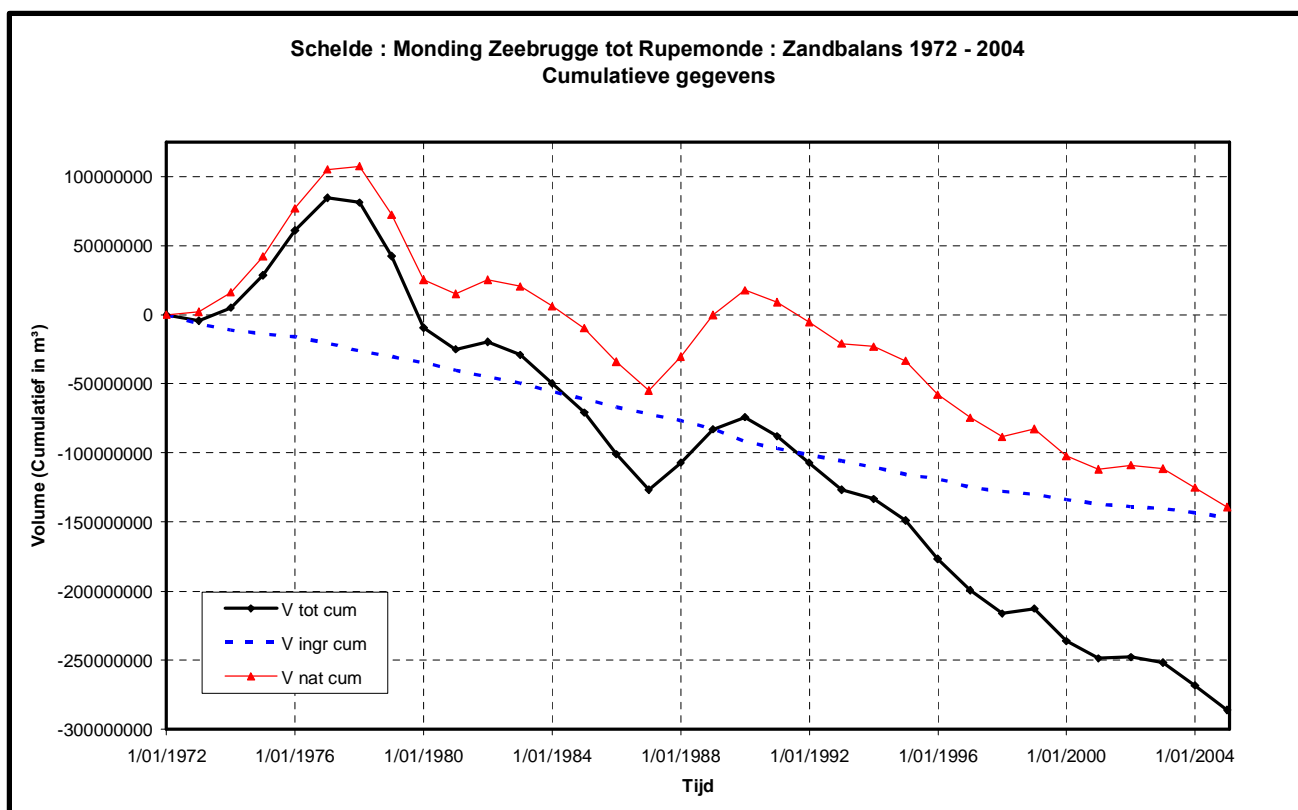
- Globaal is de bathymetrie verlaagd (daling met 169 miljoen m<sup>3</sup>). Deze verlaging is evenwel volledig toe te schrijven aan de in de lodingen geregistreeerde verdieping van de vaargeul en nabije omgeving van de vaargeulen.
- De ingrepen in het mondingsgebied zijn per saldo verwaarloosbaar. Deze zijn van rekencel tot rekencel evenwel vrij verschillend (baggeren - storten).
- Het transport van zand uit het mondingsgebied richting Westerschelde bedraagt ongeveer 42 miljoen m<sup>3</sup> over de beschouwde periode. Sedert 1994 is deze trend geleidelijk aan het omslaan en de laatste jaren zijn gekenmerkt door transport van de Westerschelde richting de monding.
- Globaal gezien wordt er 128 miljoen m<sup>3</sup> zand uit het mondingsgebied getransporteerd richting de zee. Het is niet mogelijk conclusies te formuleren over plaats en tijd van dit transport richting de zee, enerzijds gezien de lengte van de rand met de zee en anderzijds wegens het gebrek aan informatie betreffende het zandtransport over de scheidingslijn.

Bij bovenstaande conclusies horen evenwel enkele bemerkingen:

- De uitgevoerde berekeningen maken enkel gebruik van de zandfractie. De zandfractie maakt slechts een kleine fractie uit van de totale bagger- en stortvolumes. De zandfractie aanwezig in het bagger- en stortmateriaal is in deze studie gebaseerd op een gefundeerde aanname (gestoeld op terreinwaarnemingen en vaststellingen bij het baggeren en storten). Toch zijn hierdoor afwijkingen mogelijk.
- De lodingen in het mondingsgebied gebeuren systematisch met 200 Kc. Dit betekent dat een deel van de sliblaag meegemeten wordt (reflectie op top sliblaag !). In de loop der jaren zijn evenwel meerdere meetsystemen gebruikt maar allemaal met 200 Kc. Dit kan leiden tot afwijkingen in de geregistreeerde bodem en zijn variatie; voornamelijk in de vaargeulen waar het slib zich afzet bovenop de (zand)bodem.

## 7 Globale balans Schelde

In onderstaande Figuur 7-1 wordt een globale voorstelling gegeven van situatie in het volledige onderzoeksgebied. Omdat niet voor alle gebieden dezelfde periode beschikbaar is wordt de grafiek beperkt tot de periode 1972-2004. Voor de Zeeschelde worden de variaties van bodem en ingrepen voor de jaren 2002, 2003 en 2004 constant verondersteld en gelijk genomen aan de waarde van 2001. Deze aanname is gebeurd omdat de wijzigingen in bodemprofiel en ingrepen in de Zeeschelde van ondergeschikt belang zijn t.o.v. de variaties in Westerschelde en Mondingsgebied.



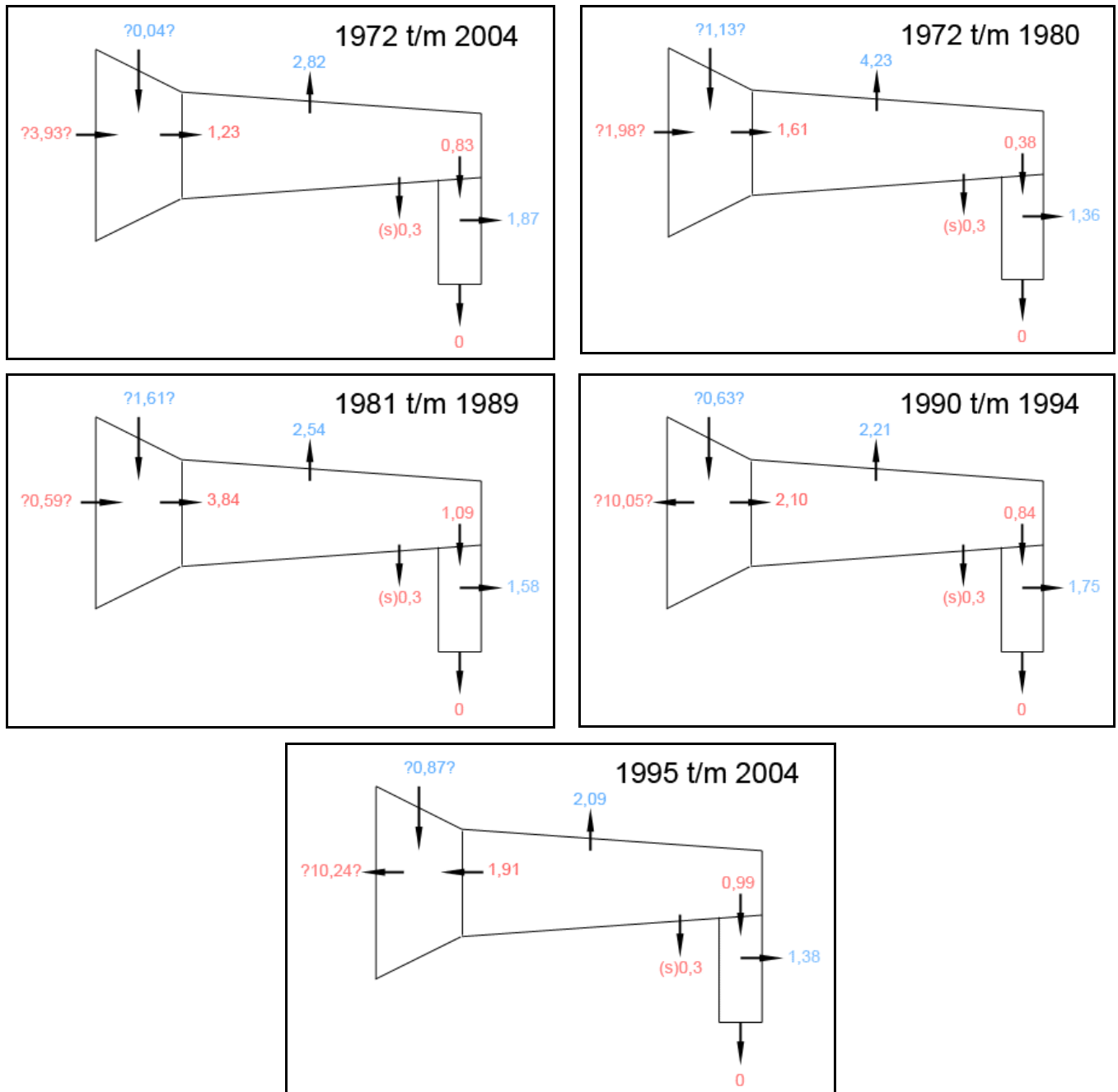
**Figuur 7-1: Balans van volledig onderzoeksgebied (Rupelmonde tot Zeebrugge)**

Uit deze grafiek zien we dat het bodemprofiel in de onderzoekszone daalt. Er verdwijnt ongeveer 285 miljoen m<sup>3</sup> zand. Door de ingrepen verdwijnt er ongeveer 147 miljoen m<sup>3</sup> waardoor er een totale export uit het onderzoeksgebied van 139 miljoen m<sup>3</sup> plaatsvindt in de periode 1972-2004. Hiervan verdwijnt er bijna 10 miljoen m<sup>3</sup> in het "Verdronken Land van Saefinghe" (32 x 0.3 = 9.6 miljoen m<sup>3</sup>).

Omdat in het mondingsgebied de verhouding slib-zand niet altijd even duidelijk gekend is en omdat de lodingen in het mondingsgebied niet tot op de vaste bodem zijn gebeurd (200 Kc i.p.v. 33 Kc) is bovenstaande figuur louter indicatief. Absolute conclusies kunnen hieruit niet getrokken worden.

In onderstaande figuurtjes wordt de periode 1972-2004 opgesplitst en wordt op een schematische wijze de sedimentbeweging in het volledige studiegebied voorgesteld. Volgende periodes zijn beschouwd:

- 1972-2004 (de volledige periode)
- 1972-1980 (periode met mogelijk onnauwkeurige lodingsresultaten)
- 1981-1989
- 1990-1994
- 1995-2004



**Figuur 7-2: Schematische voorstelling zandbalans voor diverse deelperiodes**

Men herkent in de figuren van rechts onder naar links boven schematisch de Zeeschelde, het Westerschelde-estuarium en de monding naar de Noordzee. In bovenstaande figuren zijn de waarden van import/export en ingrepen in het mondingsgebied expliciet tussen vraagtekens genoteerd. Deze waarden zijn aldus vermeld om absoluut de onzekerheid op deze getallen te benadrukken. Dit is omdat voor het beschouwde mondingsgebied er enkel met een (realistisch) geschatte zandfractie is gewerkt en de uitgevoerde lodingen met 200 Kc niet toelaten de effectieve zandbodem (vaste bodem) voor alle locaties te detecteren op een nauwkeurige wijze. De vermelde getalwaarden zijn dan ook enkel indicatief te gebruiken en hebben in geen geval een absolute waarde.

Volgende vaststellingen kunnen geformuleerd worden op basis van Figuur 7-2:

- Bovenstaande figuren tonen aan dat er tot en met 1989 een import van zand vanuit de zee was naar het mondingsgebied. Dit is natuurlijk gelinkt aan het al dan niet afwijken van de werkelijkheid van de lodingen in deze periode.
- Sedert 1990 blijkt er een vrij constant transport van zand in de richting van de zee te gebeuren.
- De uitwisseling van zand tussen Westerschelde en mondingsgebied is tot 1994 landinwaarts gericht en vanaf 1995 is deze transportrichting omgeslagen.
- Het zandtransport van Westerschelde naar Zeeschelde is sedert 1981 vrij stabiel maar heeft de neiging langzaam af te nemen.
- De ingrepen (saldo) in Westerschelde en Zeeschelde zijn de laatste 25 jaar vrij constant. In het mondingsgebied is er meer variatie waar te nemen in het saldo van de ingrepen.

## 8 Kwaliteitsanalyse

### 8.1 Analyse overlappende lodingen in grensgebied Zeeschelde-Westerschelde

#### 8.1.1 Probleemstelling

In het kader van deze studie wordt gebruik gemaakt van verschillende soorten datasets afkomstig van verscheidene instituten. Deze data moet op elkaar worden afgestemd vooraleer ze bruikbaar is. Hierbij dient, vanuit de kwaliteitsborging, een kritische evaluatie en onderlinge vergelijking van de verschillende reeksen uitgevoerd te worden. Uiteindelijk kan, naast een individuele en vergelijkende kwaliteitscontrole van elk van de datareeksen, al een geschikte keuze worden gemaakt als meest bruikbaar voor de voorliggende oefening.

Voor de wijde omgeving van de Drempel Van Zandvliet (overgang Zeeschelde - Westerschelde) beschikken we over overlappende datasets die we in deze sensitiviteitsanalyse vergelijken.

#### 8.1.2 Brongegevens

De eerste dataset is afkomst van de Afdeling Maritieme Toegang en is oorspronkelijk opgemaakt in de universele transversale mercatorprojectie zone 31 met Europese Datum van 1950. De bathymetrische data van de jaren 1930, 1950, 1960, 1970, 1980-1981, 1990-1991 en 2002-2003 is uitgedrukt in gemiddeld laag laagwater springtij met een resolutie van 5 m in het XY-vlak.

De tweede dataset is afkomst van Meetadviesdienst van Rijkswaterstaat. De bathymetrische gegevens zijn uitgedrukt in Normaal Amsterdams Peil en geprojecteerd in het Rijksdriehoekstelsel met datum van Amersfoort. De gebruikte jaartallen zijn op regelmatige basis beschikbaar en hebben een resolutie in het XY-vlak van 20 m.

#### 8.1.3 Methode

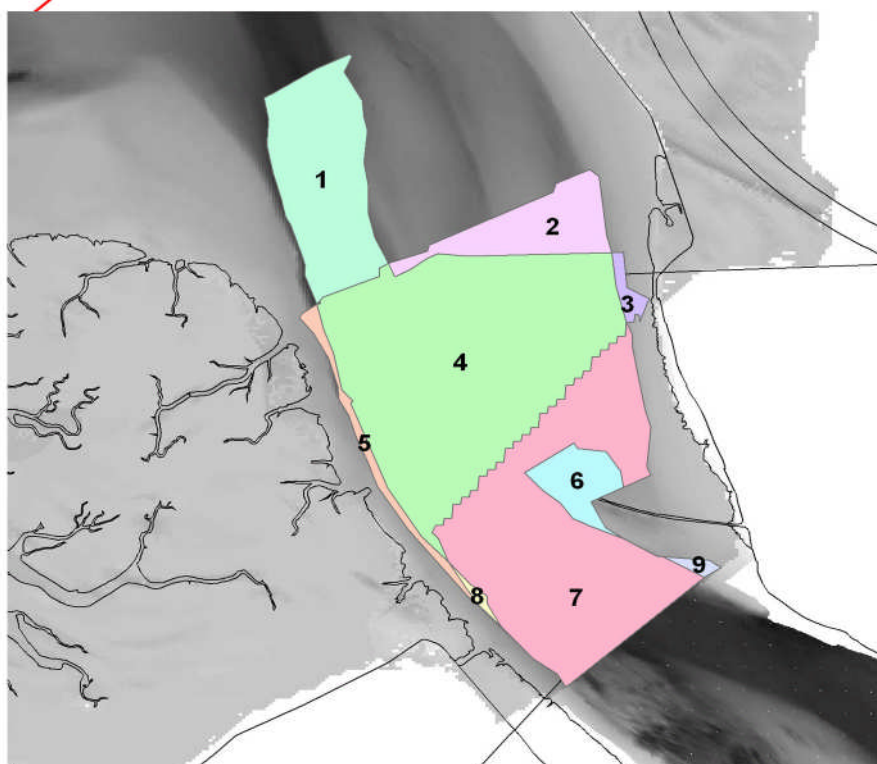
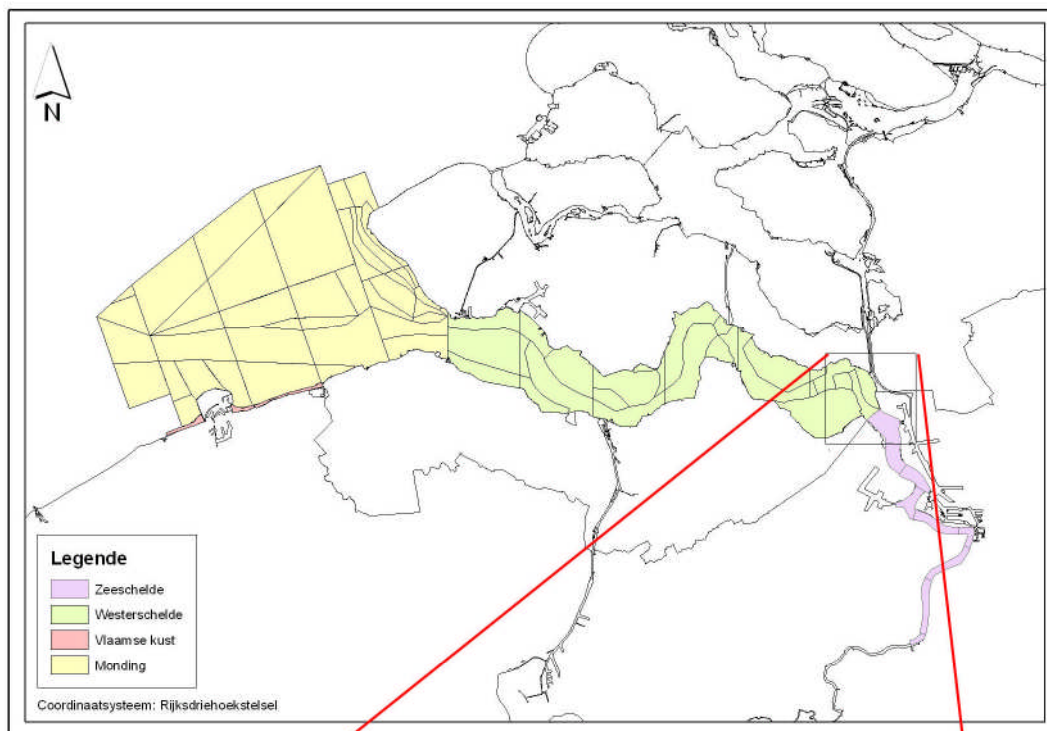
Voor deze gevoeligheidsanalyse wordt geopteerd om de laatste vier metingen van de Zeeschelde te vergelijken met overeenkomstige datasets van de Westerschelde voor de overlappende zone langsheen de Belgisch-Nederlandse grens. De gebruikte jaartallen worden vermeld in de onderstaande tabel.

**Tabel 8-1: Overzicht gebruikte bathymetrische datasets**

<b>Zeeschelde</b>	1970	1980-1981	1990-1991	2002-2003
<b>Westerschelde</b>	1969 & 1971	1979 & 1980	1989 t/m 1991	2001 t/m 2003

In de brongegevens is aangehaald dat beide datasets in een verschillend coördinaten-referentiesysteem staan. Om de vergelijking te kunnen doorvoeren, dienen beide datasets op elkaar te worden afgesteld met de nodige mathematische transformatieverschillen van dien. Dit probleem werd eerder reeds uitgewerkt in de kwaliteitsanalyse omtrent projectiesystemen.

We hebben gekozen om de Vlaamse data om te zetten van UTM naar RD met behulp van het programma PCtrans 4.0 en vervolgens deze grids opnieuw in te lezen met behulp van ArcGis. De mathematische translatieverschillen gebonden aan het hergridden uitte zich onder de vorm van lege cellen in het grid.



**Figuur 8-1: Overzicht studiegebied Zeeschelde - Westerschelde**



Het hier beschouwde studiegebied in Figuur 8-1 is opgedeeld in negen rekenvakken op basis van de gemeenschappelijke overlappingszones in de Zeeschelde voor de vier besproken jaartallen. In elk van de onderscheiden rekenvakken kan de evolutie maximaal worden vergeleken tussen beide sets lodingsgegevens.

#### 8.1.4 Resultaten

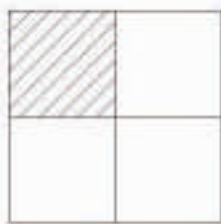
Voor elk van de beschouwde opnamesets is in Figuur 8-4 het ruimtelijk verschil in geregistreerde bodemdiepte weergegeven. Hierbij is de Vlaamse data afgetrokken van de Nederlandse data. De bathymetrische verschillen zijn uitgemiddeld naar de grootste gridresolutie (20 m) zodat de verschillen als gevolg van resolutie verkleind zijn. Voor de verdere berekeningen van de afwijkingen is hiermee geen rekening gehouden. Een negatieve diepte betekent dat de Vlaamse loding dieper is dan de Nederlandse loding.

Tabel 8-1 geeft het procentuele en absolute verschil weer tussen de globale waterinhoud volgens de Vlaamse data en volgens de Nederlandse data, ten opzichte van de Nederlandse data als referentie.

In het jaar 1970 zijn de resulterende verschillen vrij klein met uitzondering van rekenvak 3. Een nadere blik op de kaart leert ons dat het relatief kleine vak 3 gelegen is aan de oostelijk rand van de Ballastplaat ter hoogte van de grens. De afwijkingen zijn zowel negatief als positief zodat een systematische fout uit te sluiten valt. Het totaalbeeld is zeer onregelmatig met een overduidelijk negatief verschil in de vaargeul. Hierbij dient zeker ook de vraag gesteld naar de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling en de verticale loding van de betreffende terreinmetingen.

De overlappende zone voor het jaar 1980 is relatief klein en de verschillen op kaart zijn relatief klein. In het vak 6 is het totaalverschil van Westerschelde vrij groot.

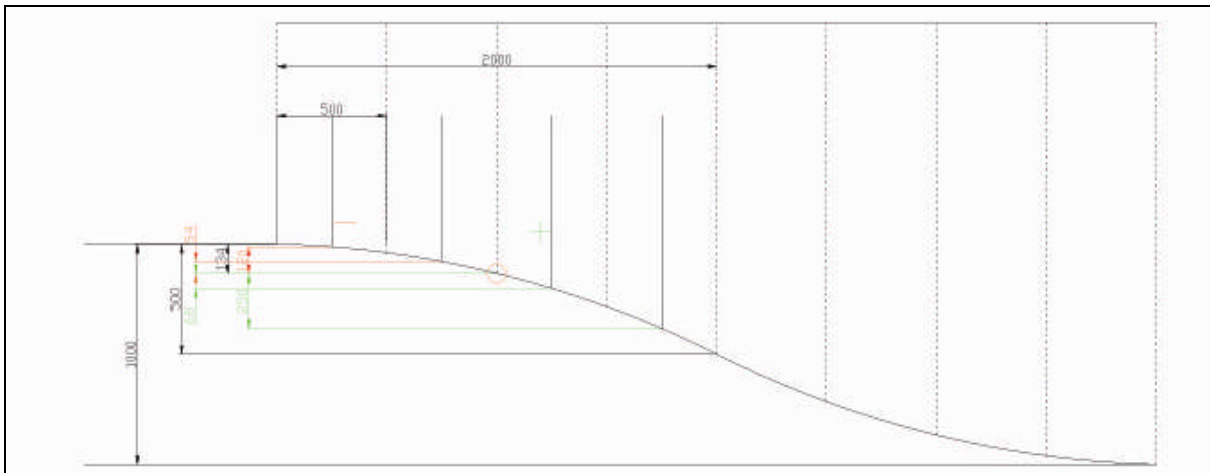
De opnameperiode van 1990-91 is er één van uitschieters met zeer duidelijke verschillen van ruim 3 m aan de randen van de geul. Een deel van deze verschillen kan zeker verklaard worden door het verschil in celgrootte bij de verschillende grids waardoor op de Vlaamse data (gridresolutie van 5 m) met grotere precisie berekeningen kunnen worden gedaan.



**Figuur 8-2: Verschil in gridgrootte**

De ruimtelijke resolutie van de aangeleverde Vlaamse en Nederlandse data in het overlappende studiegebied verschillen immers duidelijk van elkaar. Enerzijds heeft de Nederlandse data een resolutie van 20 m in het XY-vlak en anderzijds heeft de Vlaamse data een resolutie van 5 m in het XY-vlak. Deze ruimtelijke afwijkingen in het XY-vlak vertalen zich in een sterk variërende bathymetrie natuurlijk door naar een afwijking van de Z-coördinaat. Zo zijn ter illustratie in Figuur 8-3 twee grids, met respectievelijk horizontale resolutie van 20 en 5 m, op een natuurlijke bathymetrie met steile rand naar de vaargeul gelegd. Ter hoogte van de rand van de geul, die totaal

10 m bestrijkt, kunnen lokaal door dit gridverschil verticale (diepte) afwijkingen van 250 cm voorkomen.



**Figuur 8-3: Verticale afwijkingen ingevolge resolutieverschillen**

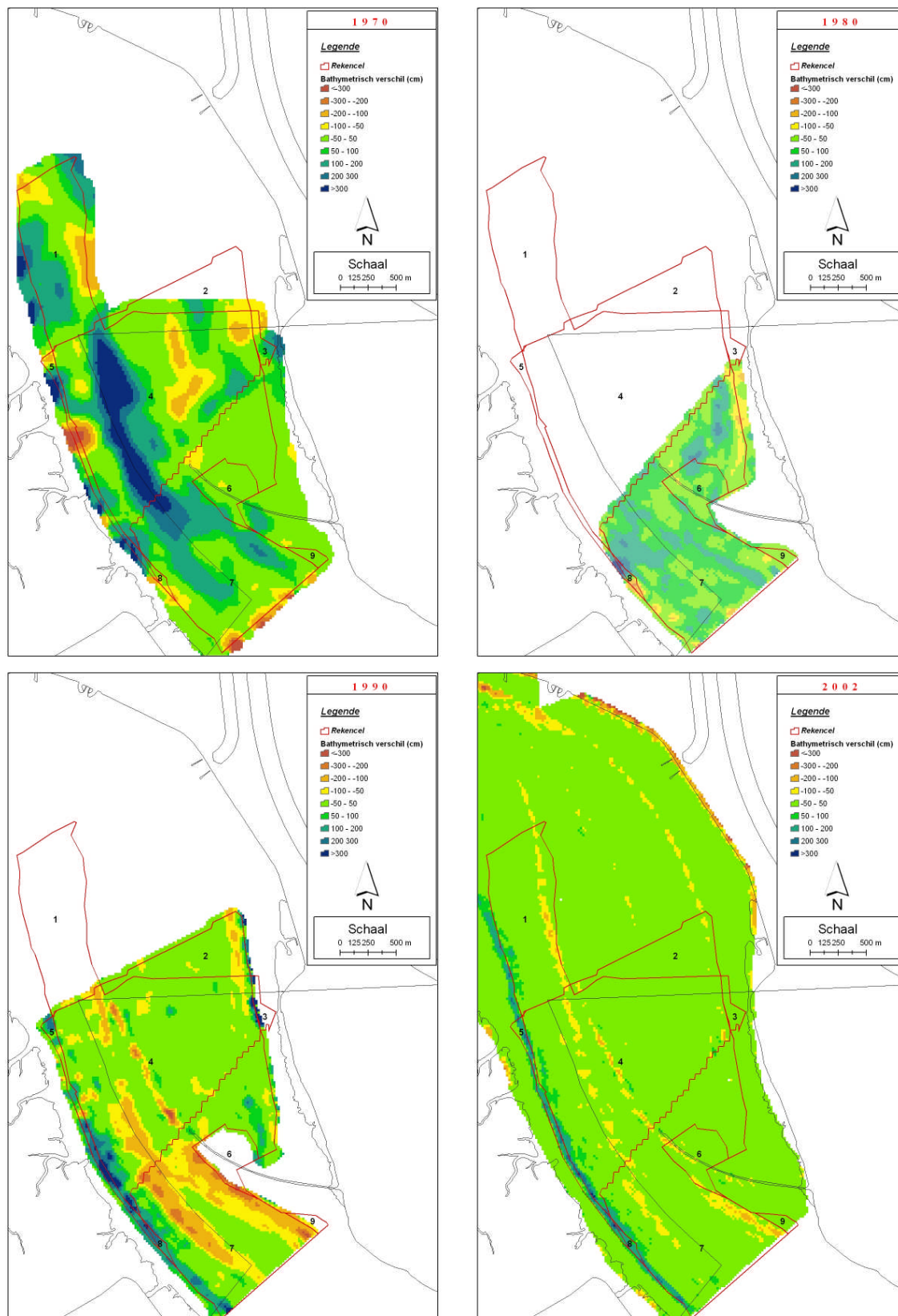
Op de steile hellingen resulteert het verschil in resolutie dus duidelijk in significante verschillen in volume, maar gezien deze afwijking zich voordoet in elk jaar, zou het moeten betekenen dat deze verschillen in zelfde grootteorde zichtbaar zijn in de andere berekeningen en kaarten. In het jaar 2000 is er inderdaad ook een gelijkaardige afwijking zichtbaar op de kaart; maar deze is lang niet zo groot qua oppervlakte. Hier kan dus slechts ten dele een verklaring gevonden worden.

Voor de opname van 1990 wordt het resulterende volumeverschil in vak 2 hoofdzakelijk veroorzaakt door de grote verschillen aan het uiteinde van de Schaar van Waarde. De rest van het vak is relatief egaal waardoor het verschil in waterinhoud wordt beperkt tot ruwweg 7 %. Vak 4 middelt zichzelf uit, ondanks de grote verschillen aan de geulranden. Het kleine vak 5 aan de westelijke zijde van de vaargeul ondersteunt zeker de hierboven geformuleerde theorie omtrent het effect van de verschillen in resolutie.

De verschillen in volumes voor de periode 2002-2003 zijn gelijklopend met die van 1990, al zijn de resultaten minder extreem. Globaal bekeken zijn de gegevens weinig verschillend, tenzij dan aan de randen van de geulen en kunstwerken. Vak 6 kent wederom grote verschillen. In vak 7 is het contrast voor het jaar 1990 zeer groot tussen beide datasets, maar uiteindelijk is het volumeverschil zeer klein. Het kleine vak 8 werd door zijn zeer geringe oppervlakte niet meegenomen in de berekening. Vak 9 tenslotte kent net als 5 en 6 een grote schommeling tussen de verschillende jaartallen, al kan hier net als in vak 5 de kleine oppervlakte samen met het verschil in resolutie een rol spelen.

Tabel 8-2: Procentuele en absolute afwijkingen deelgebieden

rekenvak/jaar	oppervlakte (km <sup>2</sup> )	Procentueel verschil NL - B			
		1969	1980	1990	2002
1	0.78	-2.63%	/	/	-0.13%
2	0.37	/	/	6.19%	3.48%
3	0.04	-16.28%	/	/	4.28%
4	2.22	-7.39%	/	3.26%	2.20%
5	0.11	/	/	15.79%	18.18%
6	0.19	-2.36%	10.69%	/	2.47%
7	1.65	-5.10%	4.10%	4.74%	1.81%
9	0.02	3.26%	3.41%	/	11.44%
<b>gemiddelde afwijking</b>	5.39	<b>-5.08%</b>	<b>6.07%</b>	<b>7.50%</b>	<b>5.47%</b>
<b>Absoluut verschil NL - B (m<sup>3</sup>)</b>					
1	0.78	-315992	/	/	-19859
2	0.37	0	/	182163	112943
3	0.04	-39141	/	/	8056
4	2.22	-1755308	/	908729	648473
5	0.11	/	/	146385	195086
6	0.19	24583	103038	/	28398
7	1.65	1075992	1016069	1153905	468561
9	0.02	3506	3376	/	12299



**Figuur 8-4: Verschillen in bathymetrie tussen datasets grensgebied Zee- en Westerschelde**

### 8.1.5 Conclusie

Deze kwaliteitsanalyse geeft enkele markante verschillen weer in overlappende datasets voor het grensgebied tussen Zeeschelde en Westerschelde (Belgisch-Nederlandse grens).

- De datasets staan in een verschillend coördinaatsysteem waardoor het vergelijken van de datasets op kaart niet onmiddellijk de werkelijke situatie weergeeft, maar door wiskundige transformatie van de respectievelijke grids naar een gemeenschappelijk referentiestelsel een kleine vervorming wordt geïnduceerd. Om dit probleem op te lossen werden de datasets in de berekeningen onder Arc/Info uitgevoerd in hun eigen coördinaatstelsel. De resulterende volumes zijn hierdoor wel vergelijkbaar.
- De Vlaamse dataset is zeer beperkt in de tijd en bovendien niet regelmatig afgebakend. In het jaar 1980 is de overlappende zone met de Nederlandse data dan ook zeer beperkt terwijl in 2002 deze zone doorloopt in de Bocht van Bath.
- Voor de Nederlandse dataset zijn verklarende metadata als lodingsmethode, fouten bij metingen en exacte datum gekend en voldoende gedocumenteerd. Bij de Vlaamse data is dat echter niet systematisch het geval. Hierdoor is er onvoldoende zicht op de kwaliteit van deze lodingen en de uiteindelijke berekeningen.
- Aan de steile randen van de geulen worden zeer duidelijke verschillen waargenomen tussen beide datasets. Een deel hiervan kan verklaard worden door een verschil in ruimtelijke resolutie op de steile hellingen. Constante baggerwerken aan de westelijke zijde van de geul om de uitbreiding van het Land van Saeftinghe te beperken (waarvan het exacte tijdstip t.o.v. de lodingen niet bekend is) verklaren een tweede deel van de verschillen: de menselijke ingrepen induceren hier immers significante wijzigingen in de bathymetrie. Hierbij kon zeker ook de kwaliteit van de lodingen en hun verwerking een verdere rol spelen.
- De huidige lodingsrange van de Vlaamse data van de Zeeschelde is met z'n tien jaar toch wel heel grof om niet alleen een correct beeld te registreren van de resulterende riviermorphologie, maar om een indicatief resultaat te geven over systematische en toevallige fouten in de terreinregistraties.

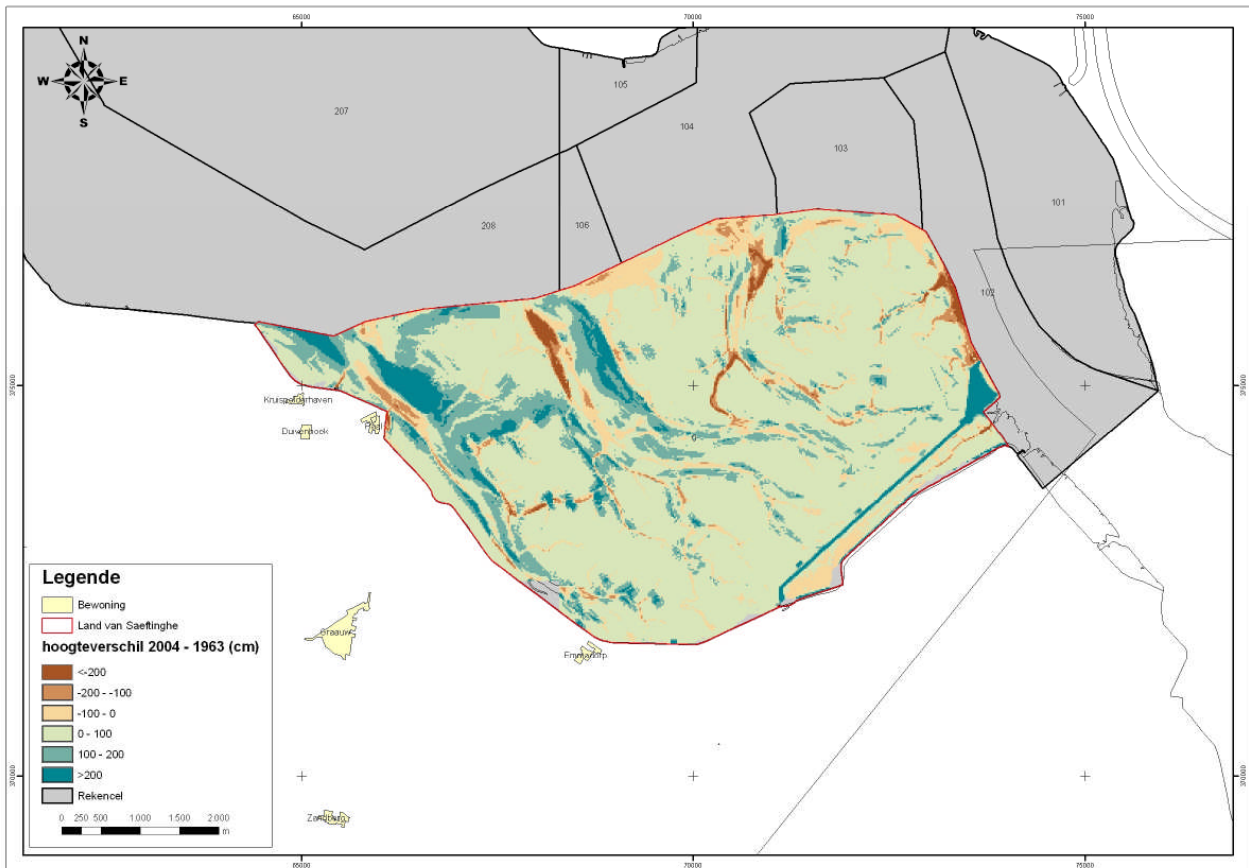
## 8.2 Randvoorwaarden Land van Saeftinghe

De randvoorwaarde voor deze zone wordt gedurende de volledige periode constant aangenomen en is bepaald op 300 000 m<sup>3</sup> zandtransport op jaarbasis in de richting van Saeftinghe. Deze aanname is overgenomen uit de vorige rapport van RIKZ-2004 betreffende de zandbalans en is gebaseerd op een meetcampagne / onderzoek (cfr verslag zandbalans RIKZ 2004).

Om toch enige zicht te bekomen over de betrouwbaarheid van dit cijfer is op basis van de beperkte beschikbare terreingegevens een raming gemaakt van de volumevariatie in de loop van de jaren.

We beschikken over hoogtemetingen uit 1963 en 2004 die het volledige gebied van "Het Verdronken Land van Saeftinghe" omvatten. Gezien geen detailinformatie gekend is over de manier waarop deze peilingen zijn uitgevoerd en er ook niets gekend is over de nauwkeurigheid van deze metingen worden deze gegevens slechts gebruikt als controle van de gedane aanname van 300 000 m<sup>3</sup> per jaar.

Analyse van de beide metingen leidt tot een volumevariatie van bijna 17 miljoen m<sup>3</sup> voor een oppervlakte van 31.5 km<sup>2</sup>. Dit betekent gemiddeld een stijging van 53 cm over een periode van 41 jaar. Op jaarbasis vertegenwoordigt dit een gemiddelde volumetoename van ruim 400 000 m<sup>3</sup>. Onderstaande figuur toont de verschilkaart tussen de 2 gehanteerde peilingen.



**Figuur 8-5: Verschillen in bathymetrie tussen 2004 en 1963 in Land van Saeftinghe**

Gezien de vaststellingen dat het land van Saeftinghe geleidelijk aan verzand lijken de berekende resultaten alleszins realistisch te zijn. Er wordt dan ook aangenomen dat de aanname van 300 000 m<sup>3</sup> zandtransport op jaarbasis vanuit de Westerschelde naar "Het Verdrongen Land van Saeftinghe" een goede en realistische keuze is.

### 8.3 Oppervlakte en afbakening van het studiegebied

#### 8.3.1 Oppervlakte

Het studiegebied beslaat een totale oppervlakte van ruim 1010 km<sup>2</sup> dat is verdeeld over drie deelgebieden zoals weergegeven in Tabel 8-3. Het opdelen van het estuarium in aparte deelgebieden heeft als voordeel om tot in detail volumeveranderingen en dus ook zandbewegingen te detecteren tussen de gebieden onderling en de totale verandering in de zandbalans weer te geven.

**Tabel 8-3: Oppervlakte deelgebieden**

Oppervlakte deelgebieden in m <sup>2</sup>		
Monding	658 140 416	65.16 %
Westerschelde	312 668 655	30.95 %
Zeeschelde	39 266 868	3.89 %
Totale oppervlakte	1 010 075 939	

In de vorige zandbalansberekening (RIKZ 2004) werd aangenomen dat de zandtransfer van de Zeeschelde naar de Westerschelde aan de Belgisch-Nederlandse grens kon gelijkgesteld worden aan 0 m<sup>3</sup>. De vorige studie was beperkt tot Westerschelde en mondingsgebied en de aanname van nultransport leek met de toenmalige beschikbare informatie realistisch. In de huidige studie is de Zeeschelde tot Rupelmonde mee opgenomen in de berekeningen en is de opwaartse rand verschoven tot aan de monding van de Rupel te Rupelmonde. Als opwaartse randvoorwaarde ter hoogte van Rupelmonde is nu een nultransport aangenomen. Het gevolg van de uitbreiding van het studiegebied is dat enerzijds de totale oppervlakte van het geheel is toegenomen met 39 miljoen m<sup>2</sup> en dat anderzijds het sedimenttransport ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens kan begroot worden.

De afbakening van de Zeeschelde is gebaseerd op de morfologische indeling van de Zeeschelde en werd bekomen via op het bestand estmorf01.shp verkregen van AMT. Als stroomopwaartse grens werd de monding van de Rupel ter hoogte van Wintam genomen met als aanname dat de zanduitwisseling met het stroomopwaartse gedeelte nu hier op nul is gesteld. Stroomafwaarts grenst de Zeeschelde aan de Westerschelde ter hoogte van grenspaal 269A op linkeroever en Sector Light N. Ballastplaat op rechteroever. Het is in deze zone dat de lodingen van beide studiegebieden elkaar overlappen waardoor een optimale dekking bereikt wordt.

**Tabel 8-4: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Zeeschelde**

Rekenvak	Naam	Oppervlakte (km <sup>2</sup> )	% van Zeeschelde	% van Studiegebied
1	Monding Rupel	1.1	2,8%	0,11%
2	Hoboken/Hemiksem	4.4	11,3%	0,44%
3	De Vlakte	4.4	11,3%	0,44%
4	Palingplaat	2.3	5,8%	0,23%
5	Plaat van Boomke/Oosterweel	4.9	12,5%	0,49%
6	Plaat van de Parel	4.3	10,9%	0,42%
7	Ketelplaat	4.5	11,4%	0,44%
8	Plaat van Lillo	5.0	12,8%	0,50%
9	Schaar Ouden Doel/Plaat van Doel	8.3	21,2%	0,82%

Voor de Westerschelde is de hier ontwikkelde oefening nagenoeg identiek aan de berekening bij de vorige oefening van de Zandbalans. Enerzijds worden de vaklodingen aangeleverd in 6 grote vakken, anderzijds is er de tweede indeling van de morfologische indeling in macro- en mesocellen met het onderscheid tussen eb- en vloedgeulen gebaseerd op het cellenconcept. Stroomafwaarts wordt de grens met de Monding getrokken ter hoogte van de lijn Breskens-Vlissingen in de Westerscheldemonding.

**Tabel 8-5: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Westerschelde**

Rekenvak	Naam	Oppervlakte (km <sup>2</sup> )	% van Westerschelde	% van Studiegebied
0	Land van Saeftinghe	31.6	2,0%	0,61%
101	Appelzak	6.2	1,7%	0,53%
102	Vaarwater Boven Bath	5.3	1,0%	0,31%
103	Schaar van de Noord	3.1	2,4%	0,75%
104	Nauw van Bath	7.6	0,5%	0,16%
105	Schaar van Valkenisse	1.6	0,3%	0,09%
106	Overloop van Valkenisse	0.9	6,7%	2,07%
207	Schaar van Waarde	20.9	6,0%	1,86%
208	Zuidergat/Overloop van Valkenisse	18.8	1,5%	0,47%
309	Zuidergat/Overloop van Valkenisse	4.7	0,8%	0,26%
310	Put van Hansweert	2.6	1,7%	0,54%
311	Plaat van Ossenisse	5.4	6,4%	1,97%
312	Middelgat	19.9	7,4%	2,30%
313	Gat van Ossenisse	23.2	0,8%	0,26%
414	Middelgat	2.6	0,4%	0,12%
415	Plaat van Baarland	1.3	6,7%	2,06%
416	Everingen	20.9	1,9%	0,58%
417	Middelplaat	5.9	4,3%	1,35%
418	Pas van Terneuzen	13.6	6,1%	1,88%
519	Everingen	19.0	6,8%	2,11%
520	Pas van Terneuzen	21.3	2,7%	0,82%
521	Honte	8.3	1,2%	0,39%
522	Schaar van de Spijkerplaat	3.9	2,5%	0,77%
523	Hoge Springer/Lage Springer	7.7	4,1%	1,26%
624	Honte	12.7	9,9%	3,07%
625	Schaar van de Spijkerplaat	31.0	4,0%	1,24%
626	Hoge Platen/Hoge Springer	12.5	11,6%	7,54%

Met 65 % van de totale oppervlakte van het studiegebied heeft de monding van de Westerschelde veruit de grootste invloed. Gezien de omvang van het gebied is ook hier een verdere indeling in deelcellen gehanteerd, gebaseerd op de eerder gedefinieerde morfologische eenheden. De morfologische celindeling maakt gebruik van de vakklodingen 12 t.e.m. 19 en 44. Enkel 12 en 17 t.e.m. 19 liggen op het Nederlandse grondgebied.

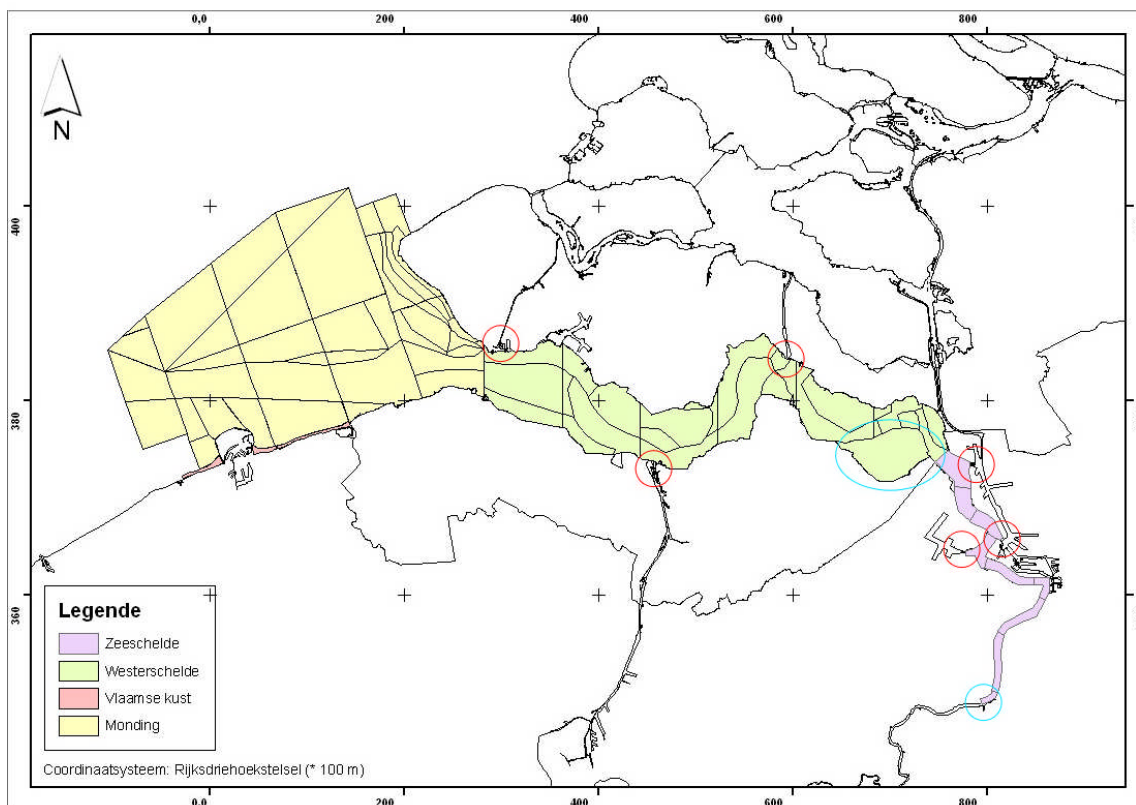


**Tabel 8-6: Naamgeving en oppervlakte per rekenvak voor Westerscheldemonding**

Rekencel	Naam	Oppervlakte (km <sup>2</sup> )	% van Monding	% van Studiegebied
1217	Vooroever	76.2	2,3%	1,52%
1218	Vlakte van de Raan/Rassen West	15.3	7,0%	4,55%
1328	Vlakte van de Raan	45.9	5,4%	3,54%
1329	Vooroever	35.8	6,8%	4,46%
1430	Vooroever	45.0	2,3%	1,52%
1431	Vlakte van de Raan	15.4	1,4%	0,88%
1532	Vlakte van de Raan	8.9	4,0%	2,60%
1533	Scheur/Wielingen	26.3	2,1%	1,34%
1534	Paardenmarkt	13.5	2,0%	1,29%
1535	Scheur	13.0	1,2%	0,80%
1536	Pas van Zand	8.1	1,0%	0,67%
1537	Zeebrugge West	6.8	0,3%	0,17%
1543	Zeebrugge West	1.8	0,2%	0,11%
1544	Paardenmarkt	1.1	4,4%	2,88%
1624	Appelzak	29.1	5,0%	3,26%
1625	Wielingen	32.9	0,5%	0,34%
1626	Spleet	3.4	3,6%	2,32%
1627	Vlakte van de Raan	23.5	0,3%	0,22%
1642	Appelzak	2.2	1,6%	1,05%
1719	Vlakte van de Raan	10.6	4,0%	2,63%
1720	Vlakte van de Raan	26.6	1,0%	0,65%
1721	Spleet	6.6	6,0%	3,89%
1722	Wielingen	39.3	0,7%	0,44%
1723	Cadzand	4.5	2,2%	1,42%
1801	Wielingen	14.3	2,4%	1,55%
1802	Wielingen	15.7	0,5%	0,31%
1803	Nolleplaat Zuid	3.2	0,5%	0,30%
1804	Nolleplaat Noord	3.1	0,4%	0,29%
1805	Vlissingen	2.9	0,2%	0,11%
1806	Walcheren	1.1	0,3%	0,21%
1807	Bankje van Zoutlande Oost	2.1	0,4%	0,23%
1808	Bankje van Zoutlande West	2.4	1,9%	1,21%
1809	Walvischstaart Oost	12.2	1,1%	0,69%
1810	Walvischstaart West	6.9	0,8%	0,54%
1911	Walcheren	5.4	1,1%	0,72%
1912	Bankje van Zoutlande Oost	7.3	1,1%	0,72%
1913	Bankje van Zoutlande West	7.2	1,5%	0,97%
1914	Rassen West	9.8	1,4%	0,89%
1915	Oostgat Noord	9.0	0,9%	0,60%
1916	Rassen Noord	6.1	3,4%	2,18%
4438	Ribzand	22.1	3,2%	2,07%
4439	Scheur	20.9	2,0%	1,28%
4440	Vooroever	12.9	0,3%	0,18%
4441	Stortplaats	1.8	2,3%	1,52%

Ten opzichte van de voorgaande oefening is langs de Vlaamse kust een reeks strandgebieden expliciet meegenomen in het mondingsgebied. Zo kan, in overeenstemming met de Nederlandse Kust en de Schelde, de zandbalans systematisch voor het vaste peil +3.50 m NAP (5.82 m TAW) uitgewerkt worden.

### 8.3.2 Afbakening



**Figuur 8-6: Afbakening randvoorwaarden**

Het studiegebied in deze oefening is strikt afgebakend tot aan de dijken terwijl een estuarium veel meer invloed krijgt te verwerken. In de verwerkingen zijn een aantal randvoorwaarden aangenomen die de realiteit slechts benaderen.

- Aan de opwaartse randvoorwaarde voor de Zeeschelde is verondersteld dat er geen uitwisseling is van zand stroomopwaarts van de Schelde ter hoogte van de Rupelmonding en met de Rupel zelf.
- De Antwerpse haven heeft met z'n vele dokken een duidelijke invloed op de zandevoluties in de Zeeschelde. In de berekening van de Zeeschelde blijkt duidelijk dat de aanleg van enkele haveninfrastructuren (sluizen, raaien,...) duidelijk transportvariaties heeft opgewekt. De haven staat via enkele discrete "poorten" wel in rechtstreeks contact met de Schelde en dus is sedimentuitwisseling van en naar de dokken zeker aanwezig in de werkelijkheid. Via de voornaamste sluizencomplexen (Berendrecht, Zandvliet, Boudewijn - Van Cauwelaert, Royersluis op de rechteroever en Kallosluis op de linkeroever) en het recent aangelegde Deurganckdok is er zeker een potentiële externe uitwisseling (en dus bijkomende randvoorwaarde naar het Schelde-estuarium). Dit uitwisselingsvolume is echter niet in rekening

gebracht in de zandbalans net omdat de transportbewegingen en baggerwerkzaamheden onbekend zijn.

- In de Antwerpse haven mondt ook het Schijn uit net zoals tal van andere beken en riviertjes. Ook hiervan zijn geen gegevens beschikbaar.

Al deze bijkomende randvoorwaarden apart hebben zeker een klein (ja, eventueel verwaarloosbaar) effect op de zandbalans, maar hoe significant is het gemeenschappelijk effect? Wat is het cumulatief effect? Een gedetailleerde studie van deze transportstromen als bijkomende randvoorwaarde binnen de zandbalans kan zeker de kwaliteit van de oefening verbeteren.

- Het Verdrongen Land van Saeftinghe is in de huidige zandbalans van de Westerschelde opgenomen als een randvoorwaarde met sedimentatie van een vaste 300 000 m<sup>3</sup> per jaar. Rekening houdend met de stroomtechnisch te verwachten vloedstroom is een uitwisseling via mesocel 5 vooropgesteld. Andere potentiële interacties tussen het Land van Saeftinghe en het Westerschelde-estuarium (op andere locaties langsheen de overgang tussen beide gebieden) worden hier, a priori uitgesloten door deze aanname. Gelet op de totale oppervlakte van 31.6 km<sup>2</sup> zou de gemiddelde jaarlijkse sedimentatiesnelheid 0.95 cm per jaar voor het hele gebied bedragen. Hier kunnen zeker kritische vragen gesteld worden bij deze constante waarde, gezien het getijdengebied in de afgelopen 50 jaar zeker niet meer met een constant volume opgehoogd is. De exacte tijdsafhankelijke sedimentatie(snelheid) kan bijvoorbeeld bekomen worden via jaarlijkse laserscanning van het gebied.
- Gelijkaardige invloeden van de kanalen aan zowel de linker- als rechtoever van de Westerschelde (kanaal Gent-Terneuzen, kanaal door Zuid-Beveland en Kanaal door Walcheren) worden in deze studie opnieuw niet ingecalculiseerd omdat we hun invloed als niet bestaande beschouwen in de sedimentstromen. De achterliggende gedachte is dat er op de kanalen weinig stroming zit (en weinig sedimenttoevoer) en daarenboven de correctie naar het estuarium weinig tot geen uitwisseling geeft. Een nauwkeurige analyse van deze randvoorwaarde kan evenwel bovenstaande veronderstellingen verder onderbouwen.

#### 8.4 Nauwkeurigheid en evolutie van lodingen en plaatsbepaling

De zandbalans is voor een groot deel gebaseerd op de lodingen van de respectievelijke deelstudiegebieden. Zoals al eerder vermeld, zijn deze brongegevens niet afkomstig van één instelling, maar van drie, nl. MAD voor monding en Westerschelde, AMT voor Zeeschelde en Afdeling Kust voor stranddata in Vlaanderen. De methode en fouten voor de lodingen afkomstig van de MAD zijn kritisch geanalyseerd en gevalideerd.

Voor de Westerschelde en het mondingsgebied worden de gelode waarden gegrid bij een horizontale resolutie van 20 m en vervolgens aangevuld. Verschillende systematische en toevallige fouten treden echter op in de datasets: plaatsbepalingsfouten, nauwkeurigheid van echolood, kalibratiefouten van echolood, omrekeningsfouten van waterstanden naar NAP en fouten ingevolge schipbewegingen. Al deze fouten kunnen worden ingecalculiseerd in de lodingen en zo nodig gecorrigeerd. Echter, deze fouten zijn niet constant in de tijd omdat de meettechnieken op zich verbeteren (andere meetschepen worden gebruikt) en de technologie bij de registratie van relevante omgevingsfactoren voortdurend verandert. Dankzij de juiste foutenanalyse is het mogelijk om al deze veranderingen te rechtvaardigen en in te calculeren in de uiteindelijk weerhouden lodingsdata. Toch dient zeker met de nodige voorzichtigheid de kwaliteit van de lodingsgegevens te worden meegenomen in de evaluatie van de zandbalansresultaten. Zeker voor de “oudere” gegevens is en blijft de foutenmarge veel groter dan op de meer actuele lodingsdata. Bovendien

zijn de gemiddelde lodingsdatums exact gekend, althans voor de Westerschelde, waardoor de zandbalans met grote nauwkeurigheid kan worden berekend.

De gebruikte lodingsgegevens voor de Zeeschelde zijn gebaseerd op grids met een horizontale resolutie van 5 m. In de discrete opnames (met een interval van 10 jaar) is jammer genoeg de data niet perfect overlappend binnen het studiegebied. Daarnaast zijn er geen metadata per loding beschikbaar waardoor we ondermeer geen enkele informatie hebben omtrent de opnamedatum, de kalibratie, meettechniek of andere omgevingsparameters.

Aangezien de toegepaste peilingsmethode niet in detail gekend is, is er ook geen duidelijk zicht op de afwijkingen en/of mogelijk toegepaste correcties, net als de fouten op de data. De hier beschikbare meetfrequentie laat niet toe gedetailleerde evoluties in de tijd te analyseren als “directe” impact van antropogene ingrepen (zoals de belangrijke haveninfrastructuurwerken). Men kon enkel een uitgevlakt, globaal beeld distilleren uit de 10-jaarlijkse registraties.

De Nederlandse lodingen zijn systematisch aangevuld met jaarlijkse kustgegevens (jarkus), voor Vlaanderen is dat echter niet het geval, dus in dat opzicht is deze zone benadeeld. Sinds 2000 zijn wel laseraltimetriegegevens beschikbaar voor de lijn Blankenberge - Belgisch-Nederlandse grens met een vrij fijne horizontale resolutie van 5 m. De hoogtedata is echter beperkt in die zin dat zwinnen met waterplassen niet toelaten om de hoogte te meten van het oppervlak onder de plas. Via de techniek van grids aanvullen wordt de data alsnog bruikbaar.

## Conclusie

Uniformiteit in lodingen en metadata is het streefdoel. Momenteel werken we met verschillende systemen die of niet overeenkomen met elkaar of waarvan te weinig achtergronddata beschikbaar is. Voor de toekomst is het noodzakelijk te streven naar een éénduidige en grensoverschrijdende methode voor de opname en levering van de metadata met betrekking tot methoden en technieken van de lodingen, zoals nu al eigenlijk het geval is voor de Westerschelde. Ook de opnamedatum is van groot belang, vooral dan voor de zandbalans. Bovendien verdient de Zeeschelde meer aandacht, tien jaar tussen de lodingen is té veel voor nauwgezette analyses.

## 8.5 Onderscheid fracties zand/slib en densiteit bagger- en stortvolume

Bij deze studie wordt enkel het zandtransport beschouwd. De beschikbaar gestelde data betreffende bagger- en storthoeveelheden in de studiezone zijn niet altijd even duidelijk definieerbaar als zand. In de Zeeschelde en de Westerschelde is het baggermateriaal waar mogelijk gecatalogeerd in 3 klassen:

- Klasse 1: dichtheid 1.6 ton/m<sup>3</sup>
- Klasse 2: dichtheid tussen 1.4 en 1.6 ton/m<sup>3</sup>
- Klasse 3: dichtheid kleiner dan 1.4 ton/m<sup>3</sup>.

Enkel klassen 1 en 2 zijn in de berekeningen opgenomen.

Deze aanname veronderstelt dat de lodingen de “vloeibare” sliblaag (klasse 3) niet meten en dat de signalen pas weerkaatsen op de vastere bodemlagen.

Voor het mondingsgebied is er een andere benadering gebruikt. Hier is op basis van enkele vaststellingen (visueel - analyses - ...) een schatting gemaakt van de zandfractie voor de verschillende baggerlocaties. Aldus komt men tot zandfracties tussen 5 en 25 % afhankelijk van de locatie:

- Haven en voorhaven van Zeebrugge: 5 %
- Pas van het Zand en Ribzand: 15 %
- Scheur en Wielingen: 25 %

Het mag duidelijk zijn dat deze aannames mogelijk sterk de zandbalans kunnen beïnvloeden.

## 8.6 Invloed van de gebruikte verwerkingsmethode

De lodingsgegevens zijn slechts op een aantal discrete tijdstippen gekend. Voor de Zeeschelde is de tussentijd tussen 2 lodingen zelfs 10 jaar. In Westerschelde en Monding is de tijdsspanne tussen 2 opeenvolgende lodingen meestal beperkt tot 1 à 2 jaar.

De hier berekende zandbalans wordt opgebouwd op jaarbasis. Dit betekent dat we de wijzigingen van de bathymetrie nodig hebben op jaarbasis. Daarom wordt een synchronisatie van de bathymetriegegevens per 1 januari van het elk jaar doorgevoerd. Dit is vroeger in dit verslag reeds verduidelijkt en komt neer op een lineaire interpolatie van de bathymetriegegevens.

Nu is elke set lodingsgegevens opgebouwd gedurende een zekere periode (weken, eventueel maanden). Voor elke set lodingsgegevens wordt een gemiddelde datum bepaald (ofwel midden tussen start en einde van lodingen ofwel een schatting indien geen detailinformatie gekend is).

De informatie van de ingrepen (bagger – stort – zandwinning, ...) is evenwel slechts beschikbaar gesteld op jaarbasis.

Nu is het mogelijk dat een baggeractiviteit in een bepaald gebied uitgevoerd is onmiddellijk voor een loding en dat het storten gebeurt in een ander vak waar de lodingen reeds uitgevoerd zijn. Ook het omgekeerde is mogelijk. Hierdoor kunnen de jaarlijkse berekende variaties groter of kleiner zijn dan in werkelijkheid. Op langere termijn worden deze schommelingen sowieso uitgemiddeld, doch lokaal en op dat specifieke “jaar”-moment kan dit wel voor een vertekend momentaal beeld zorgen. Zelfs al gebeurt het baggeren en storten ofwel voor een loding ofwel erna, dan nog kunnen er afwijkingen ontstaan. Door de lineaire interpolatie van de lodingsgegevens gaan we ervan uit dat de sedimentatie of erosie in een bepaald gebied met een constante snelheid gebeurt ongeacht alle mogelijke invloedsfactoren. Het is evenwel duidelijk dat zowel het storten als het baggeren lokaal een wijziging teweeg brengt in het complex, dynamische stromingsbeeld van het estuarium waardoor sedimentatie en erosie beïnvloed kunnen/zullen worden.

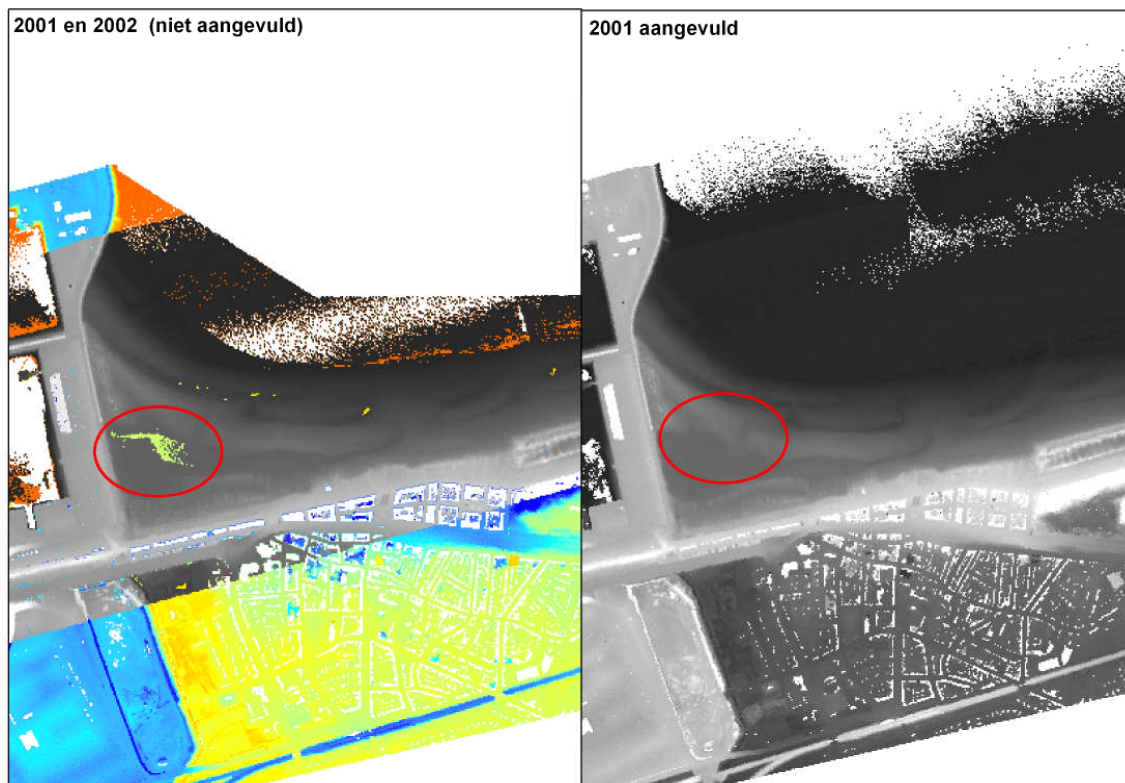
Het is dan ook duidelijk dat de bekomen getallen op jaarbasis geen echt absolute waarde hebben en dus ook niet an sich kunnen gebruikt worden om conclusies en/of voorspellingen te formuleren. Hiervoor wordt best een gemiddelde over een aantal jaren genomen waardoor de fluctuaties eigen aan de werkwijze uitgemiddeld worden.

## 8.7 Grids aanvullen en *clipping*

Gezien de aard van de methode voor het loden en laserscanning, is het niet onmogelijk dat voor sommige punten geen data wordt bekomen, zoals weergegeven in Figuur 8-7 voor het jaar 2001 in zwartwit.

De rastergegevens voor de beschikbare hydrografische lodingen en strandwaarnemingen (laserscan) bedekken niet allemaal hetzelfde gebied. In de loop der jaren zijn verschillende waterbouwkundige werken uitgevoerd of de opmetingsmethode lichtjes aangepast zodat niet telkens een identiek gebied is ingemeten. Hierdoor kunnen gaten in de lodingsgrids zitten en dat maakt in se de gegevens onbruikbaar voor vergelijkingen. Het grid wordt via een technische ingreep aangevuld met data uit jaren ervoor opdat het alsnog mogelijk is om met een volledige dataset

zonder onderbrekingen te rekenen in Arc/Info. De rechtse figuur in het aangevulde grid (zwartwit) met ondermeer data uit 2002 (kleur in linkse figuur).



**Figuur 8-7: Aanvullen van een grid**

### **Het aanvullen van grids houdt zeker een aantal gevaren in.**

Gaten in de lodingen maakt de set in principe onbruikbaar; aangevulde grids verzorgen vergelijkbaarheid. Praktisch gezien betekent het dat een onbekende celwaarde die wordt omzoomd door gekende celwaardes, wordt aangevuld met celwaarden van op de zelfde locatie van de jaren ervoor. In deze logica geldt de aanname dat de morfologie weinig is veranderd ten opzichte van het jaar voordien. De berekening impliceert dat voor de aangevulde cellen er geen verandering wordt waargenomen in volumes, hoewel deze er wel mogelijks is. Een detailstudie van deze techniek die zowel is gebruikt voor de jarkus-data (strandwaarnemingen langs de Nederlandse kust) als de Westerschelde is noodzakelijk om potentiële fouten te detecteren.

Voor kustgebieden moet deze aanname met voorzichtigheid worden benaderd gezien de kustmorfologie steeds in dynamische toestand is met bewegingen van strandruggen in de intertidale zone. De veranderingen aan de kust zijn dan ook relatief belangrijk voor relatief kleine oppervlakten. In de Zeeschelde is deze benadering echter niet de meest geschikte manier om onregelmatigheden of blanco grids weg te werken gezien we de beschikbare lodingsdata met verschillende afbakeningingen voor een intervalperiode van gemiddeld 10 jaar.

Via *clipping* wordt van alle data de grootste gemeenschappelijke zone uitgesneden uit de beschikbare lodingsdata per jaar. Het nadeel is echter dat er hierdoor sedimentatie- en erosiezones zijn die niet worden meegerekend en enkel een globaal beeld van de evolutie bekomen wordt.

## 8.8 Projectiesystemen, datums en referentiepijlen

### 8.8.1 Inleiding

In dit rapport zijn al meermaals de namen Rijksdriehoekstelsel, NAP, TAW, Lambert72 of UTM31 gevallen, zonder daar al te veel informatie over te geven. Deze termen zijn echter zeer belangrijk in de GIS-verwerking van de datasets gezien het grensoverschrijdend karakter van deze studie en worden daarom opgehelderd in dit hoofdstuk zonder al te veel in detail te treden.

We maken het onderscheid tussen projecties (Lambert, Rijksdriehoekstelsel) of projectiesystemen (UTM), datums (ED50, WGS84, Datum van Amersfoort) en waterpassing (TAW, NAP). Al deze onderdelen samen proberen de aarde zo realistisch mogelijk voor te stellen op kaarten zodat er uniforme berekeningen kunnen worden gemaakt. Een kaartprojectie is een afbeelding die elke positie op aarde toewijst aan één uniek punt op het kaartvlak. Om tot een kaartprojectie te kunnen komen moeten er echter een aantal factoren worden vastgelegd die een bolvorm het meest gunstig projecteren op het vlak afhankelijk van het beoogde gebruik van de kaart. Hierbij zijn steeds vervormingen waar te nemen zoals: oppervlaktevervormingen, afstandsvervormingen en/of hoekvervormingen. Een perfecte projectie van een bolvormig lichaam op een plat vlak bestaat niet.

### 8.8.2 Datum

De aarde heeft een te grillig oppervlak om deze vorm wiskundig te definiëren en te gebruiken als basis voor cartografische opmetingen. Daarom is een geoïde gedefinieerd, een vereenvoudigd aardoppervlak, maar nog steeds niet wiskundig te beschrijven, maar het is wel een vorm die overeenkomt met een equipotentiaaloppervlak. Deze geoïde wordt wiskundig benaderd via een omwentelingsferoïde die zowel lokaal als globaal gedefinieerd kan zijn. Het is nu net wiskundige uitdrukking van de omwentelingsferoïde ten opzichte van de geoïde die de datum bepaalt. Om het kort samen te vatten: de datum is de basis voor verdere berekeningen tijdens het projecteren van de aarde op een plat vlak.

Gezien er meerdere omwentelingsferoïdes bestaan, geven deze vorm aan verschillende datums. Een globale datum is: World Geodetic System 84 (verkort: WGS84), Belgian Datum 72 (BD72), European Datum (ED50) en Datum van Amersfoort zijn allen lokale datums.

### 8.8.3 Kaartprojecties

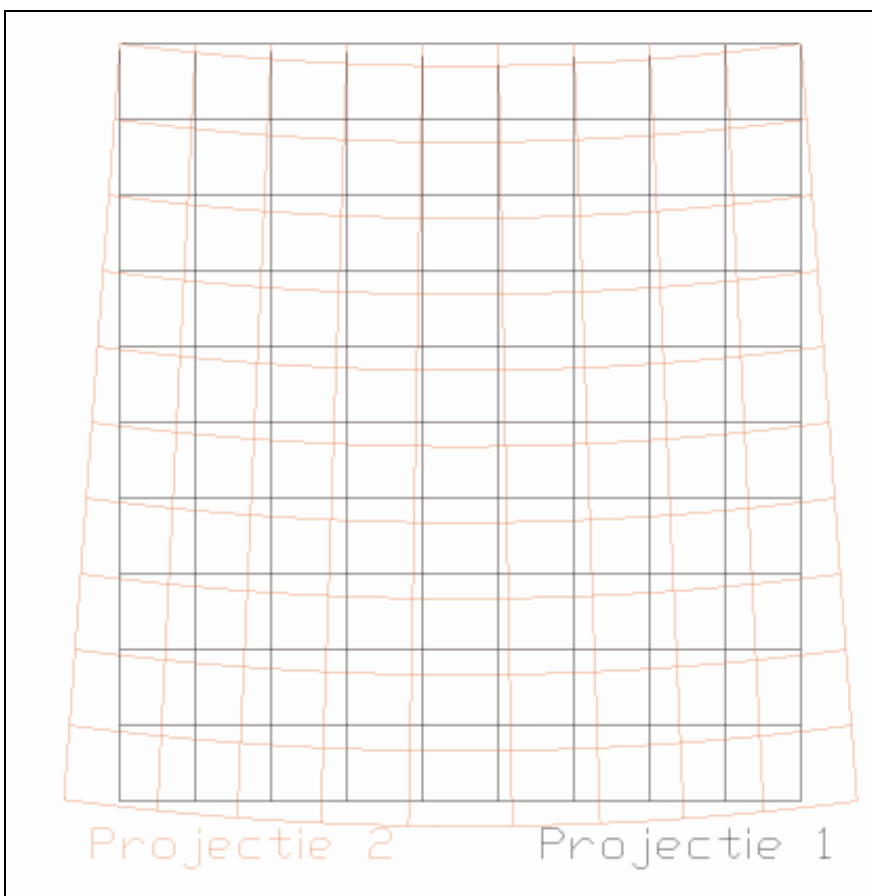
De aarde kan op verschillende wijzen worden voorgesteld, afhankelijk van het vooropgestelde doel van de kaart. Steeds bestaan er vervormingen, en zonder al te veel in detail te treden is het handig om te weten dat veel cartografische instituten van oorsprong militair zijn en militairen vooral geïnteresseerd zijn in hoeken. Daarom zijn zowel de topografische kaart van Nederland als België als UTM conforme of hoekgetrouwe kaarten, d.w.z. dat er geen afwijkingen van de hoeken op kaart zijn. Er zijn echter wel afwijkingen in afstand en oppervlakte.

- Voor de Nederlandse RD-projectie is de afstandsvervorming maximaal 18 cm per km. Deze projectie maakt gebruik van de datum van Amersfoort met NAP voor de hoogtemeting.
- Voor de Belgische Lambert-projectie van 72 vertoont een afstandsafwijking van maximaal 15 cm per km. De Belgische Lambert-projectie maakt gebruik van BD72. Hierbij worden de hoogtemetingen uitgedrukt in meter TAW.
- De Universele Transversale Mercatorprojectie met Europese Datum van 50 wordt in Europa gebruikt.

En het zijn nu net die oppervlakte- en afstandsvervalsingen die voor problemen zorgen in het converteren van data tussen verschillende projectiesystemen. Voor een dataset met een beperkt aantal punten zijn de vervormingen eerder gering in aantal, maar van zodra je werkt met lodingen met 5 m resolutie voor miljoenen punten, moet je ermee rekening houden dat omschakeling tussen twee projectiesystemen belangrijke vervormingen met zich meebrengt die zo groot kunnen zijn dat de data volledig onbetrouwbaar worden. De beste oplossing voor dit probleem is uiteindelijk kiezen om geen transformatie door te voeren en alle verdere oppervlakte- en volumeberekeningen binnen het oorspronkelijke referentiesysteem uit te voeren. Figuur 8-8 toont hoe de vervormingen systematisch groter worden, zoals je mag ervaren als je met vlakken werkt, zoals grids.

In deze studie worden grids in drie verschillende projecties weergegeven, nl. UTM zone 31 met ED 50 voor de Zeeschelde, RD voor de Westerschelde en Monding en Lambert 72 voor de Vlaamse kust.

Het nadeel van de hierboven vooropgestelde berekeningsmethode in afzonderlijke gebieden is dat het onmogelijk is in één tijd alle berekeningen door te voeren en ze gelijktijdig zonder vervormingen weer te geven op een kaart. Dit ongemak wordt ruimschoots gecompenseerd door het feit dat je weet dat de cartografische vervormingen op de originele data minimaal zijn en aldus veel betrouwbaardere berekeningen oplevert dan na een initiële coördinaattransformatie.



**Figuur 8-8: Afstands- en oppervlaktevervalsingen**



#### **8.8.4 Waterpassing**

Afstanden worden steeds gemeten ten opzichte van een referentiepunt of vlak. Diepten en hoogtes (verticale afstanden) worden in België en Nederland gemeten ten opzichte van een verschillend referentievlak. Voor België is dit de Tweede Algemene Waterpassing gebaseerd op gemiddeld laag laagwater bij springtij met het fundamenteel punt te Oostende. In Nederland is het Normaal Amsterdams peil het referentievlak, dat steunt op het gemiddeld peil met het fundamenteel punt in Amsterdam. NAP = TAW + 232 cm.

## 9 Algemene beschouwingen

### 9.1 Verschillen met zandbalans 2004

Zoals reeds aangehaald is dit verslag een uitbreiding van een vorige zandbalansoefening. (RIKZ/2004.020). Het is dan ook nuttig een vergelijking te maken (waar mogelijk) tussen de resultaten van de beide studies.

- In de vorige studie was de oefening beperkt tot Westerschelde en Monding terwijl nu de Zeeschelde tot aan de monding van de Rupel in de berekeningen opgenomen is.
- Uit de deelbalans van de Zeeschelde blijkt dat de vroegere aanname van een nultransport ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens niet de meest exacte benadering is. Tussen 1955 en 2004 wordt er gemiddeld 1.1 miljoen m<sup>3</sup> materiaal op jaarbasis geïmporteerd naar de Zeeschelde. Deze hoeveelheid kan vrij sterk schommelen van jaar tot jaar.
- Door het in rekening brengen van sedimenttransport van Westerschelde naar Zeeschelde gebeurt de omslag van import naar export ter hoogte van de lijn Breskens-Vlissingen enige jaren later ten opzichte van de resultaten uit de vorige balans. De huidige berekeningen laten een export van Westerschelde naar Monding zien vanaf 1997 tegenover in de vorige balans vanaf 1990.
- In het Belgisch gedeelte van het mondingsgebied is in de huidige zandbalansoefening rekening gehouden met een geschatte zandfractie die varieert tussen 5 en 25 % voor de verschillende baggerlocaties. Door deze aanname worden de totale bagger- en stortvolumes die in rekening gebracht worden in de zandbalans sterk gereduceerd. Per saldo (voor het volledige mondingsgebied) zal dit eerder beperkte gevolgen hebben omdat alle baggermateriaal terug gestort wordt in het mondingsgebied, maar voor bepaalde deelgebieden veroorzaakt dit wel belangrijke verschillen. Dit is onder meer het geval voor de vaargeulen in het mondingsgebied (zie ook Figuur 6-6 pagina 57).

### 9.2 Invloed van 18.6 jarige tijcyclus

In de vorige studie [5 - RIKZ 2004] is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de zandbalans en de invloed van de 18.6 jarige getijcyclus. Hierbij is de periode 1971 – 2001 geanalyseerd.

Uit de beperkte analyse in vermelde studie blijkt dat er op basis van 30 jaar gegevens geen duidelijk aantoonbaar verband waar te nemen is. Om echt een onderbouwde statistische analyse te kunnen doorvoeren dient men te beschikken over een langere datareeks (meerdere 18.6 jarige cycli). In de voorliggende studie is de datareeks slechts met 3 jaar uitgebreid (tot en met 2004). De datareeks beslaat nog steeds minder dan 2 maal de 18.6 jarige tijcyclus. Het uitvoeren van een betrouwbare statistische analyse naar de invloed van de 18.6 jarige tijcyclus blijft nog steeds niet mogelijk. Bijgevolg zijn in deze studie hieromtrent geen verdere acties ondernomen.

## 10 Conclusies

Als algemene conclusie kan gesteld worden dat de bekomen zandbalans een goed idee geeft van de variatie van bodempeil en ingrepen in het onderzoeksgebied. Uitsplitsing van de data in morfologische eenheden laat toe transportbewegingen te detecteren.

Bij de interpretatie dient men steeds de kwaliteit van de beschikbare gegevens in gedachten te houden. De voorliggende studie heeft een zandbalans opgebouwd: dit betekent dat slibfracties niet meegerekend zijn. De informatie over de sedimentsamenstelling bij bagger- en stortactiviteiten is echter niet altijd even goed gekend waardoor de gehanteerde zandvolumes soms minder betrouwbaar zijn. Vooral in het mondingsgebied is de verhouding tussen zand- en slibfractie een mogelijk discussiepunt. Tevens is in het mondingsgebied niet altijd duidelijk of bij de lodingen effectief de vaste bodem geregistreerd is. Sommige (oudere) lodingen zijn mogelijk ook minder betrouwbaar.

De vele werken die in de loop der jaren uitgevoerd zijn (verdiepingen vaargeul - aanleg Zeebrugge - Deurganckdok - Zandvlietsluis/Berendrechtsluis - ...) hebben zeker ook de water- en sedimentbewegingen beïnvloed.

Volgende algemene vaststellingen kunnen geformuleerd worden:

- De aanname van nultransport ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens is niet juist. Er blijkt een duidelijk transport te zijn van de Westerschelde naar de Zeeschelde. Over de laatste 10 jaar bedraagt dit transport benaderend 0.8 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.
- De aanname van een transport van 0.3 miljoen m<sup>2</sup> naar het land van Saeftinghe lijkt realistisch maar wordt in de toekomst best gecontroleerd door regelmatige metingen.
- Door ingrepen verdwijnt er per saldo vrij veel zand uit zowel Westerschelde als Zeeschelde. In het mondingsgebied is hier een minder duidelijke trend waarneembaar en zijn de gemiddelde jaarhoeveelheden beperkter.
- De Westerschelde vertoonde vroeger een import van zand uit het mondingsgebied terwijl deze import sedert 1995-1996 omgeslagen is in een export.
- Vooral de laatste 15 jaar is het transport vanuit de monding in de richting van de zee aanzienlijk (ongeveer 10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar).

Mogelijke toekomstige verbeteringen van de voorliggende zandbalans:

- Invloed van "Verdronken Land van Saeftinghe" onderzoeken. Vooral nagaan of transport als constant in de tijd kan beschouwd worden.
- Exactere informatie verzamelen over locatie, tijdstip en sedimentsamenstelling van de ingrepen (baggeren - storten) zodat enerzijds een gedetailleerder beeld van het transport kan bekomen worden en anderzijds de volumebepaling en sedimentsamenstelling betrouwbaarder worden.
- Uitbreiding van het mondingsgebied teneinde de stortzone S1 volledig te kunnen opnemen.
- Meer frequente lodingen op Zeeschelde.
- Opstellen van een sedimentbalans als een combinatie van een zand- en slibbalans.

## 11 Referenties

- [1] Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, LIN-AWZ, Afd. Zeeschelde, THV RA-IMDC-Grontmij-Ecolas-VITO (2001), MER van de actualisatie van het Sigmaphan - Niet-technische samenvatting,
- [2] RIKZ - B. Koreman, A. Barends en D. Dunsbergen (2000), Westerscheldemond 1970-2020 - een morfologische blik op de toekomst (RIKZ/2000.030)
- [3] RIKZ - J.P.M. Mulder (2000), Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel (RIKZ/2000.36)
- [4] RIKZ - S.E. Hoogewoning en M. Boers (1999), Fysische effecten van de zee-zandwinning (RIKZ/2001.050)
- [5] RIKZ - G. Nederbragt en G.J. Liek (2004), Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding (RIKZ/2004.020)
- [6] Consortium Arcadis-Technum i.s.m. WL Delft Hydraulics (2004), Vooronderzoek naar het voorspellen van het onderhoudsbaggerwerk en het verbeteren van de stortstrategie in de Westerschelde (DO 3 MER - fase Morfologie)
- [7] Consortium Arcadis-Technum i.s.m. WL Delft Hydraulics (2004), Samenvatting van het morfologisch onderzoek (in het kader van S-MER en Ontwikkelingsschets 2010)
- [8] Consortium Arcadis-Technum i.s.m. WL Delft Hydraulics (2004), Morfologische ontwikkelingen in het Schelde-estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde (DO 2 en 3 Morfologie)
- [9] Malherbe B., V. Guinot, J. De Rouck, C. Van de Kreeke en J. Terwindt (2004), Brief second opinion morfologisch onderzoek
- [10] RIKZ – J. de Jong, G. Krijger, L. Nijse, S. Huijs (1997), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43', Plan van aanpak - Rapport 2, project monitoring verdieping Westerschelde (RIKZ/1997)
- [11] RIKZ – A.A. Arends, P. Kamermans, E.C. Stikvoort, B. de Winder (1999), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' - Rapport 4 Eerste evaluatie van de bagger- en stortstrategie (RIKZ/1999.019)
- [12] RIKZ - G.J. Liek (2001), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' - Rapport 5 Beschrijving van de fysische toestand van de Westerschelde t/m 2000 (RIKZ/2001.023)
- [13] RIKZ - B. Dauwe (2001), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' - Rapport 6 Samenvatting van de ontwikkelingen in de Westerschelde (tussenstand 2000) (RIKZ/2001.025)
- [14] RIKZ – E. Stikvoort (ed), C. Berrevoets, M. Kuijper, F. Lefèvre, G.J. Liek, M. Lievaart, D. Van Maldegem, P. Meininger, B. Peters, A. Pouwer, H. Schippers & J. Wijsman (2003), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' - Rapport 7 Hypothesendocument 2003. Onderliggende rapportage bij MOVE-rapport 8 (deel A en B) Evaluatierapport 2003. (RIKZ/2003.009)
- [15] RIKZ - B.G.T.M. Peters, G.J. Liek, J.W.M. Wijsman, M.W.M. Kuijper (2003), MOVE Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' - Rapport 8 Evaluatierapport 2003 (RIKZ/2003.027)

- [16] Huijs, S.M., Groenenberg, K. van Westenbrugge, G. de Kock, L. Santbergen, H. van Hoek, A. Polfliet, S. van Herk, P. Roelse (2000), Zand in de hand: beleidsplan Zandwinning Westerschelde 2001-2011, Nota NWL-00.05, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg
- [17] Jeuken, M.C.J.L. (2001), Verificatie van het cellenconcept Westerschelde op basis van historische gegevens, Rapport Z3078, WL I Delft Hydraulics, Delft
- [18] Jeuken, C., I. Tánzos, Z.B. Wang (2003), Evaluatie van het beleid voor vaargeulenonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde, Rapport Z3467, WL I Delft Hydraulics, Delft
- [19] Kornman, B., G.A. Liek, H.K. Schippers (2002), Baggeren en storten in de Westerschelde, een nieuwe kijk op het onderhoudsbaggerwerk, Werkdocument RIKZ/AB/2002.840x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg
- [20] Mol, G., A.M. van Berchum, G.M. Krijger (1997), De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43', beschrijving van de trends in de fysische, biologische en chemische toestand, Rapport RIKZ-97.049, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg
- [21] Schipper, H.K. (2003), De fysische effecten van verruiming in de Westerschelde; verbetering van het MOVE denkmodel met behulp van het cellenconcept, Werkdocument RIKZ/AB/2003.801x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg
- [22] Stive M.J.F., H.F.P. van den Bogaard, Z.B. Wang, M.J. Baptist, A.W. van der Weck (1998), Definitiestudie Morfologische Dynamiek Westerschelde, WL I Delft Hydraulics, Delft
- [23] Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde (1984), Verdieping Westerschelde studierapport, programma 48' - 43'
- [24] De Bok, C. (2002), Zandbalans van het deelsysteem "Delta". Werkdocument RIKZ/OS/2002.114x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
- [25] De Jong, J.E.A. (2000), Zandbalans Westerschelde en monding. Periode 1955-1999. Notitie NWL-00.16, Rijkswaterstaat, directie Zeeland
- [26] HAECON (2000), Zandbalans WS-Mond Belgische gedeelte. Rapport NST2155-25, HAECON Harbour and Engineering Consultants
- [27] Jeuken, C., G. Ruessink en Z.B. Wang (2002), Adviezen voor het maken van een gezamenlijke zandbalans voor Westerschelde en monding. Rapport Z3213, WL I Delft Hydraulics, Delft
- [28] Liek, G.A., G. Nederbragt, C. van der Male (2003), Resultaten zandbalans Westerschelde en monding. Werkdocument RIKZ/OS/2003/163x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
- [29] Marijs, K., Parée, E. (2004), Nauwkeurigheid vaklodingen Westerschelde en monding; "de praktijk". Rapport ZLMD-04.N.004, Rijkswaterstaat, Meetinformatiedienst Zeeland
- [30] Storm, C., P. Bollebakker, J. de Jong, G. Mol (1994), Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 en aanbevelingen ter optimalisatie. Rapport RIKZ-94.008, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
- [31] Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Kust Vlaamse Hydrografie (2005), Getijtafels 2006 voor Oostende, Zeebrugge, Vlissingen, Prosperpolder, Antwerpen en Wintam

## **BIJLAGE 1: OVERZICHT PLANNEN MET VAKINDELING**

- **ZEESCHELDE**
- **WESTERSCHELDE**
- **MONDINGSGEBIED**

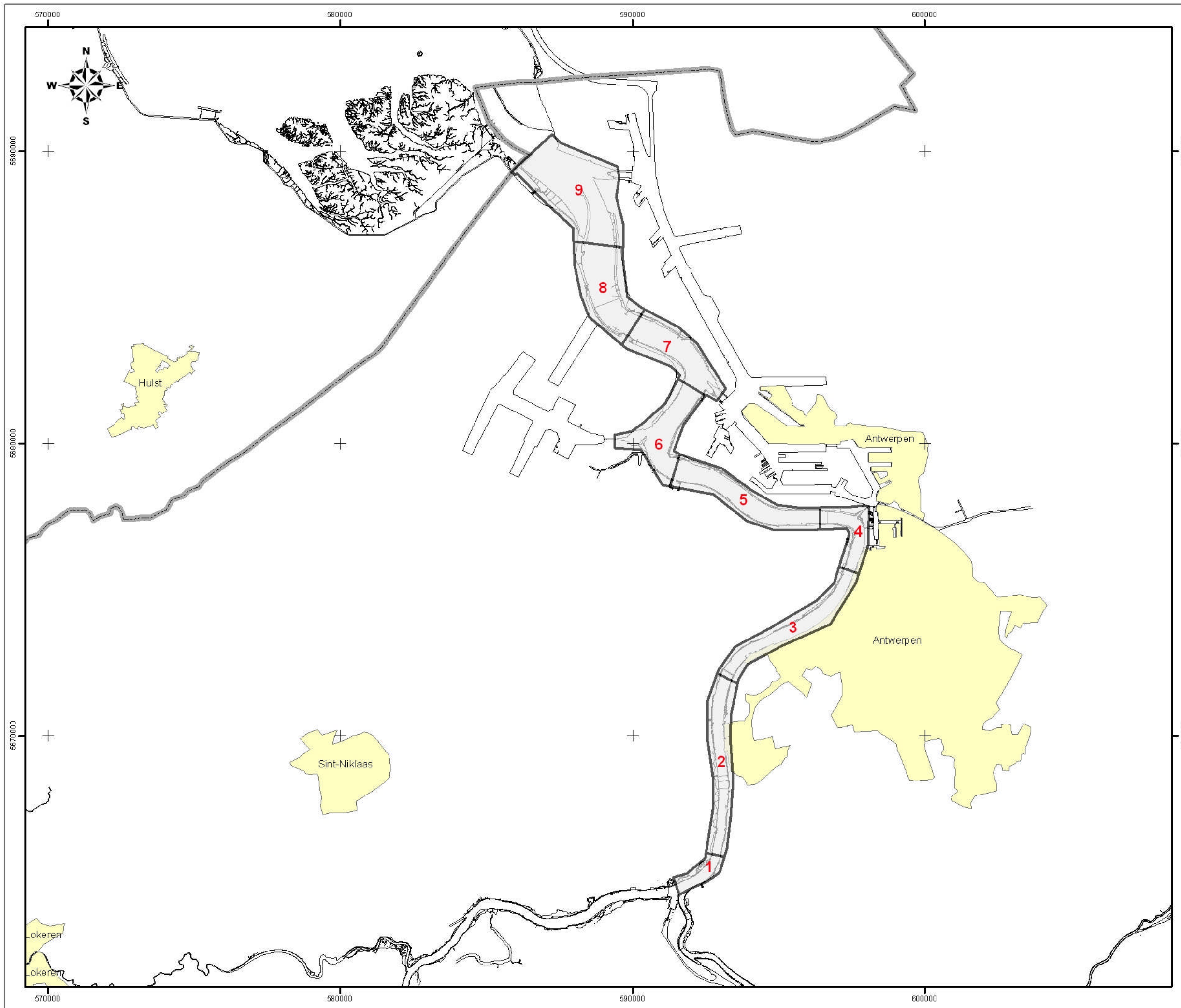
## BIJLAGE 2: ZANDBALANS PER DEELGEBIED VOOR DE ZEESCHELDE

## BIJLAGE 3: ZANDBALANS PER MACROCEL VAN DE WESTERSCHELDE



## BIJLAGE 4: ZANDBALANS PER REKENCEL VAN DE WESTERSCHELDE

## **BIJLAGE 5: ZANDBALANS PER REKENCEL VOOR MONDINGSGBIED**



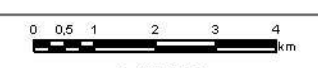
Overheidsinstelling voor  
Verruiming van de  
Verruiming van de

## INDELING DEELGEBIEDEN ZEESCHELDE

Lodingsvakken  
Rekencellen

### Legende

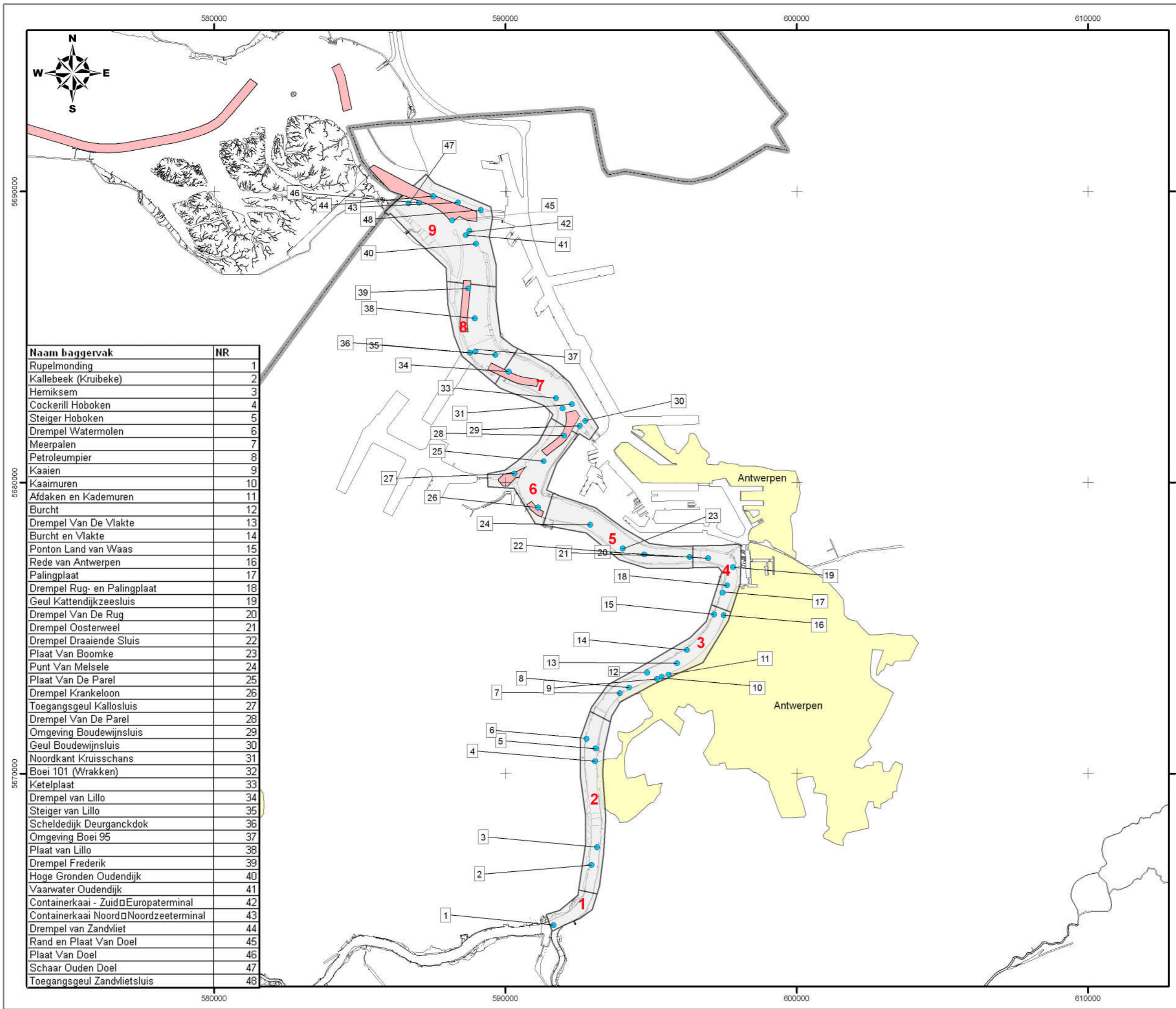
- Rekencel
- Grens
- Steden



1:125000

Kaartprojectie : UTM31 (ED50)





Naam baggervak	NR
Rupelmonding	1
Kallebeek (Kruibeke)	2
Hemiksem	3
Cockerill Hoboken	4
Steiger Hoboken	5
Drempel Watermolen	6
Meerpalen	7
Petroleumpier	8
Kaaien	9
Kaaimuren	10
Afdaken en Kademuren	11
Burcht	12
Drempel Van De Vlakte	13
Burcht en Vlakte	14
Ponton Land van Waas	15
Rede van Antwerpen	16
Palingplaat	17
Drempel Rug- en Palingplaat	18
Geul Kattendijkzeesluis	19
Drempel Van De Rug	20
Drempel Oosterweel	21
Drempel Draaiende Sluis	22
Plaat Van Boomke	23
Punt Van Melsele	24
Plaat Van De Parel	25
Drempel Krankeloon	26
Toegangsgedul Kallosluis	27
Drempel Van De Parel	28
Omgeving Boudewijnsluis	29
Geul Boudewijnsluis	30
Noordkant Kruisschans	31
Boei 101 (Wrakken)	32
Ketelplaat	33
Drempel van Lillo	34
Steiger van Lillo	35
Scheldedijk Deurganckdok	36
Omgeving Boei 95	37
Plaat van Lillo	38
Drempel Frederik	39
Hoge Gronden Oudendijk	40
Vaarwater Oudendijk	41
Containerkaai - Zuid-Europaterminal	42
Containerkaai Noord-Noordzeeterminal	43
Drempel van Zandvliet	44
Rand en Plaat Van Doel	45
Plaat Van Doel	46
Schaar Ouden Doel	47
Toegangsgedul Zandvlietluis	48

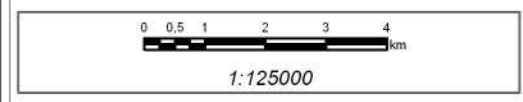


**INDELING DEELGEBIEDEN  
ZEESCHELDE**

Baggerlocaties

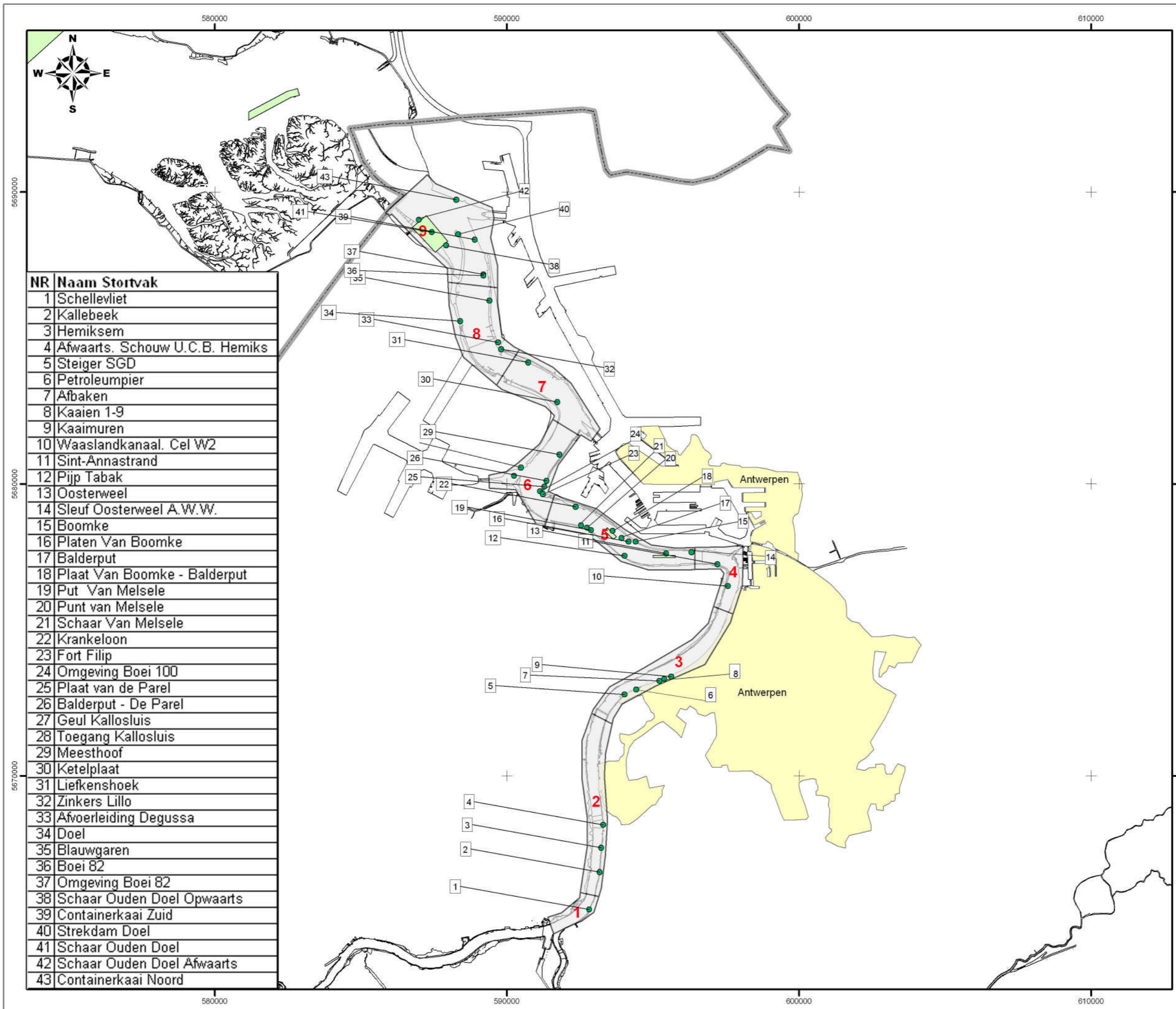
**Legende**

- Rekencel
- Grens
- Steden
- Baggervakken (polygonen)
- Baggervakken (punten)



Kaartprojectie : UTM31 (ED50)





NR	Naam Stortvak
1	Schelleliet
2	Kallebeek
3	Hemiksem
4	Afwaarts. Schouw U.C.B. Hemiks
5	Steiger SGD
6	Petroleumpier
7	Afbaken
8	Kaaien 1-9
9	Kaaimuren
10	Waaslandkanaal. Cel W2
11	Sint-Annastrand
12	Pijp Tabak
13	Oosterweel
14	Sleuf Oosterweel A.W.W.
15	Boomke
16	Platen Van Boomke
17	Balderput
18	Plaat Van Boomke - Balderput
19	Put Van Melsele
20	Punt van Melsele
21	Schaar Van Melsele
22	Krankeloon
23	Fort Filip
24	Omgeving Boei 100
25	Plaat van de Parel
26	Balderput - De Parel
27	Geul Kallosluis
28	Toegang Kallosluis
29	Meesthoof
30	Ketelplaat
31	Liefkenshoek
32	Zinkers Lillo
33	Afvoerleiding Degussa
34	Doel
35	Blauwgaren
36	Boei 82
37	Omgeving Boei 82
38	Schaar Ouden Doel Opwaarts
39	Containerkaai Zuid
40	Strekdam Doel
41	Schaar Ouden Doel
42	Schaar Ouden Doel Afwaarts
43	Containerkaai Noord



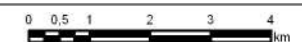
Ontwikkelingszaken 2010 Schelde-estuarium  
Verruiming vaargeul

## INDELING DEELGEBIEDEN ZEESCHELDE

Stortlocaties

### Legende

-  Rekencel
-  Grens
-  Steden
-  Stortvakken (polygonen)
-  Stortvakken (punten)

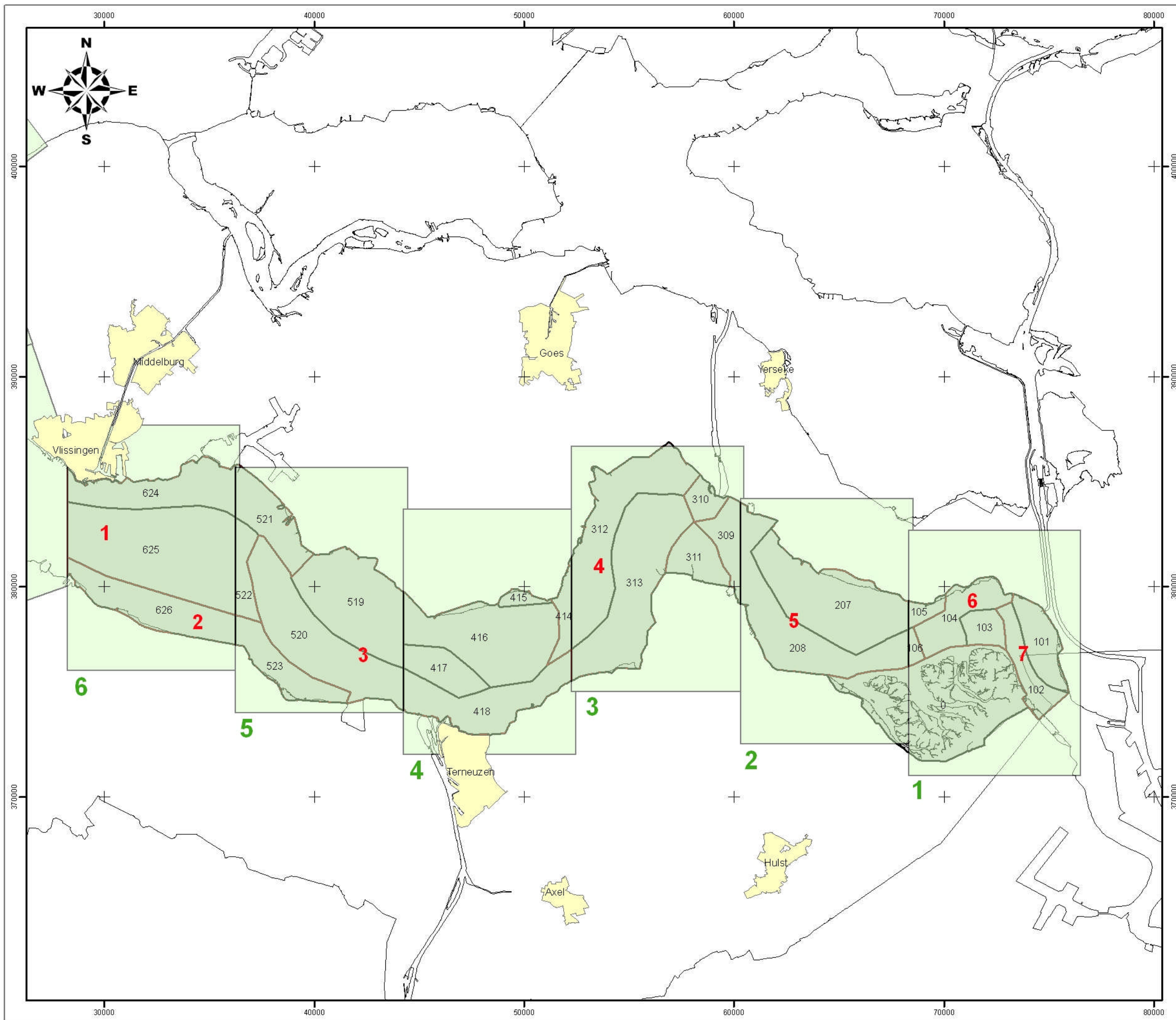


1:125000

Kaartprojectie : UTM31 (ED50)



Haecon is a trademark of Soresma

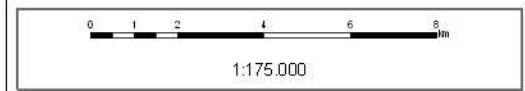


**INDELING DEELGEBIEDEN  
WESTERSCHELDE**

Lodingsvakken  
Macrocellen  
Rekencellen

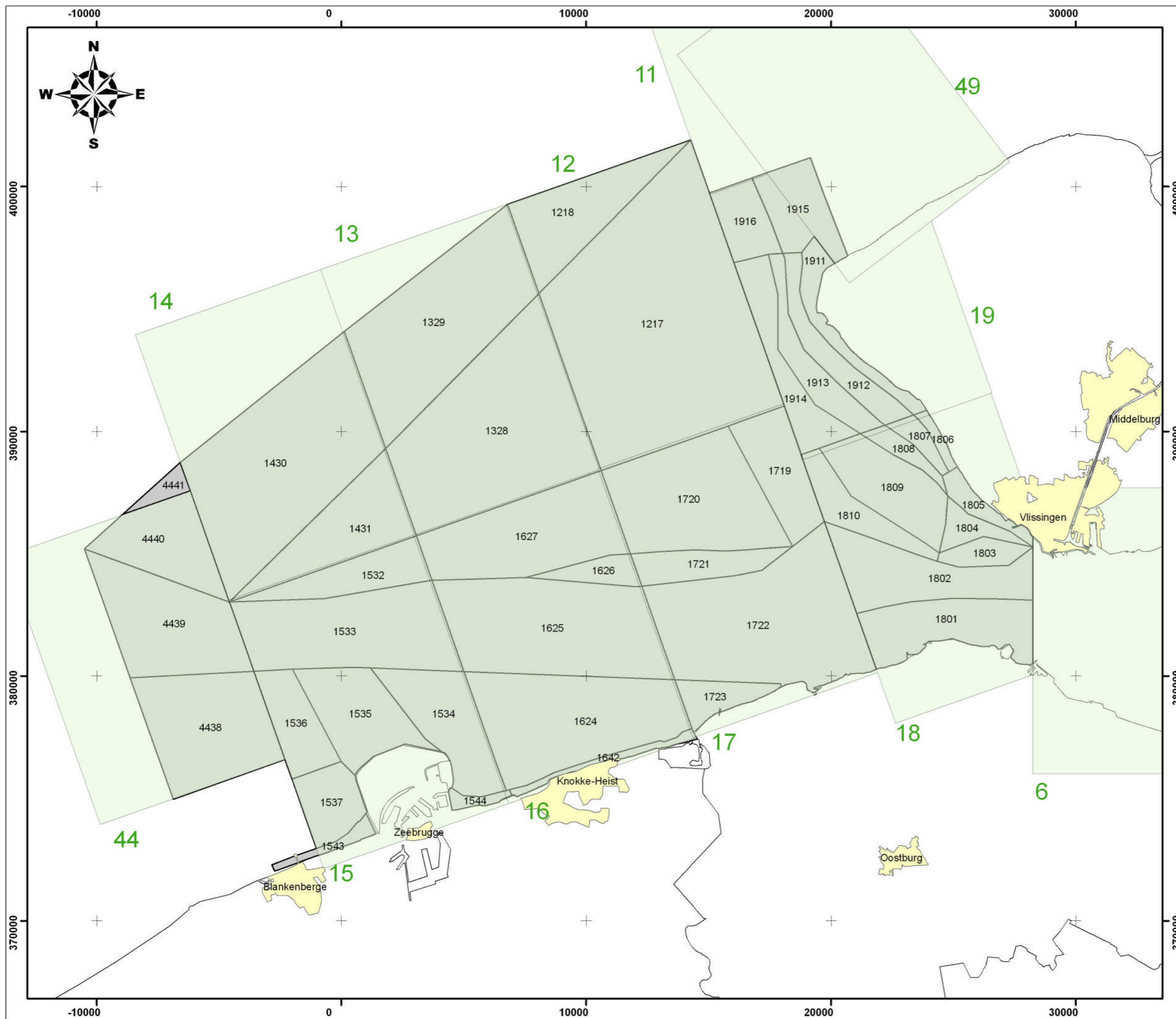
**Legende**

- 1 Macrocel
- 626 Rekencel
- 1 Vakloding
- Steden



Kaartprojectie : Rijksdriehoekstelsel  
Hoogte: NAP





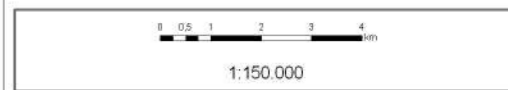
Ontwikkelingsricht 2010 Scheldt-estuarium  
Verruiming vaargeul

### INDELING DEELGEBIEDEN WESTERSCHELDE

Lodingsvakken  
Rekencellen

#### Legende

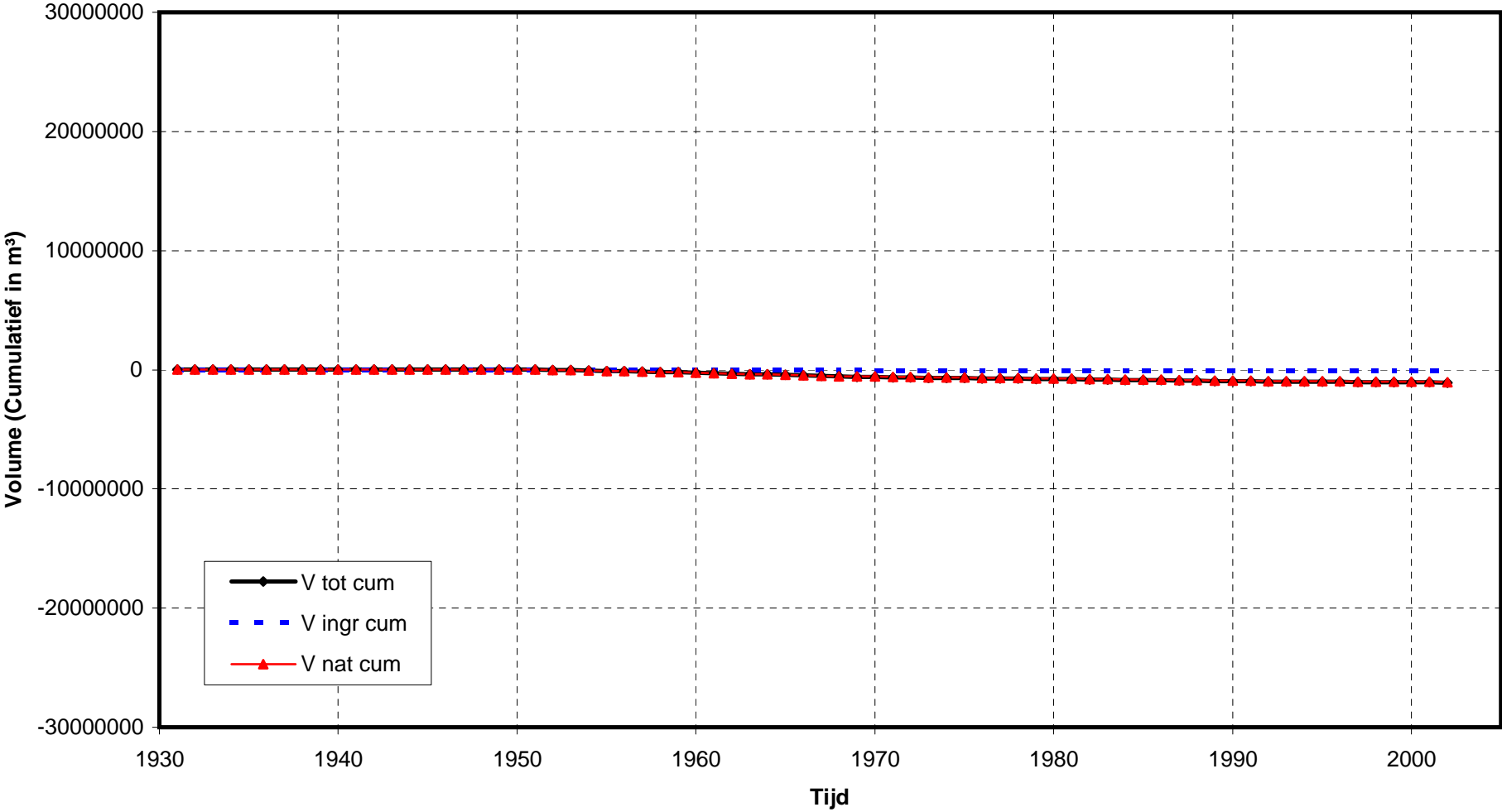
- Vakloding
- Steden
- Rekencel



Kaartprojectie: Rijksdriehoekstelsel  
Hoogte: NAP

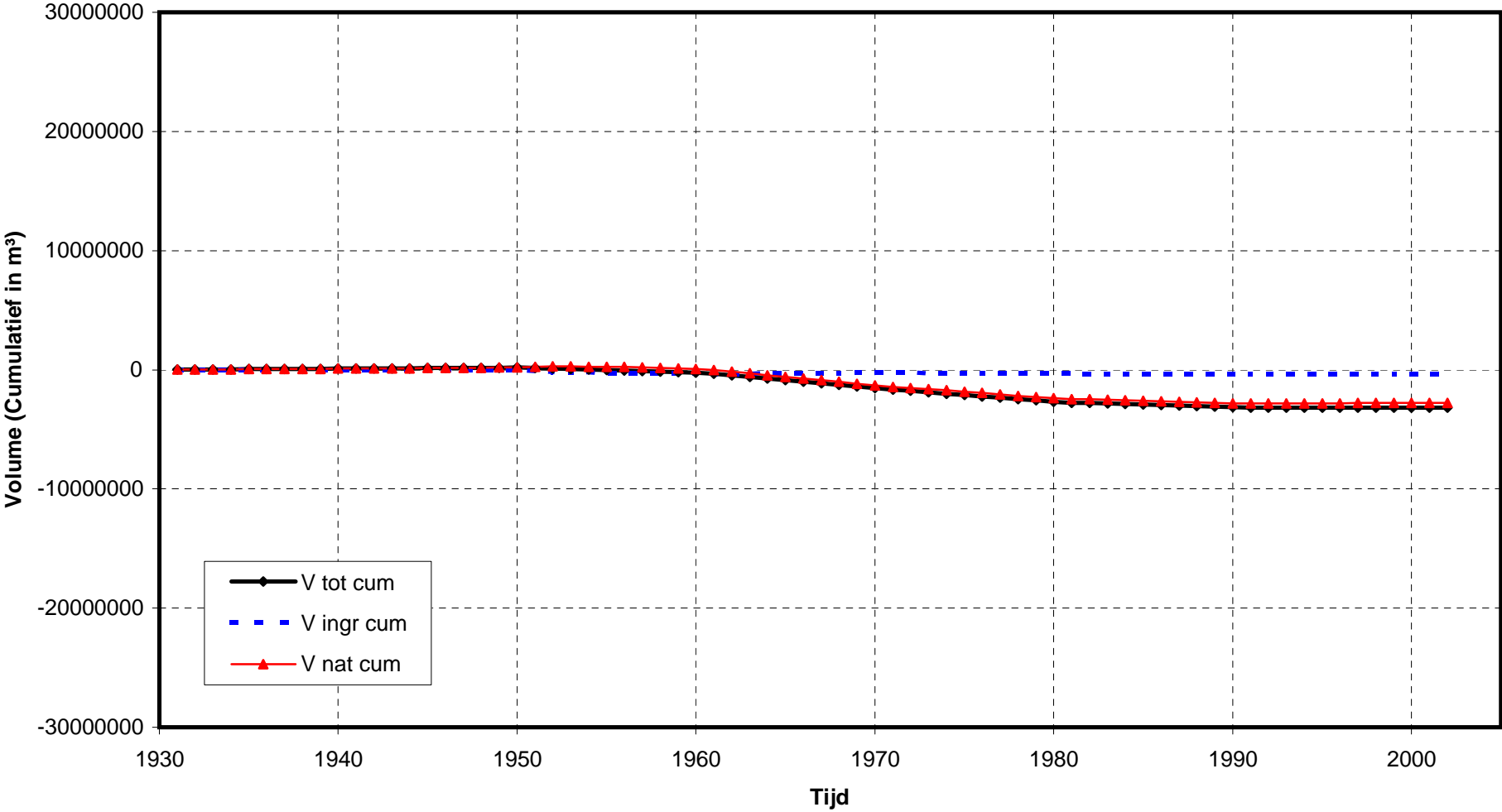


**Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002**  
**Cumulatieve gegevens : Vak 1**

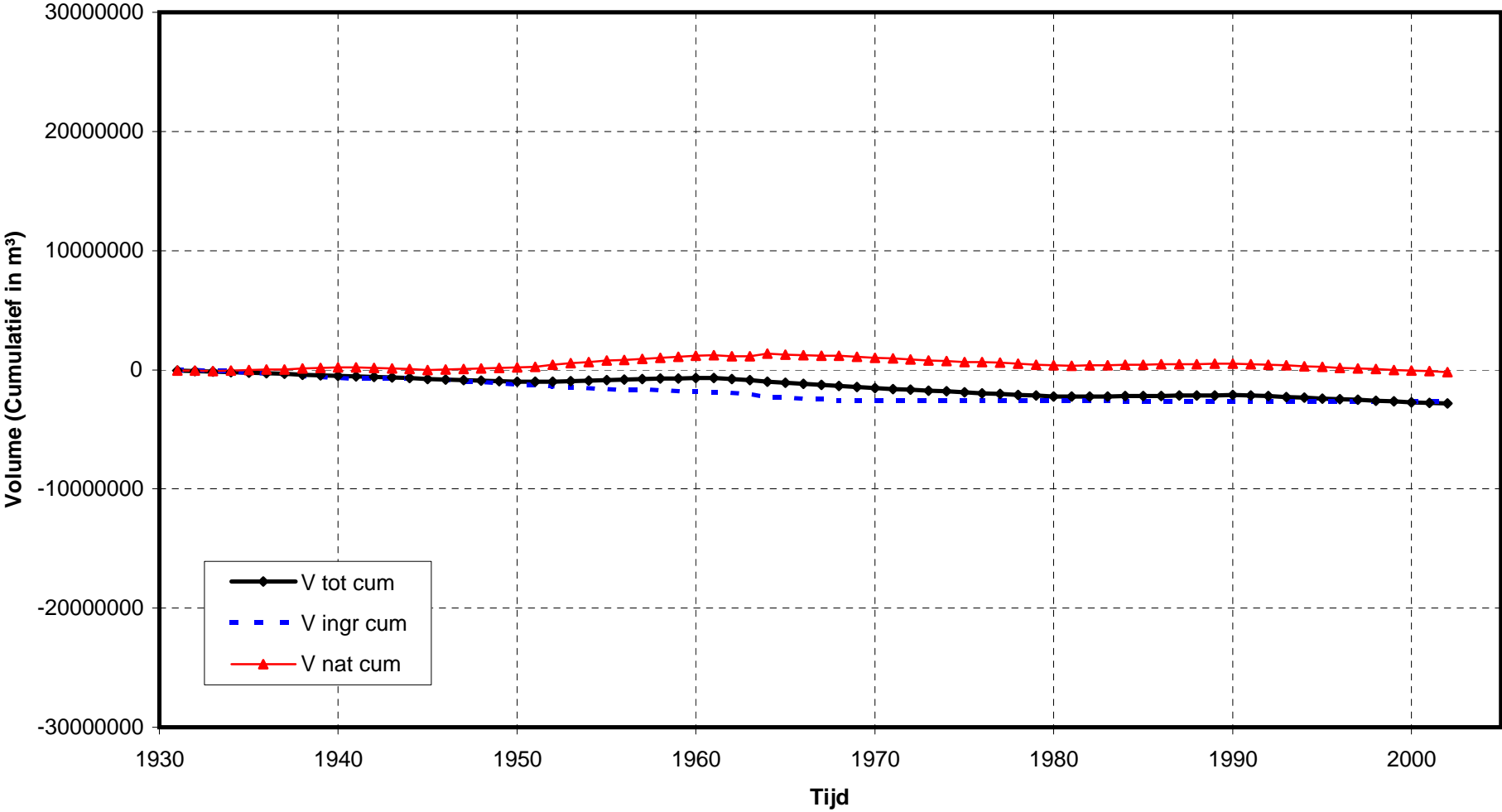




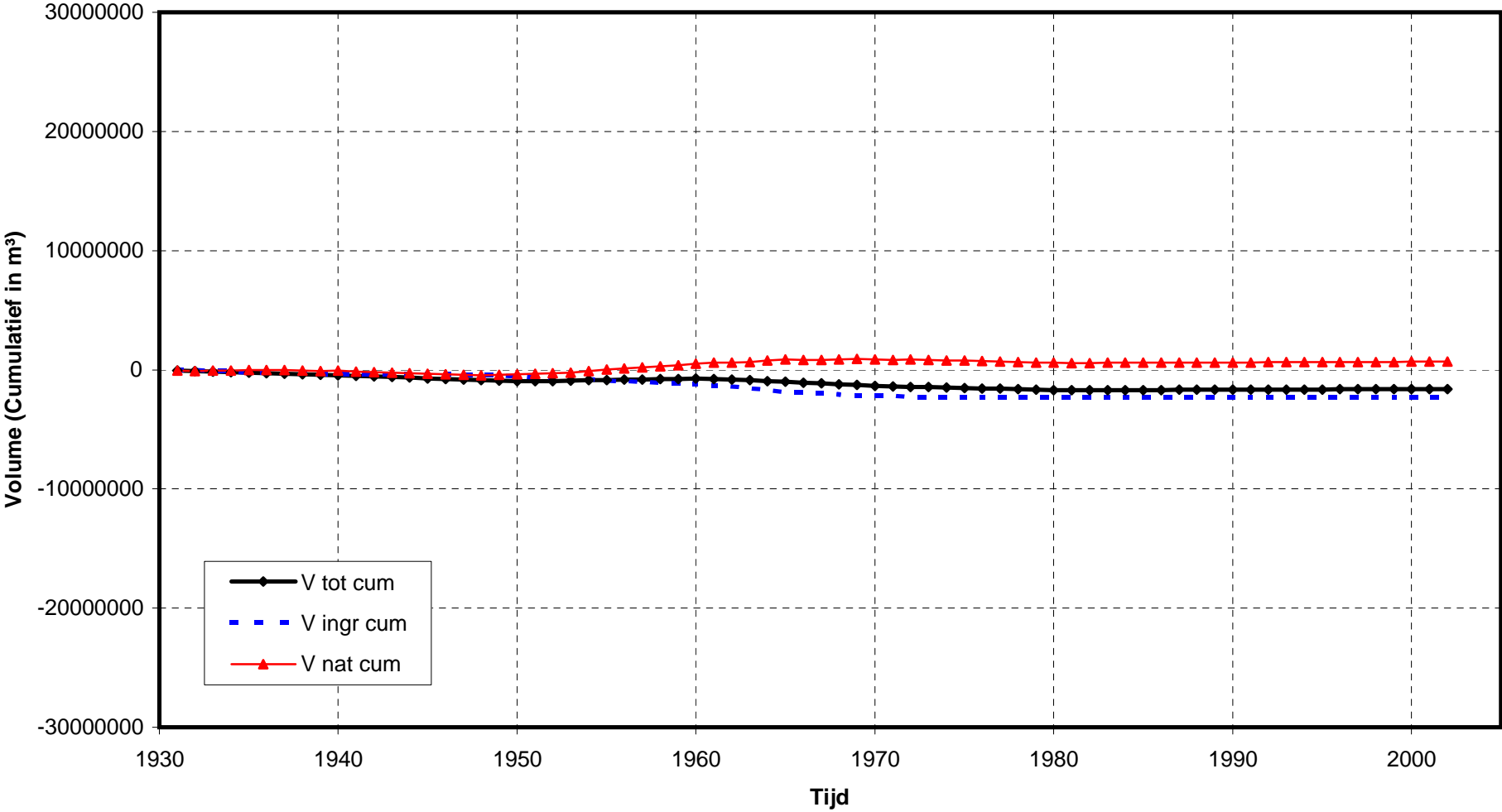
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 2



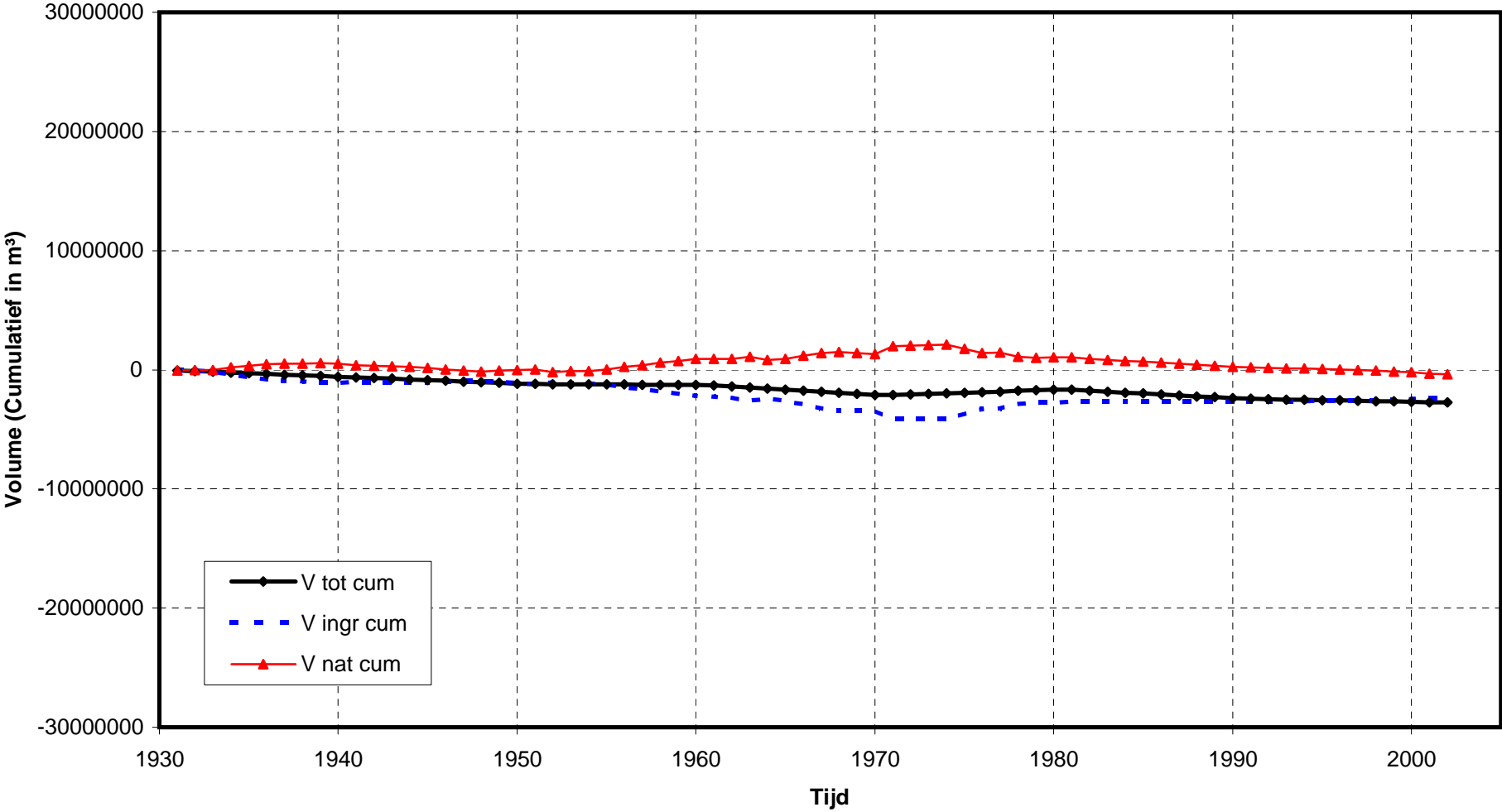
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 3



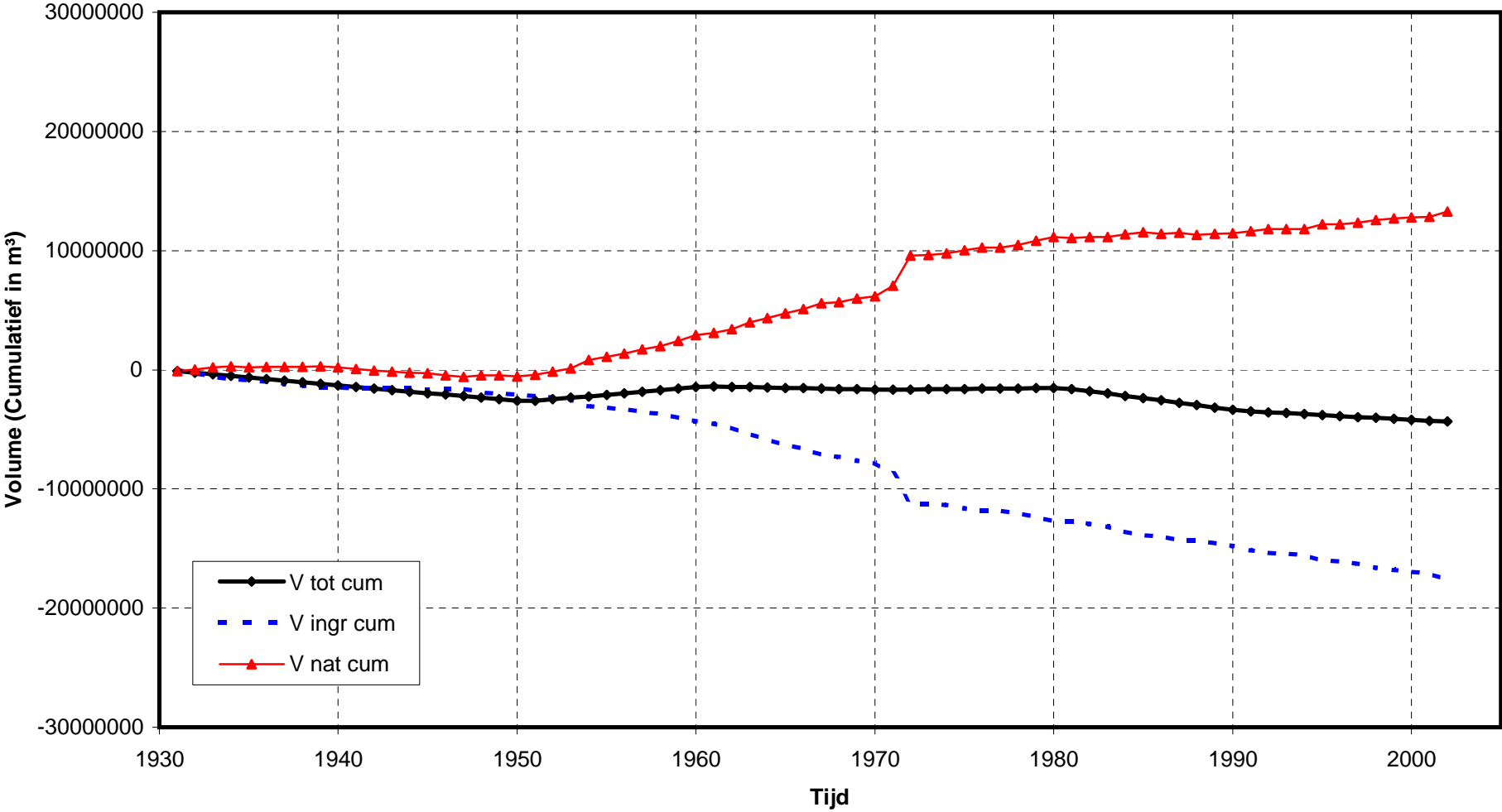
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 4



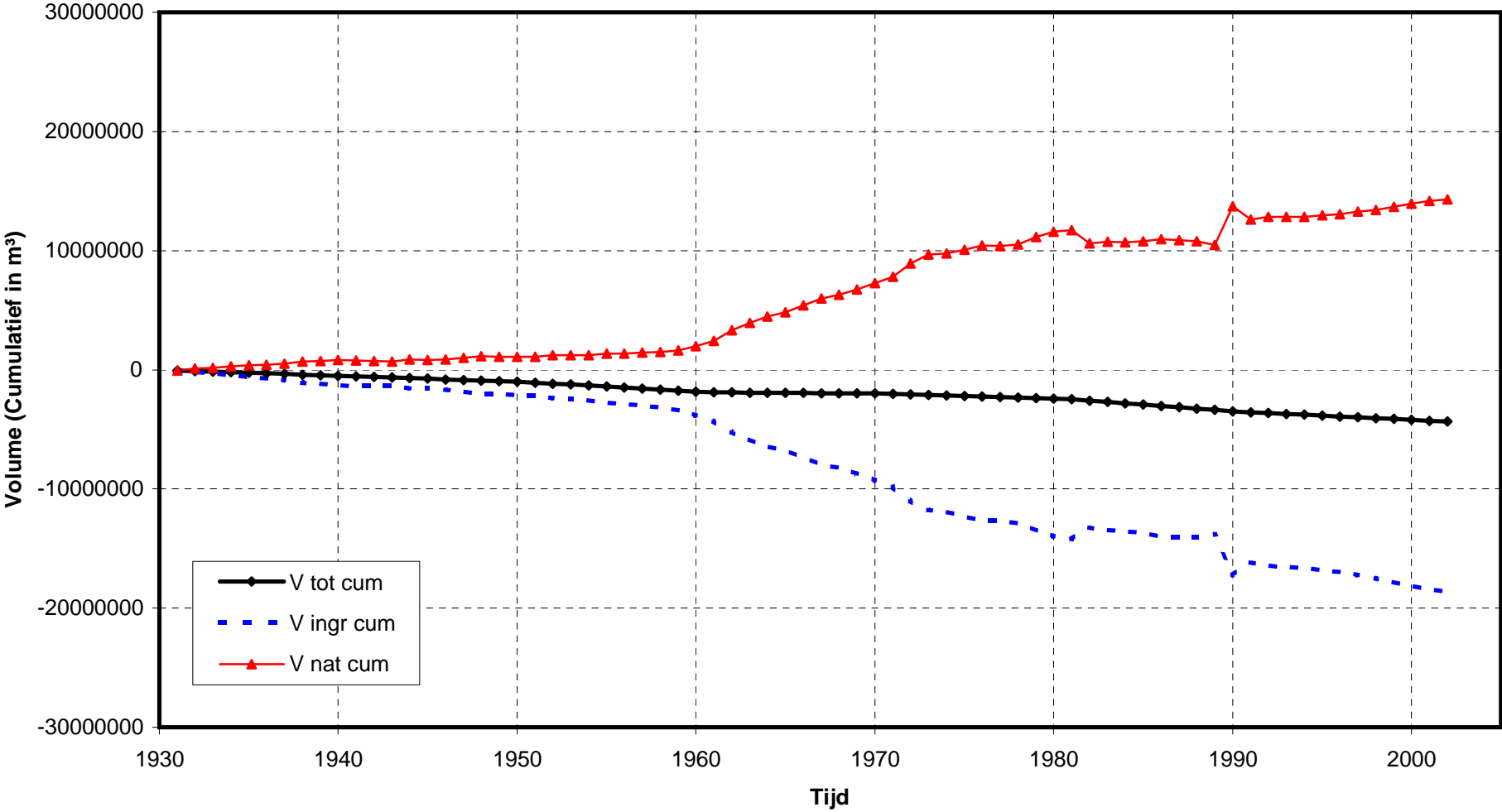
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 5



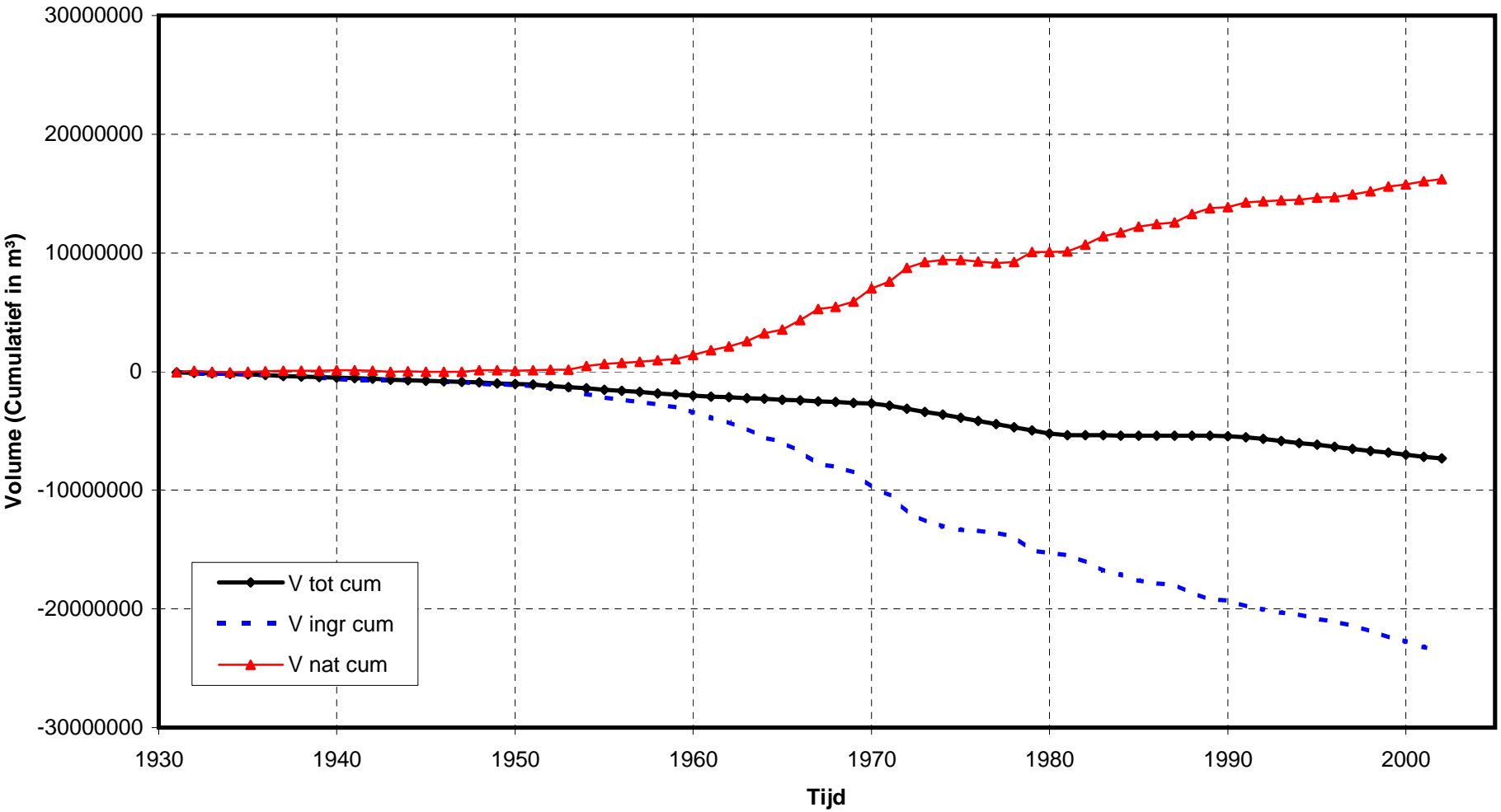
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 6



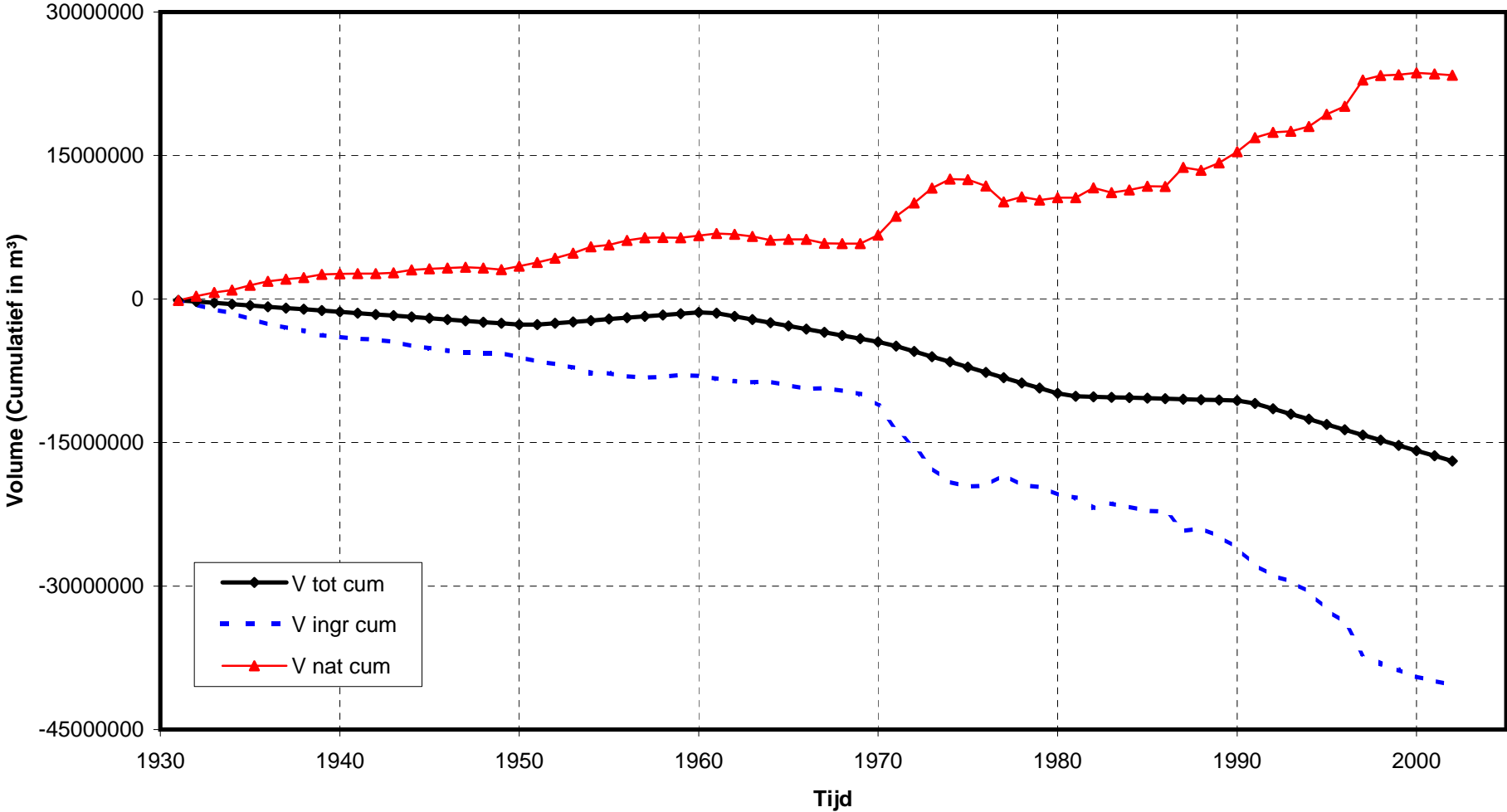
Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 7



Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 8

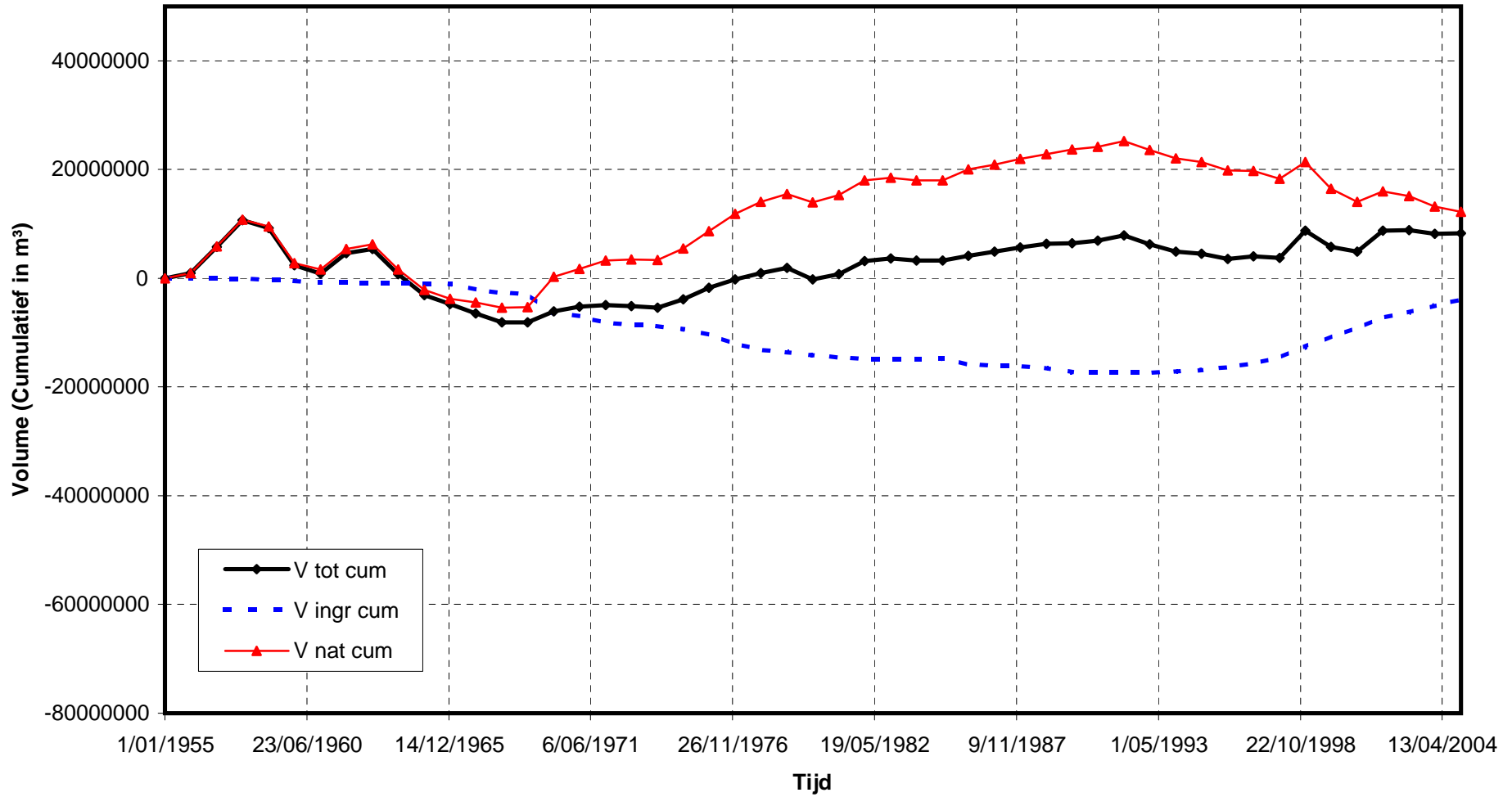


Zeeschelde : Zandbalans 1931 - 2002  
Cumulatieve gegevens : Vak 9

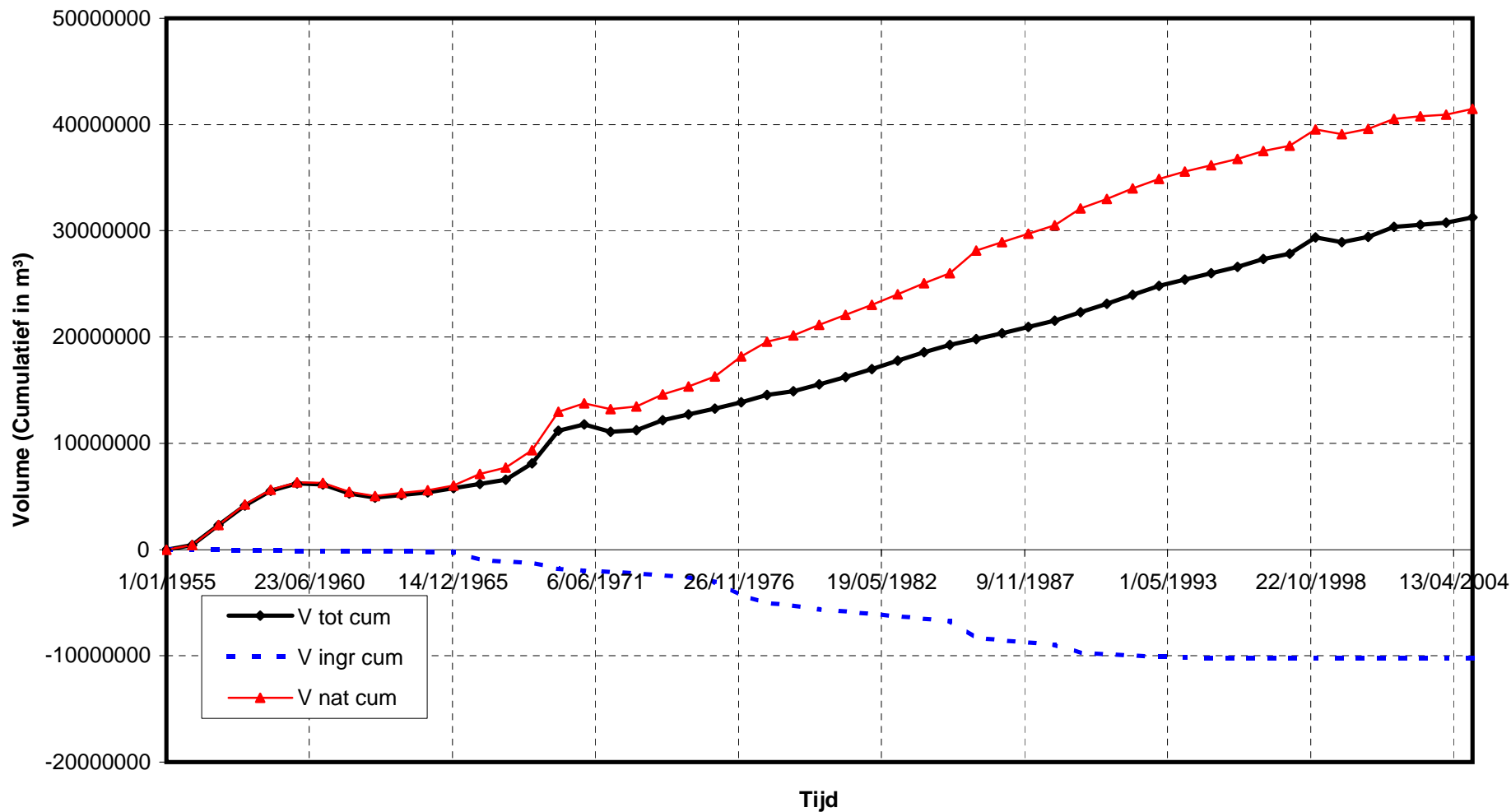




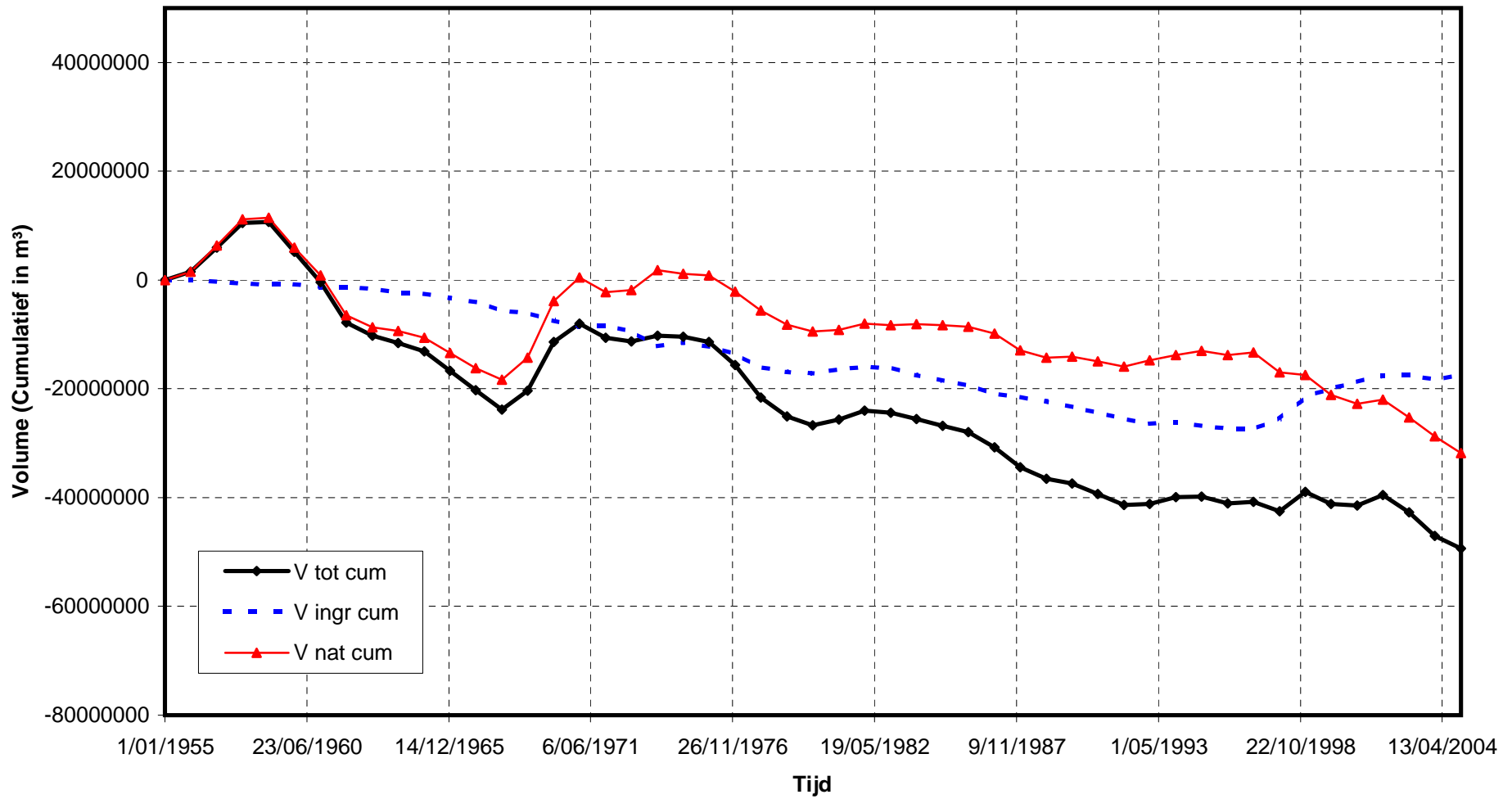
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 1+2



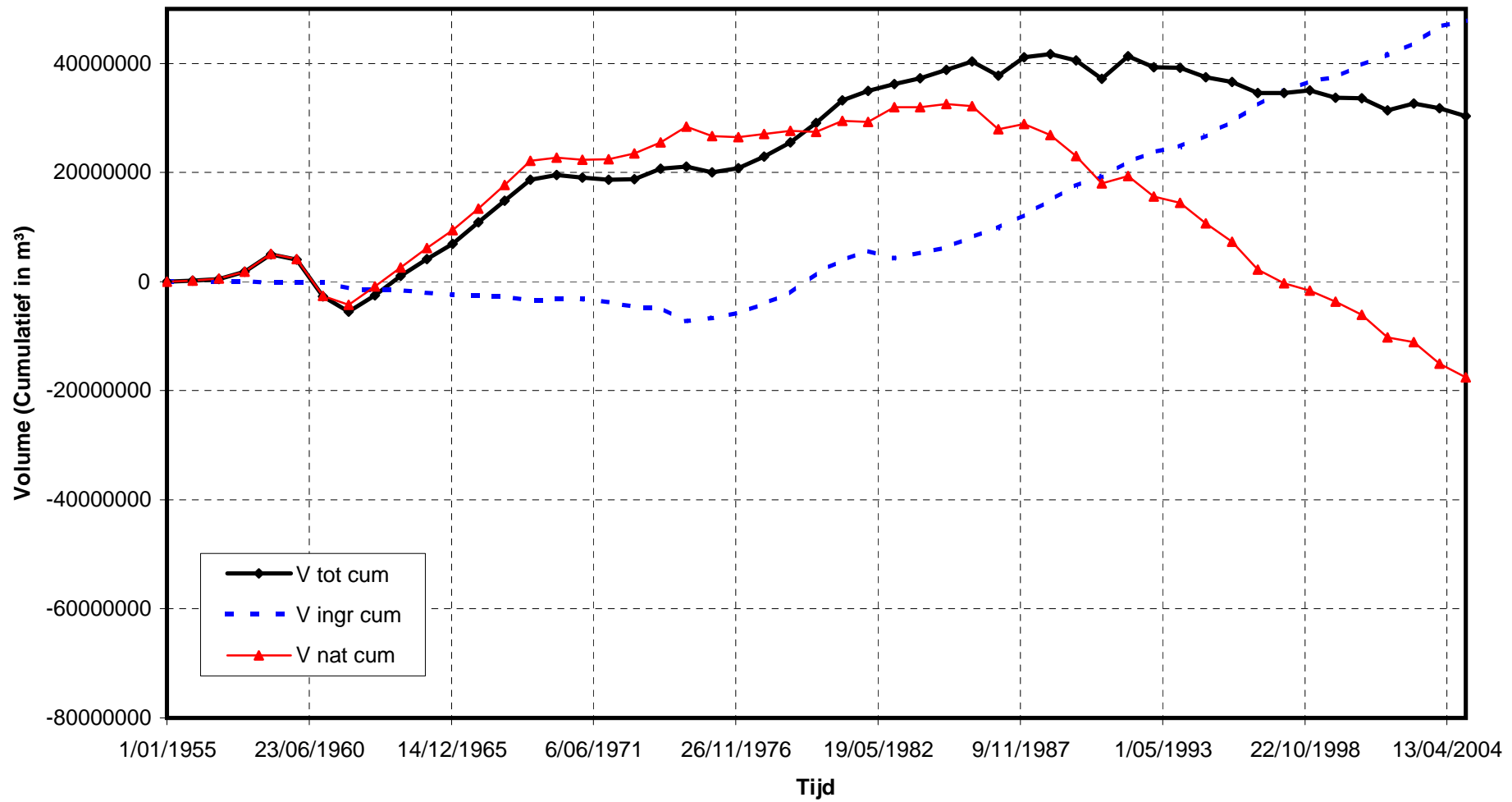
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Mesocel 2



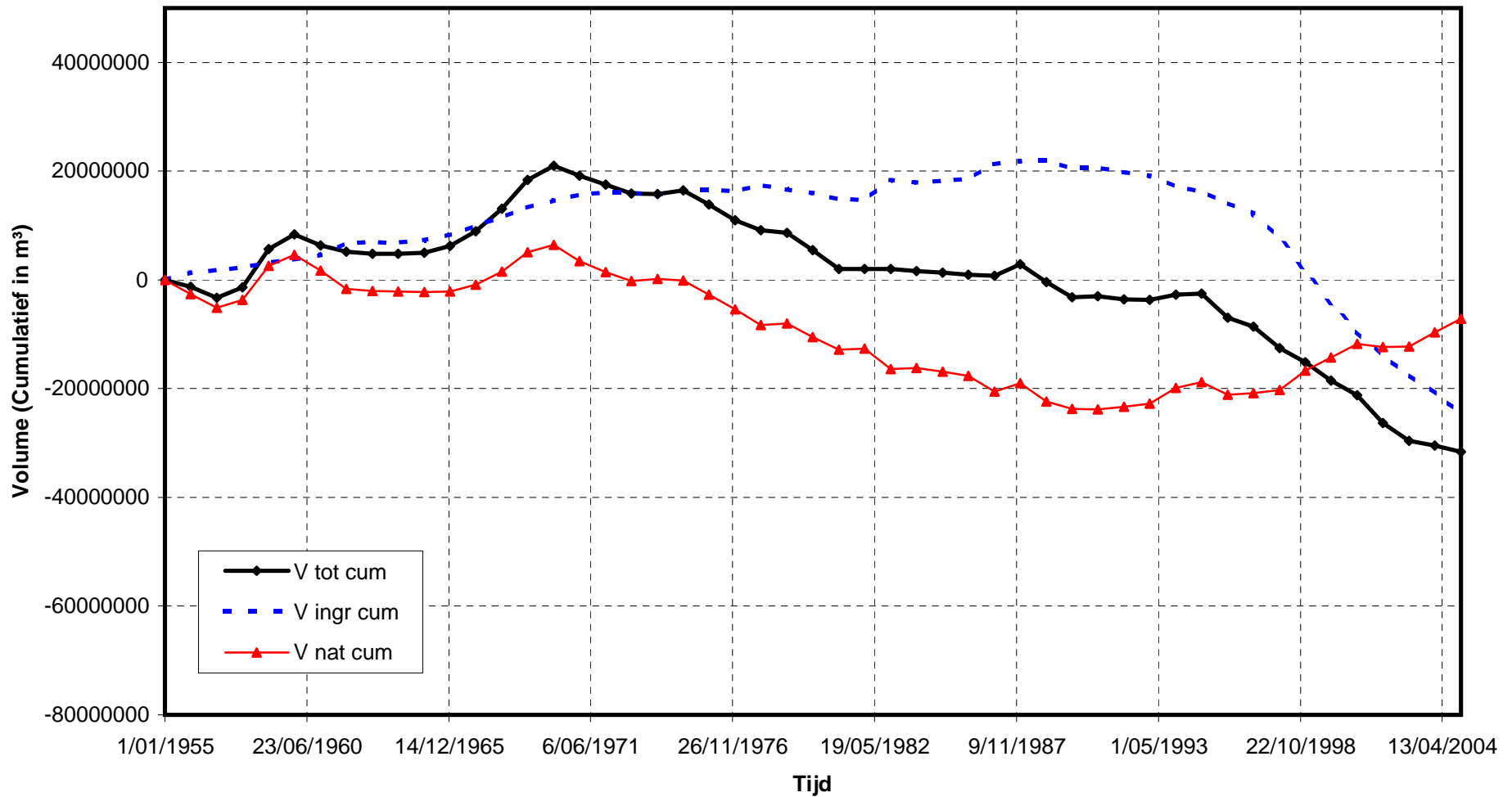
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 3



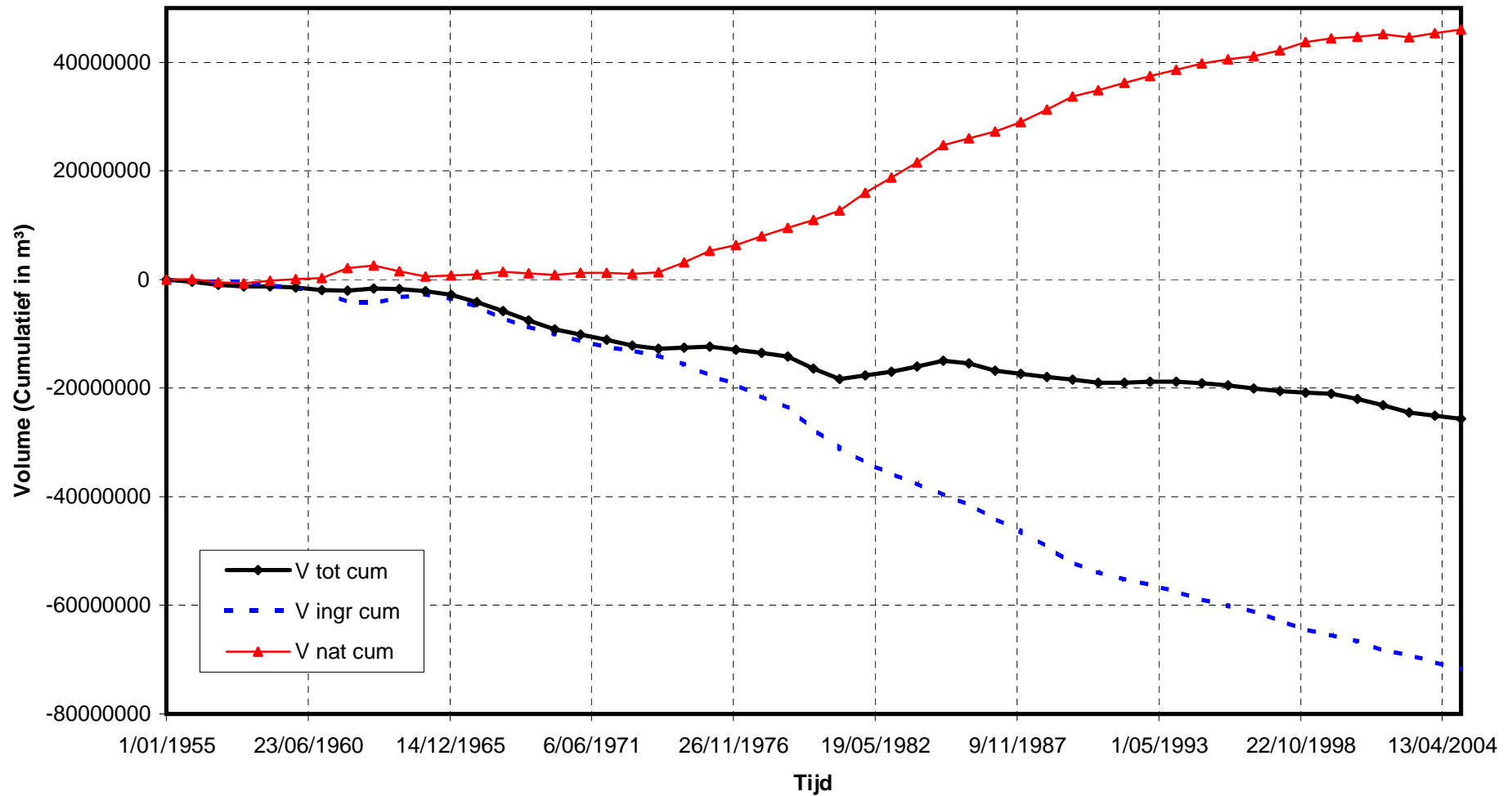
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 4



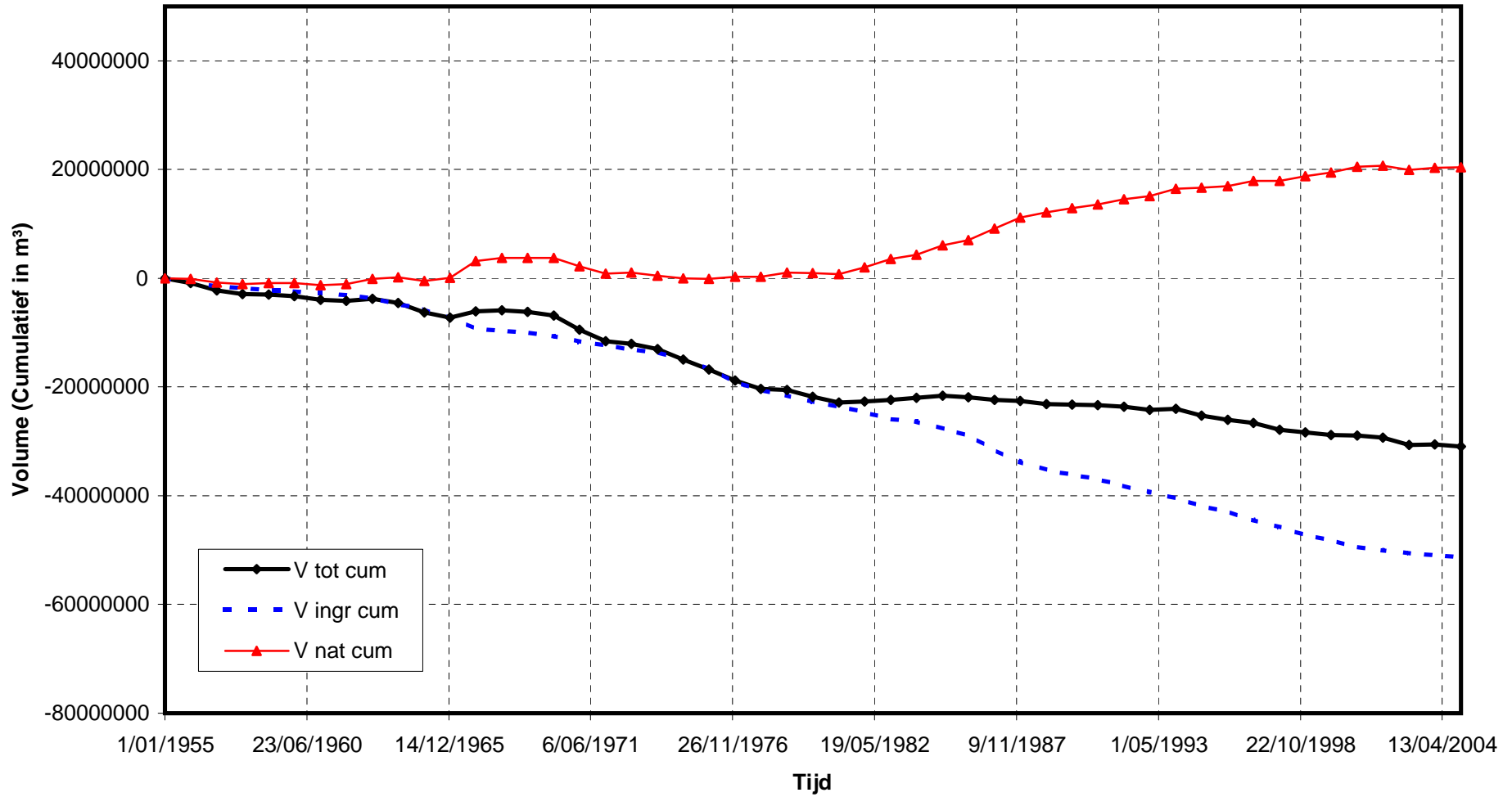
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 5



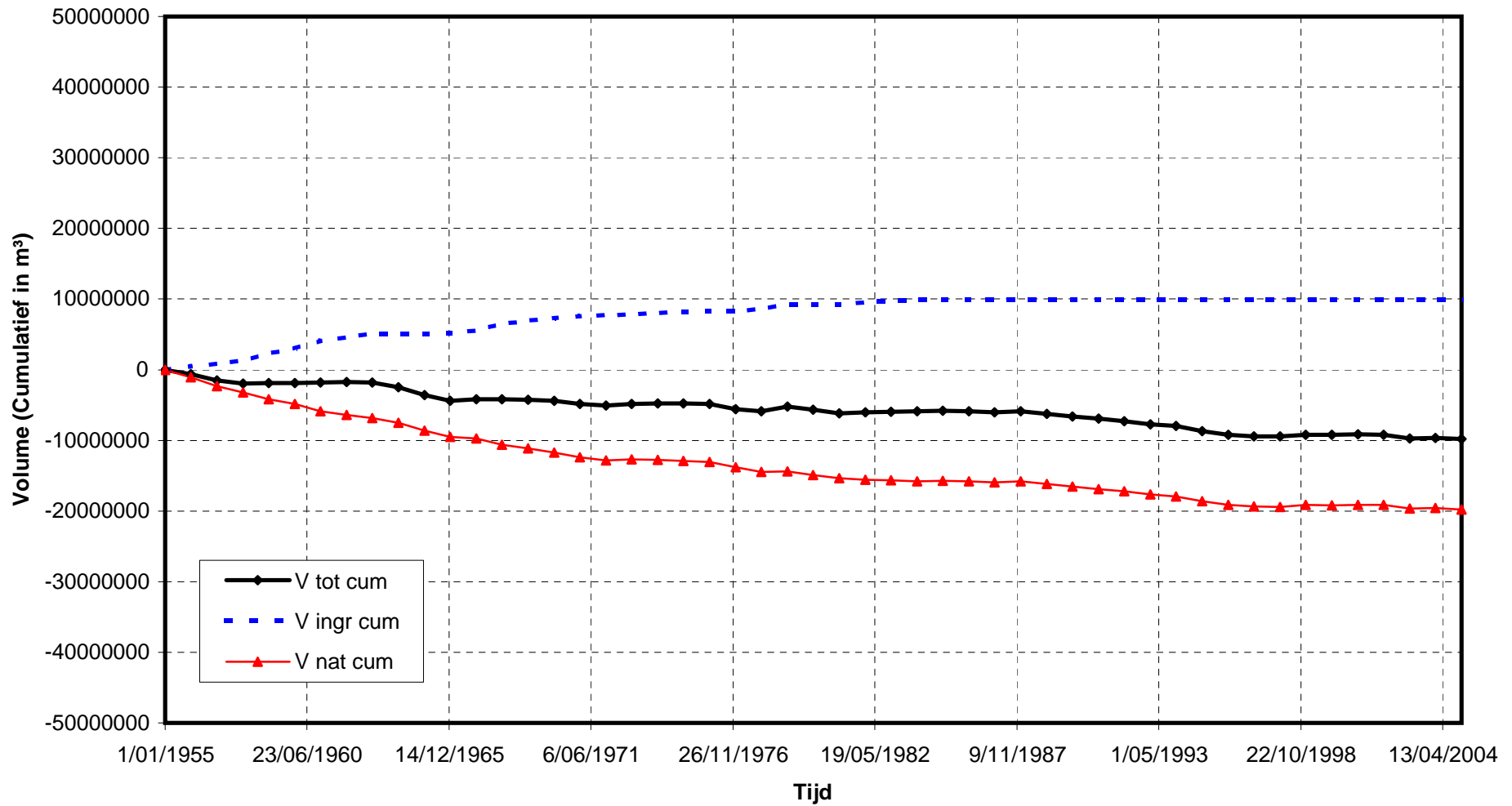
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 6



Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : Macrocel 7

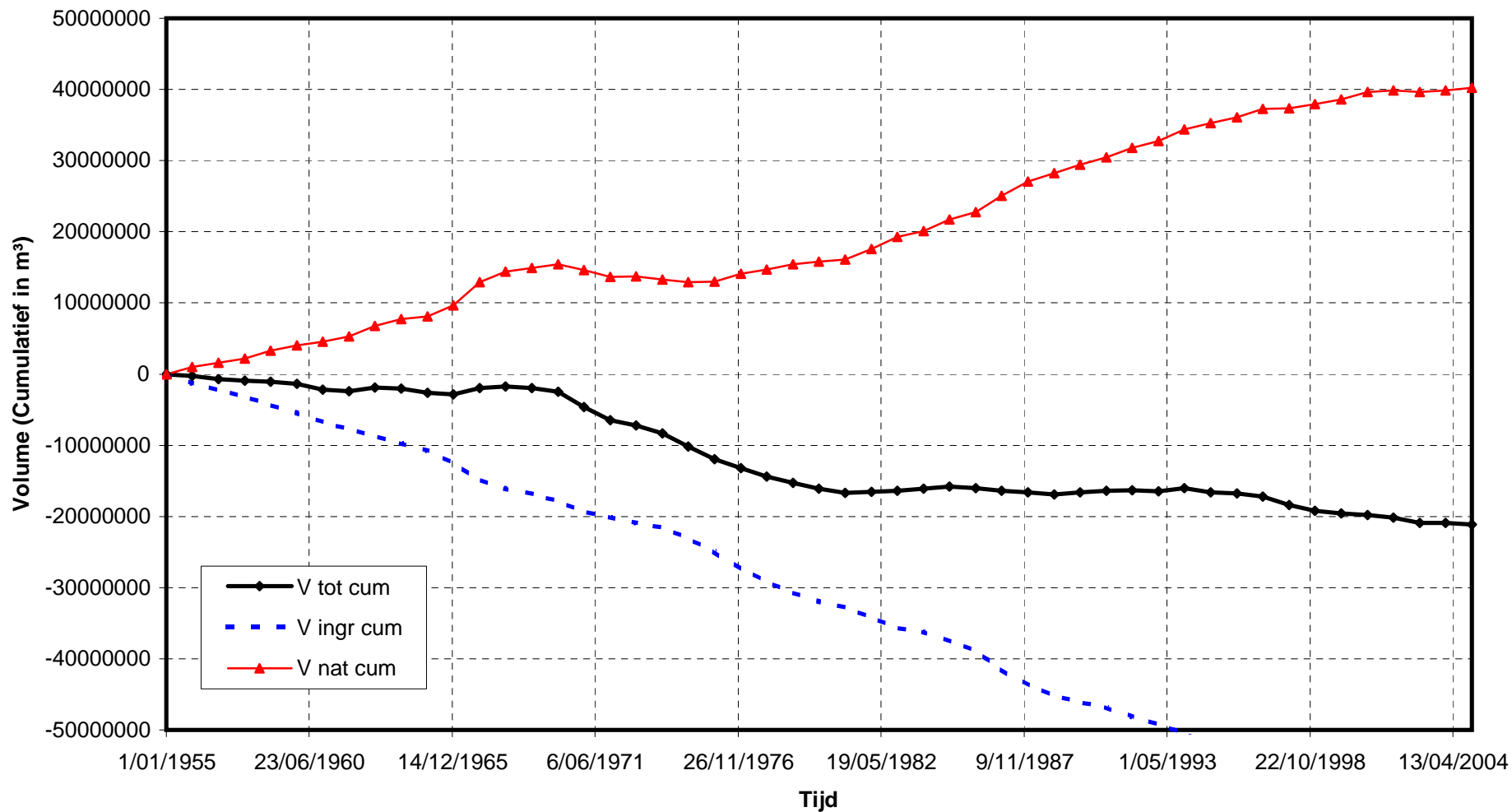


Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 101

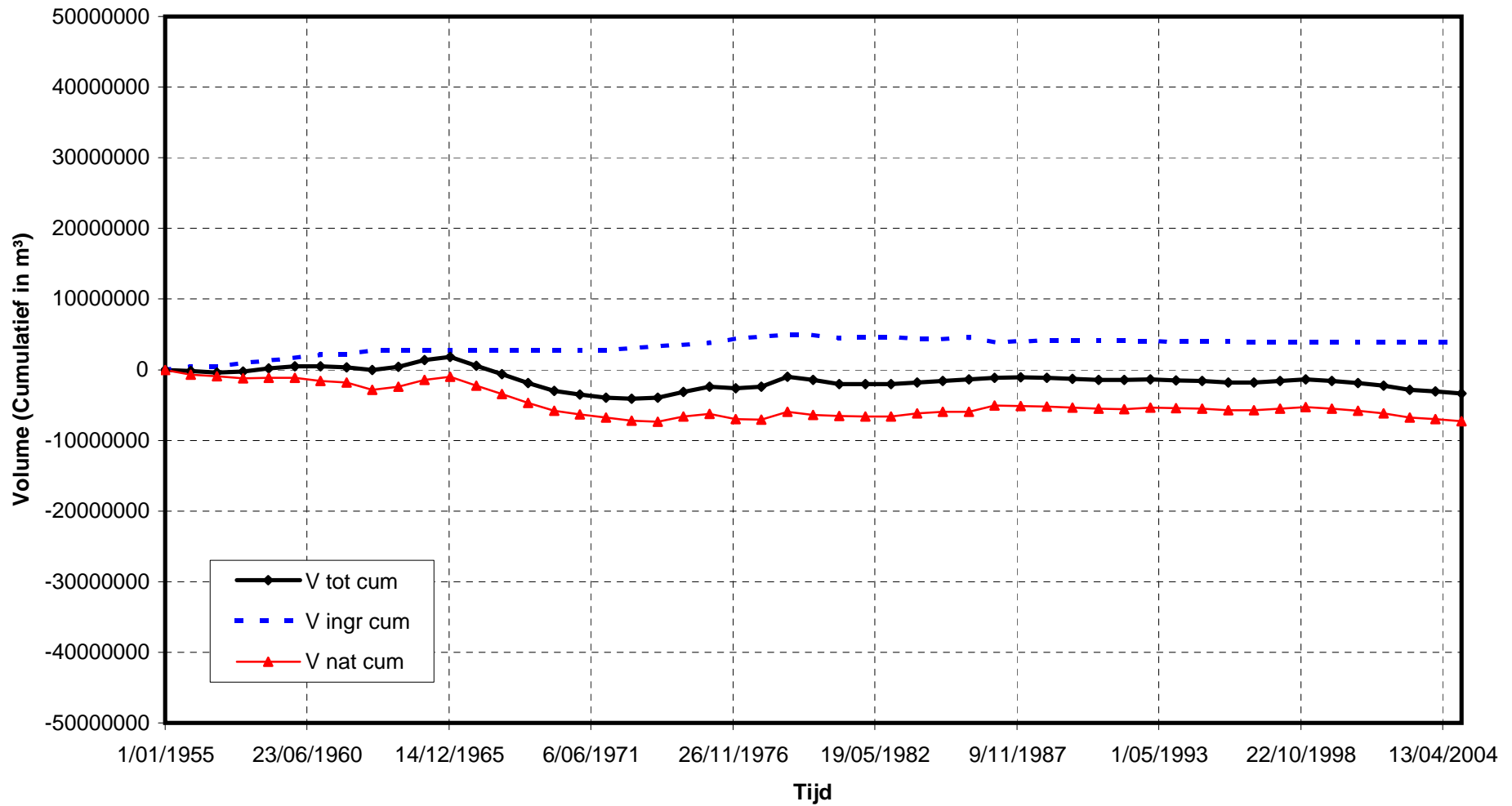




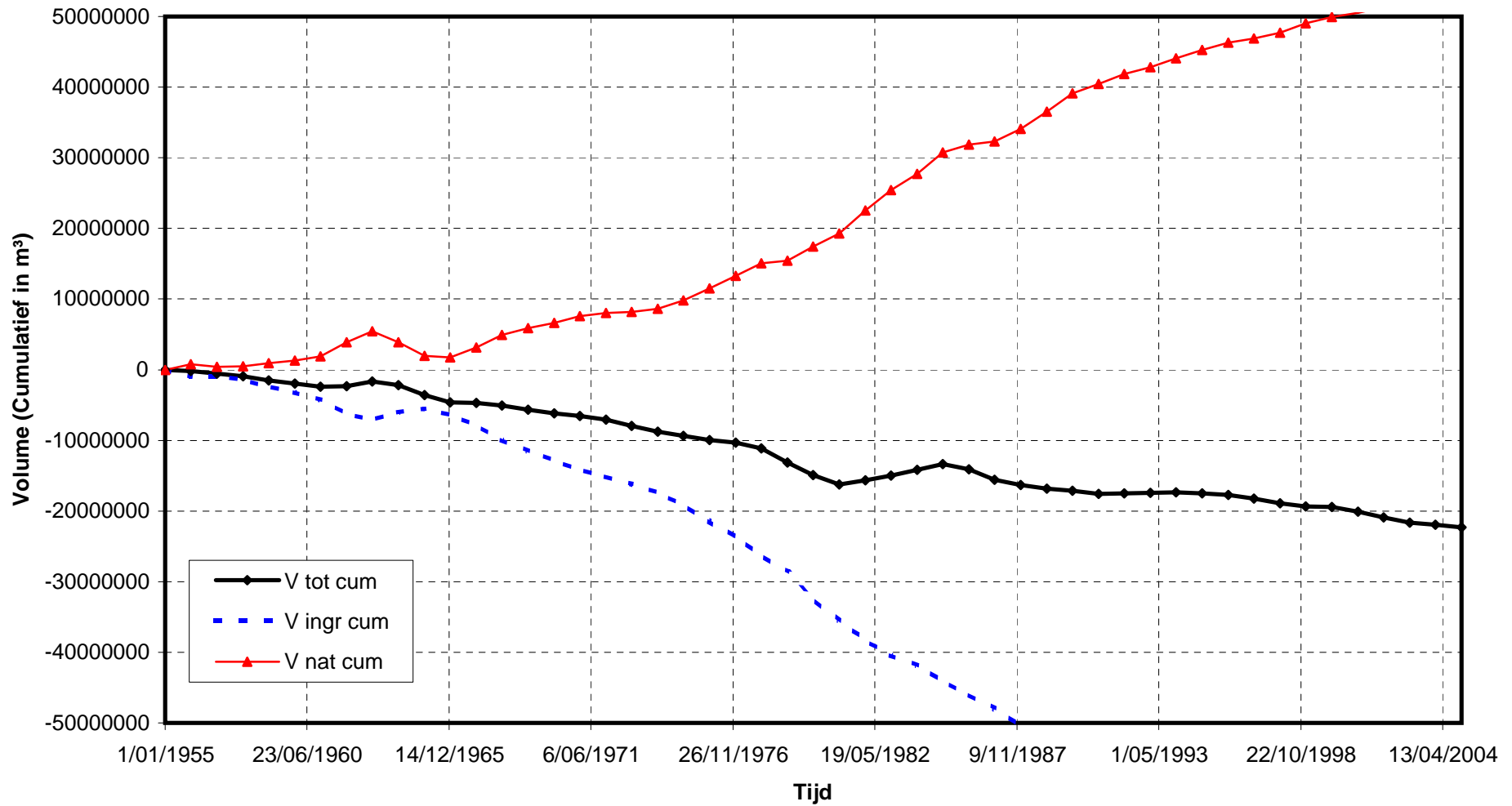
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 102



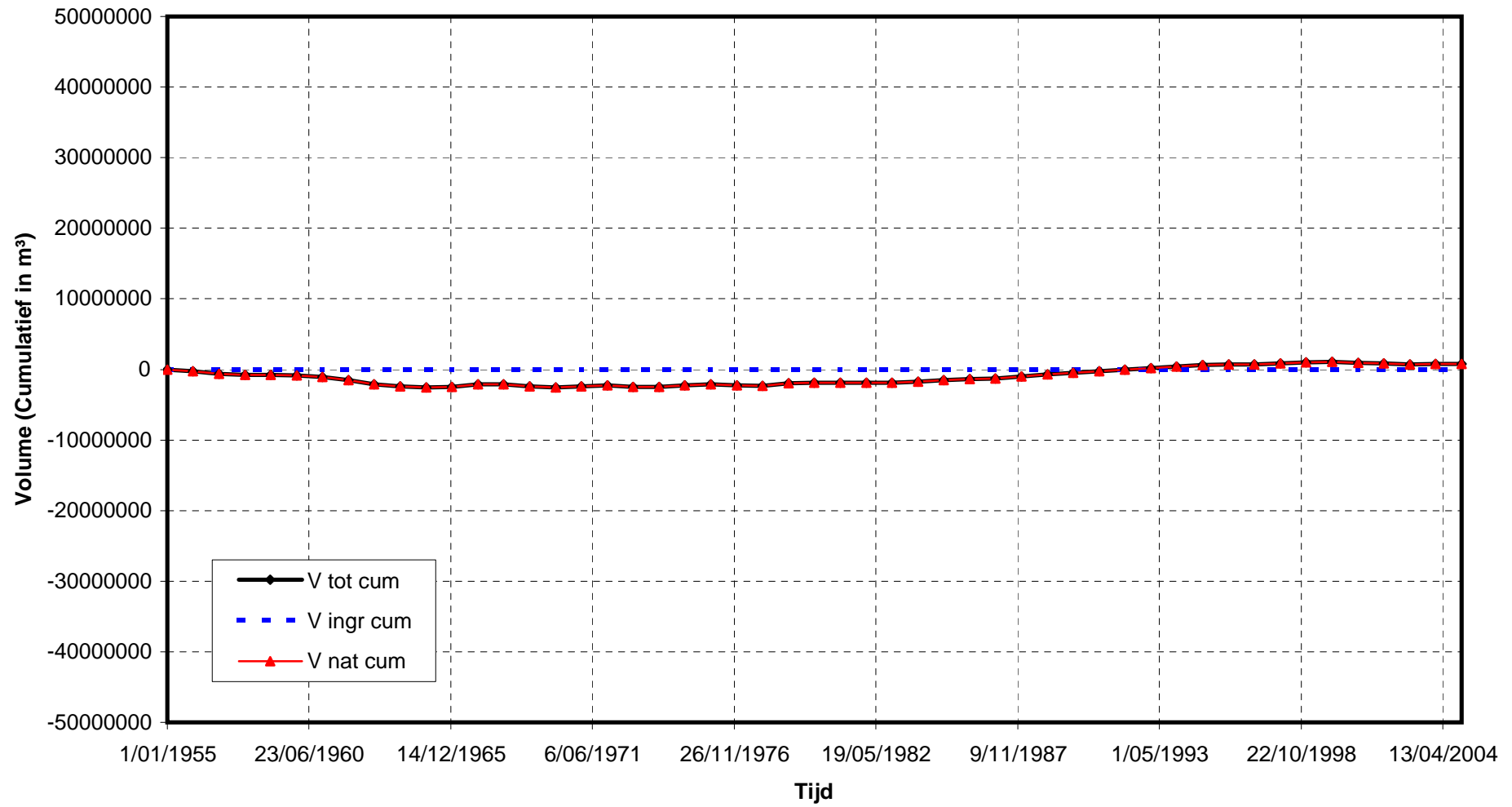
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 103



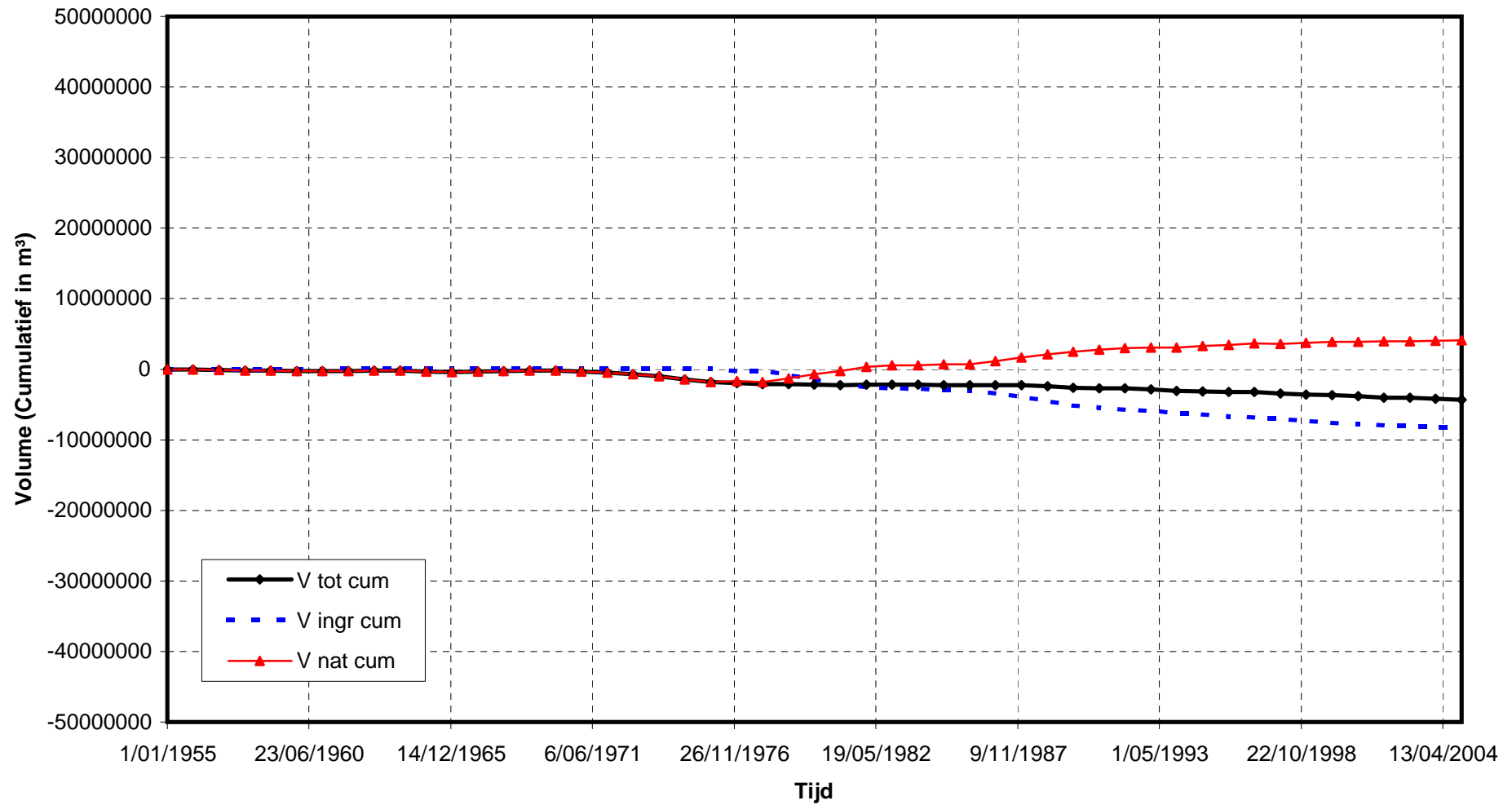
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 104



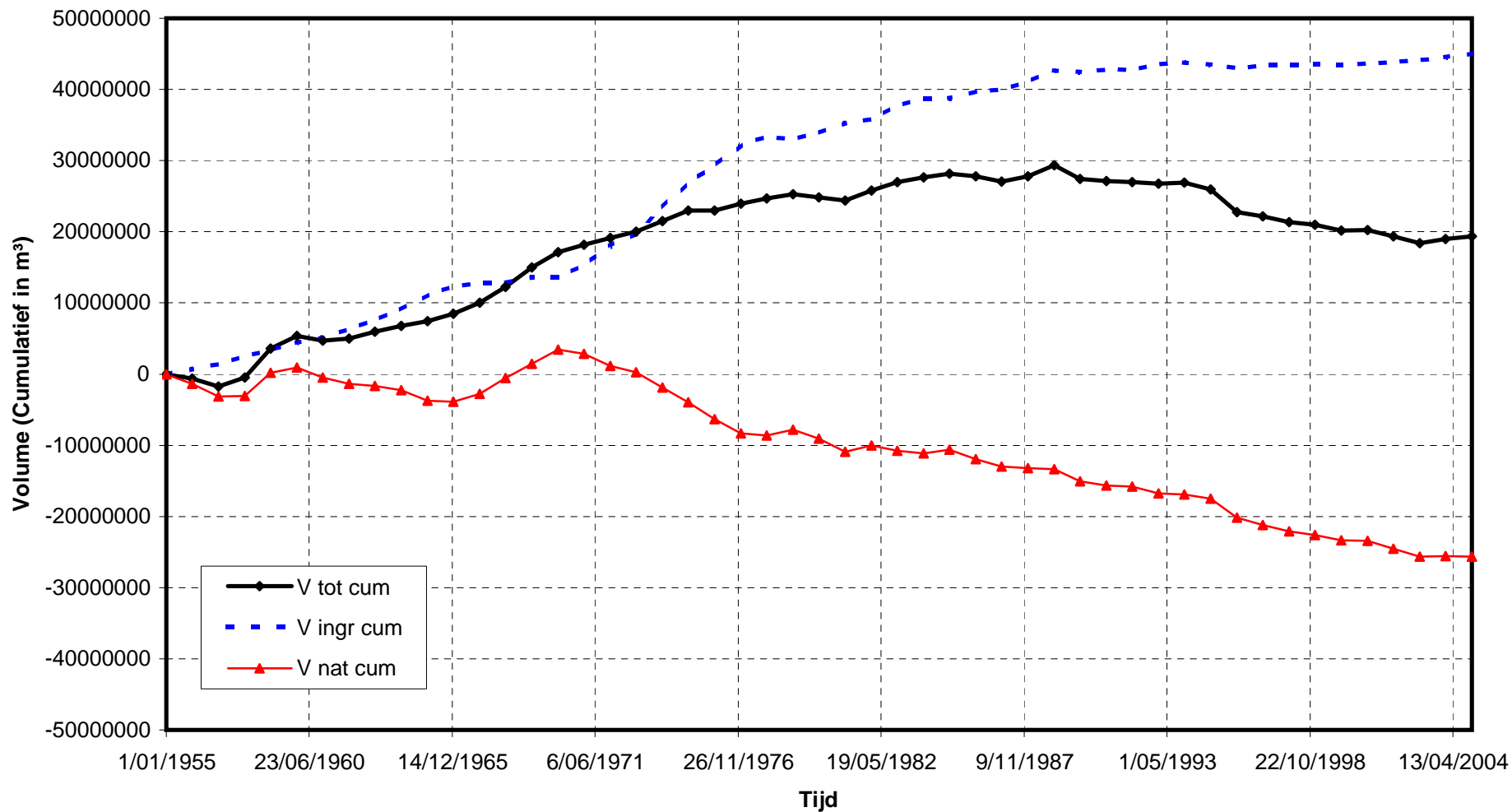
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 105



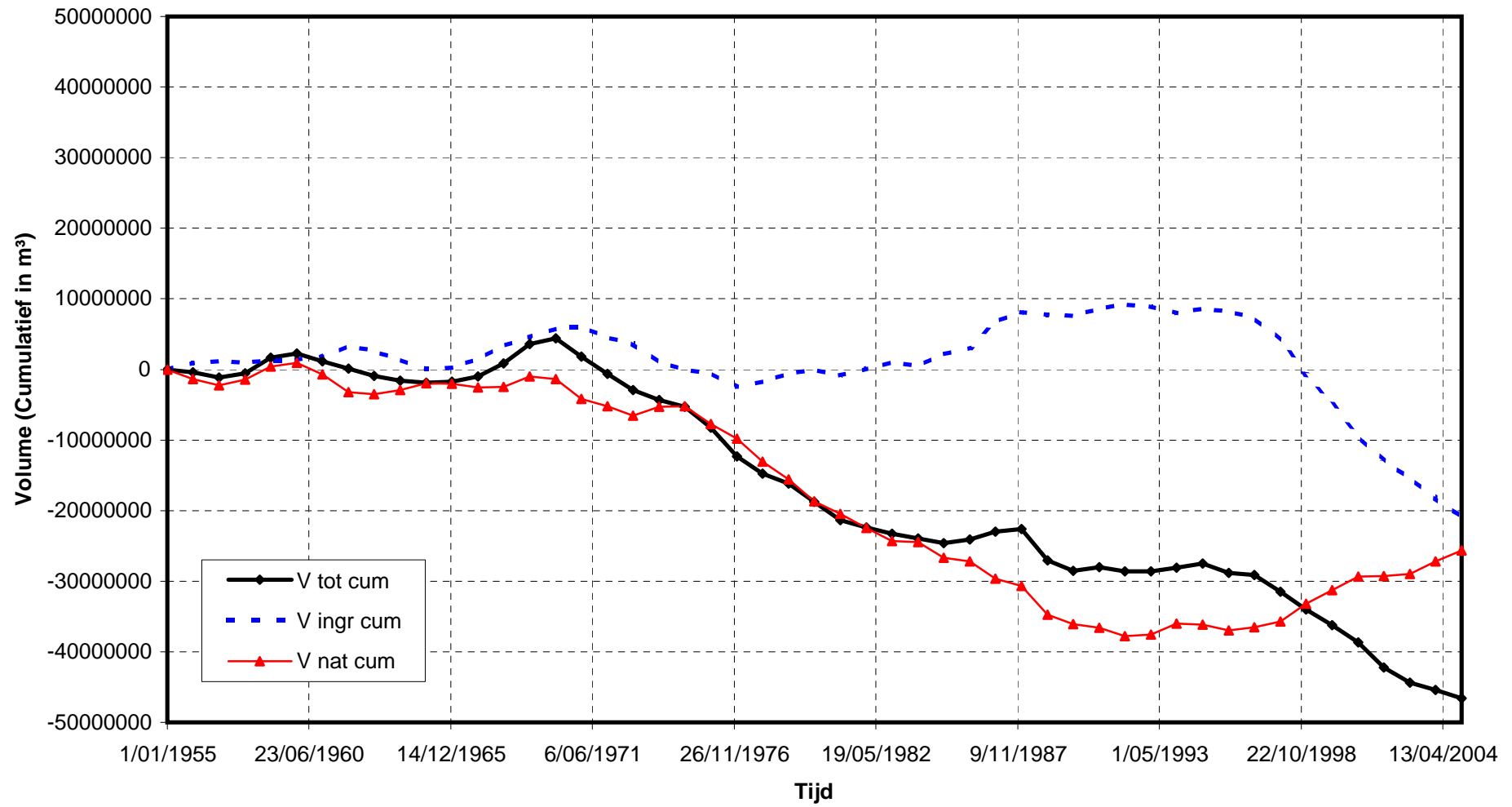
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 106



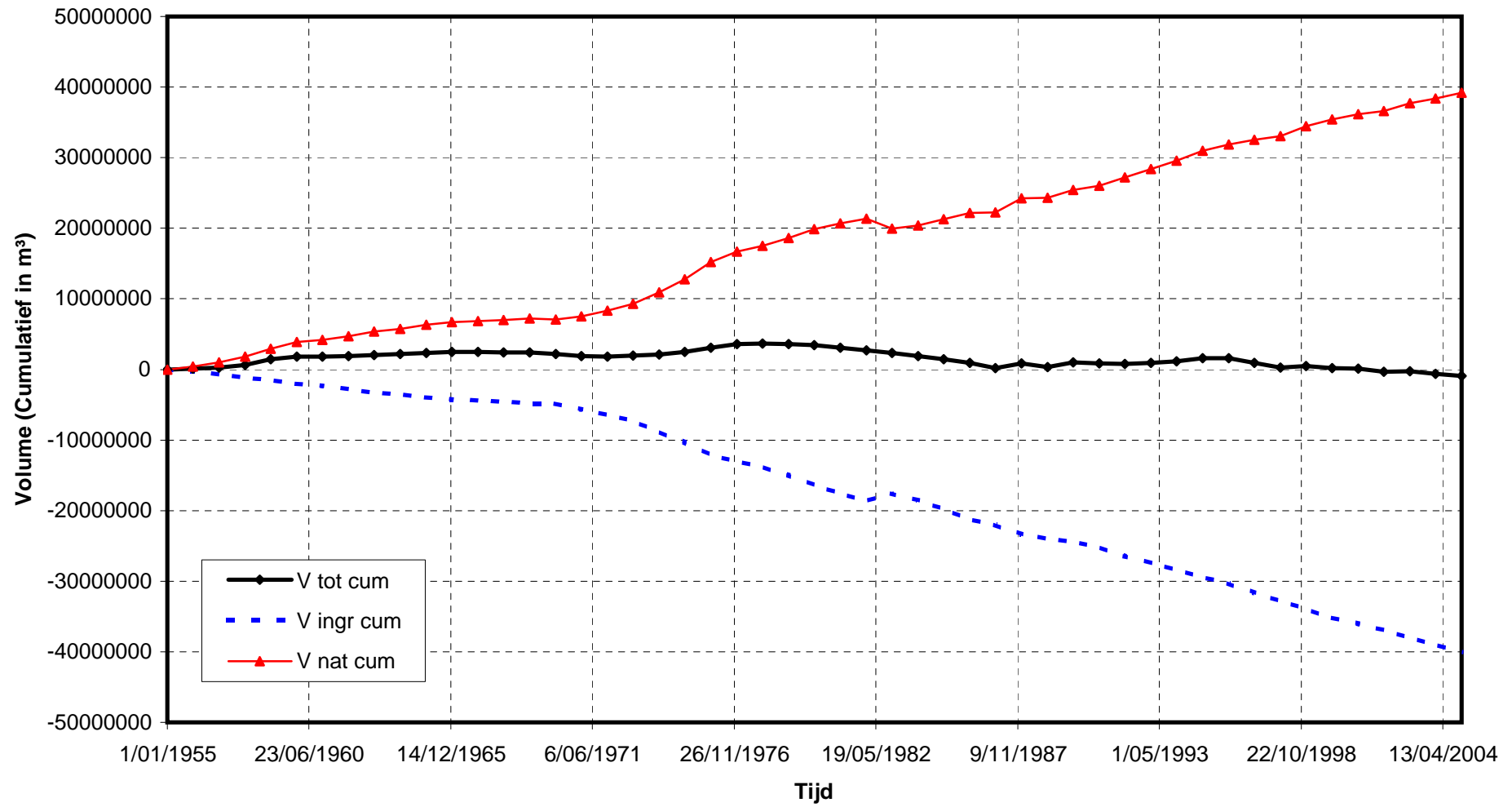
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 207



Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 208

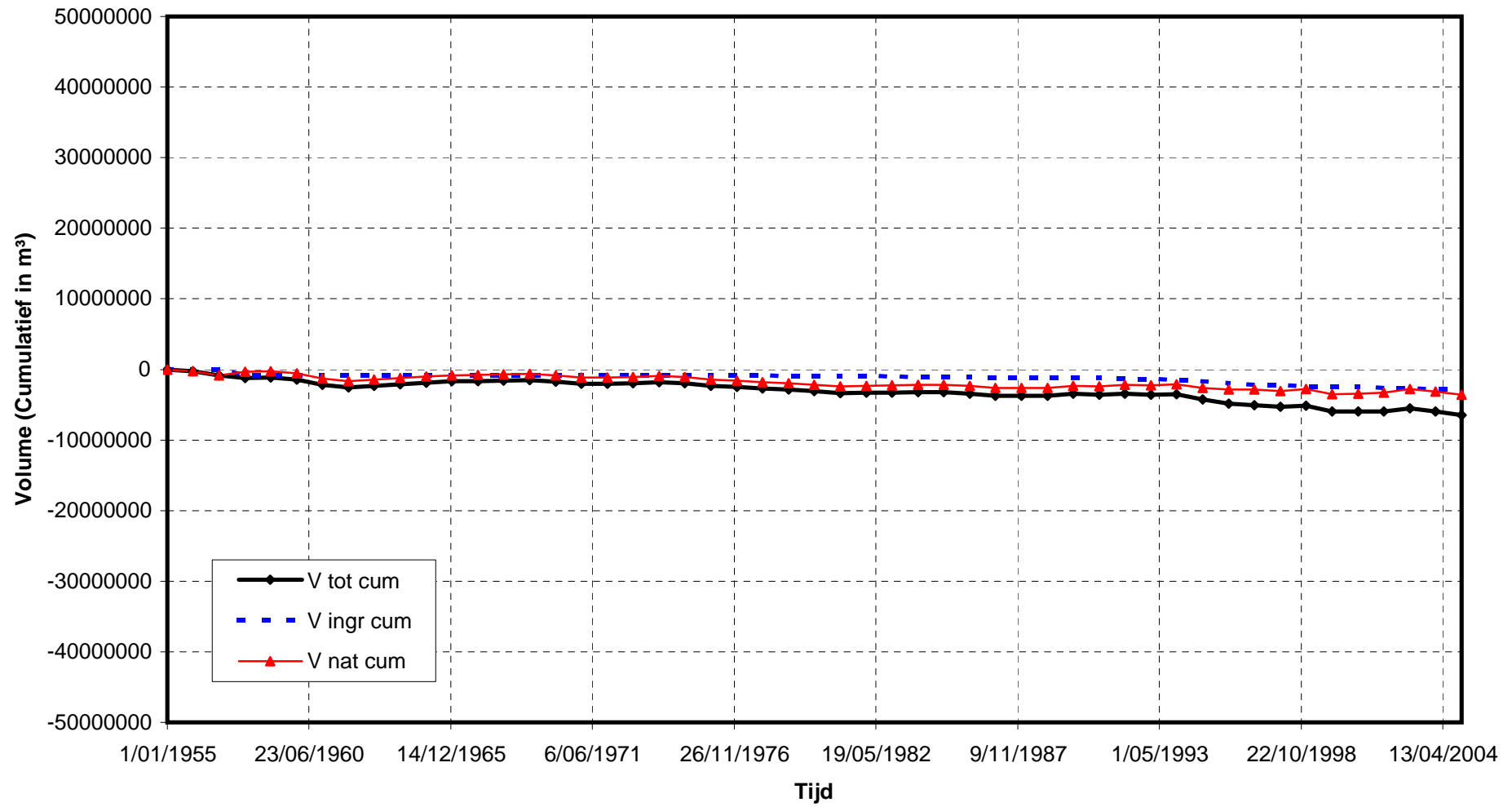


Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 309

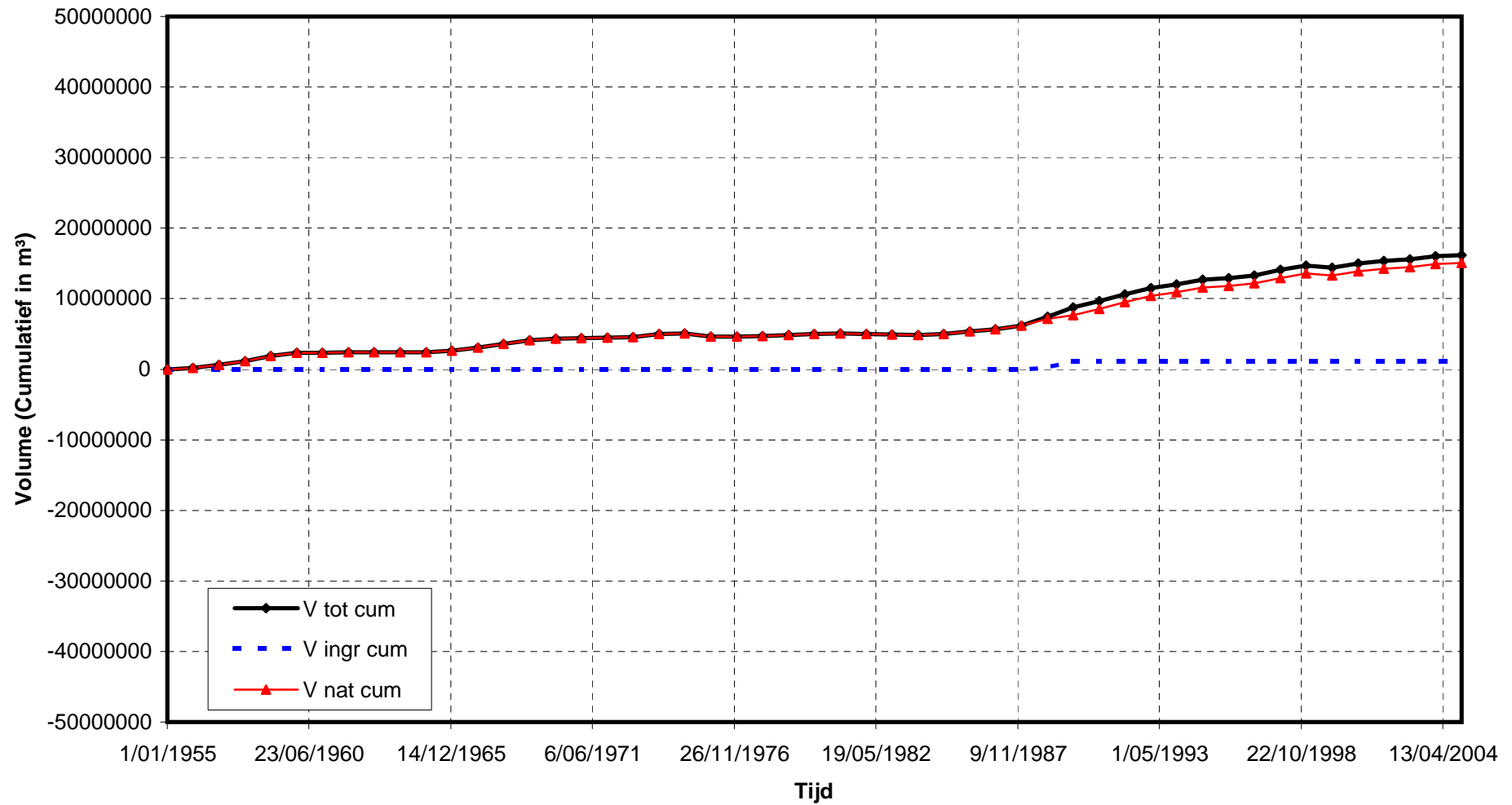




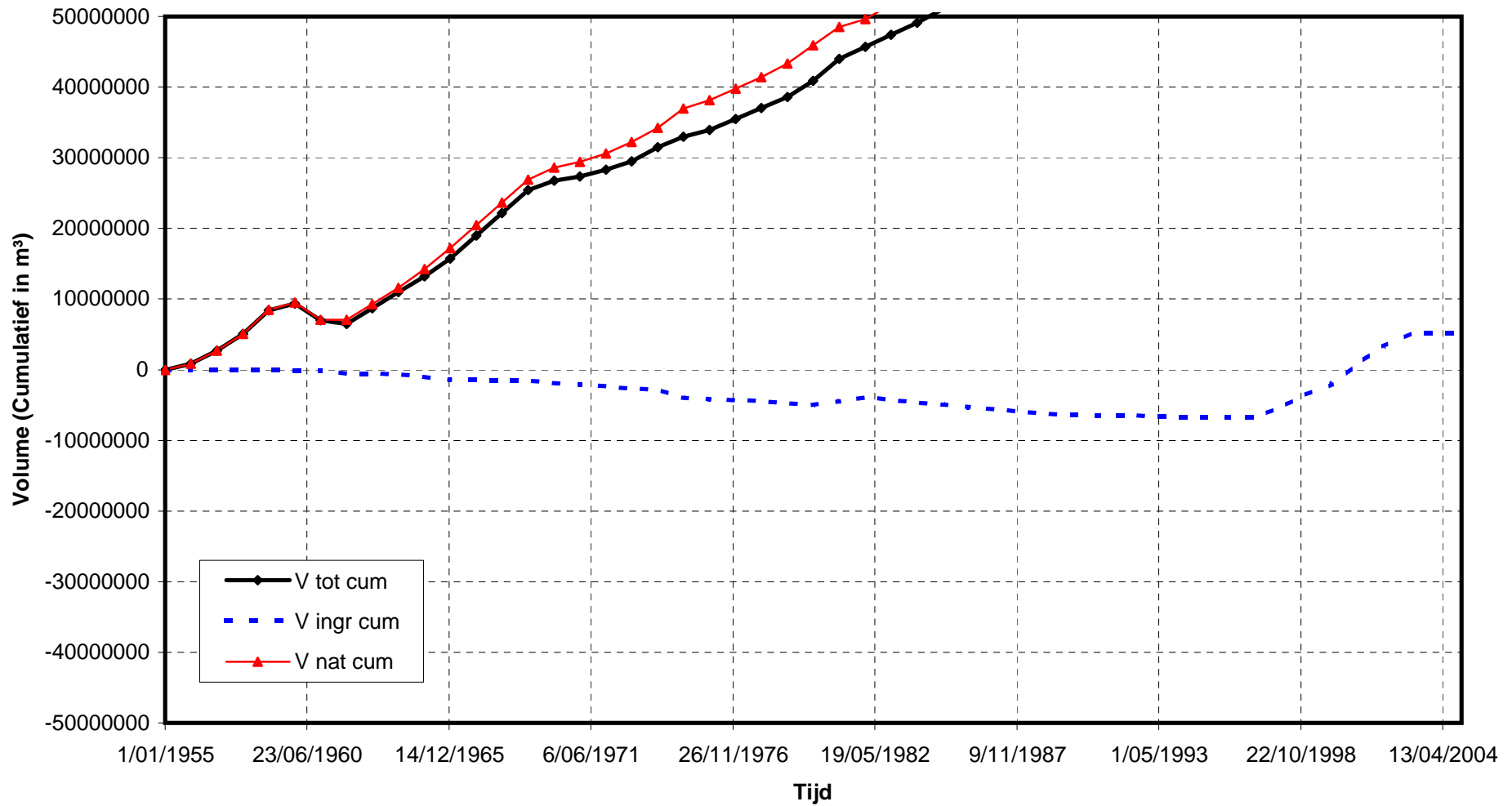
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 310



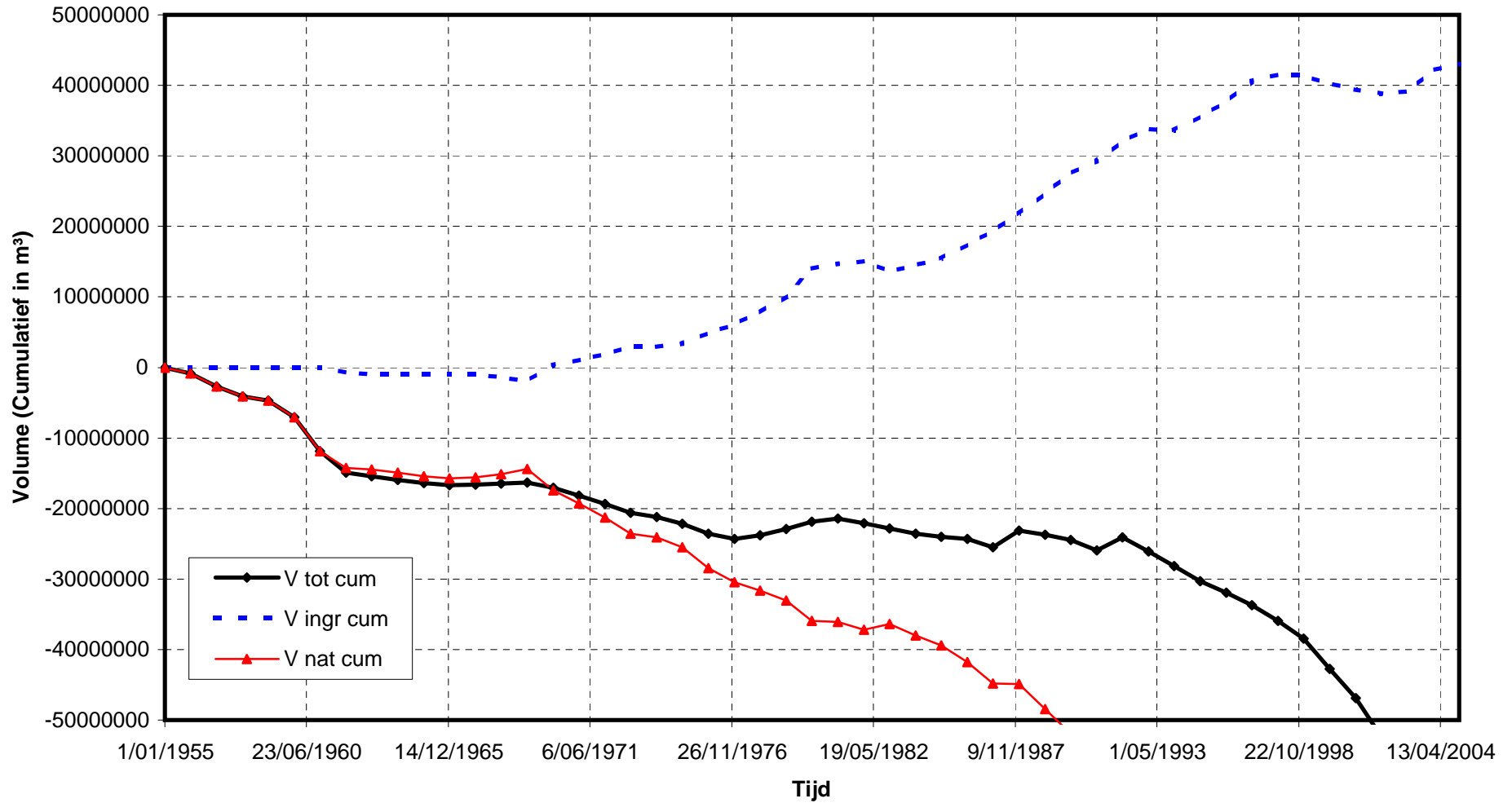
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 311



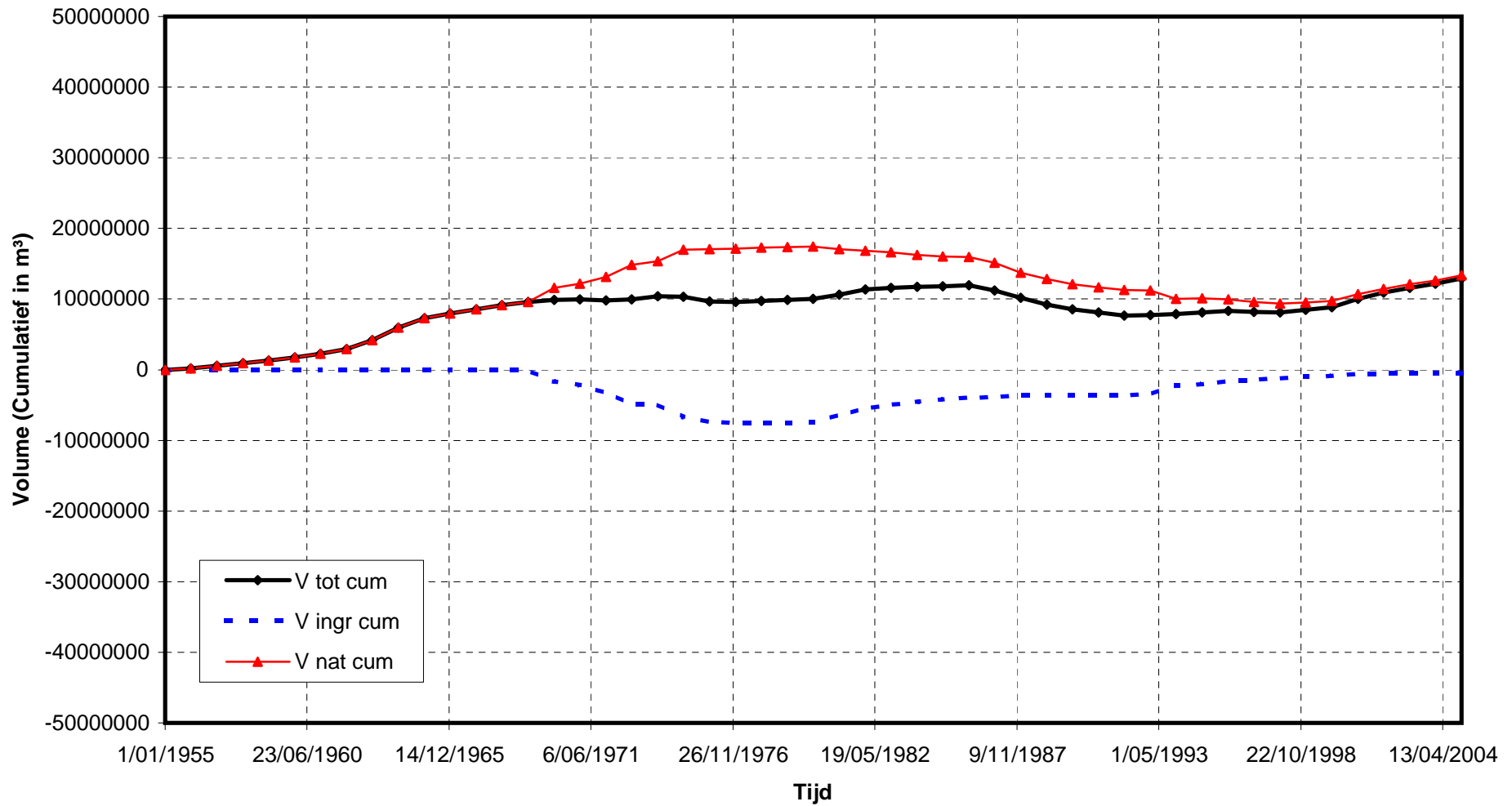
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 312



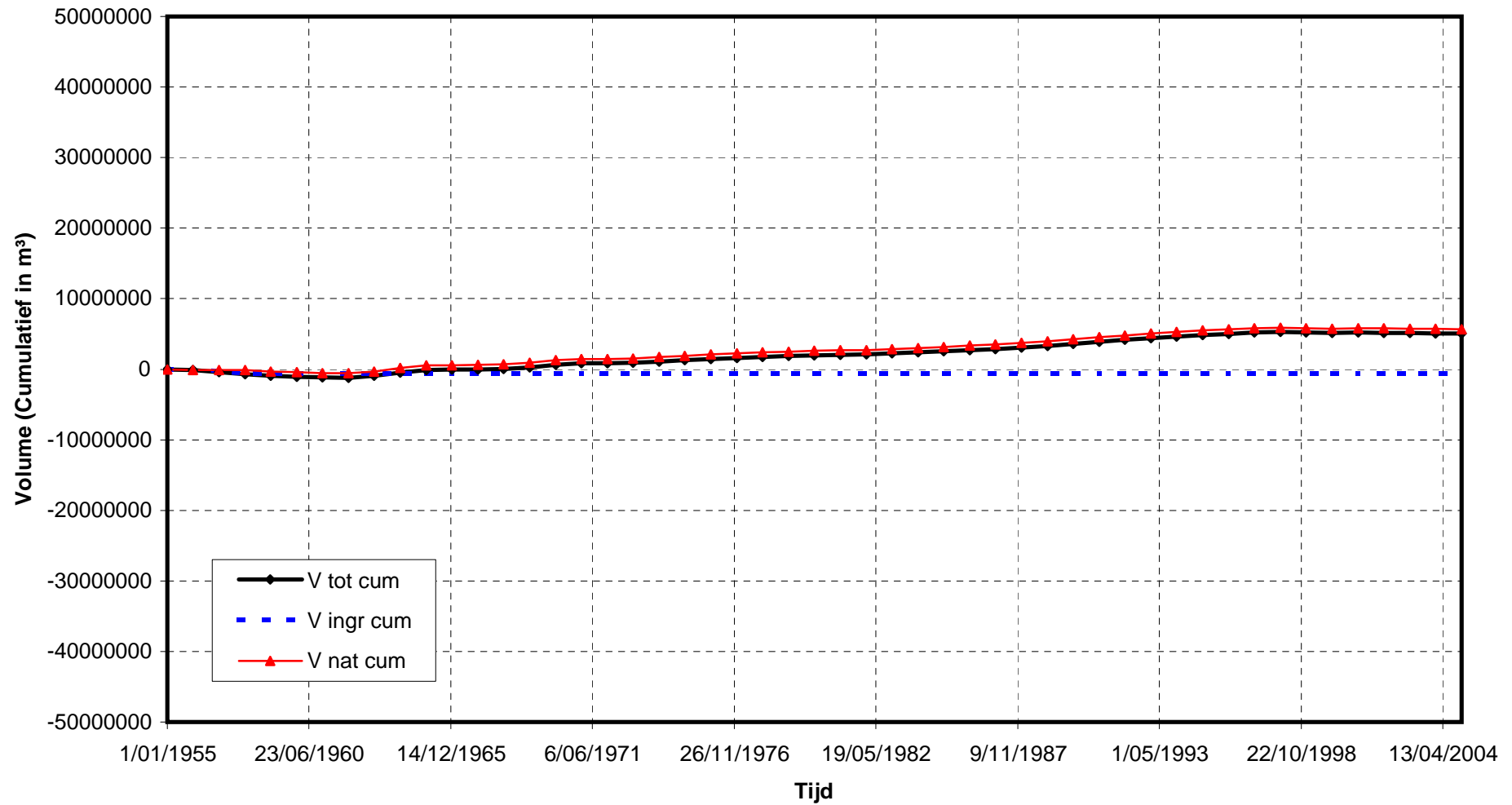
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 313



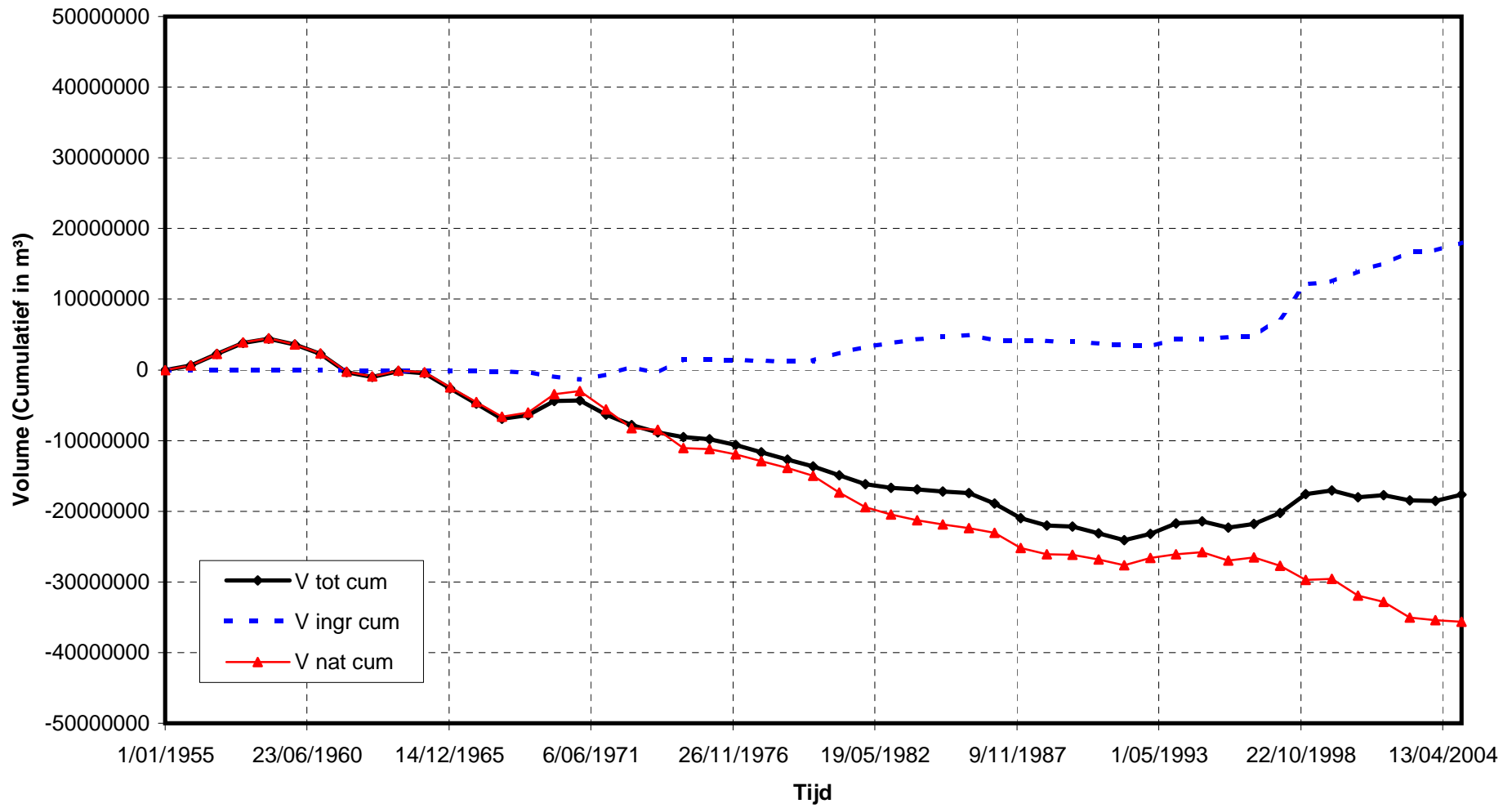
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 414



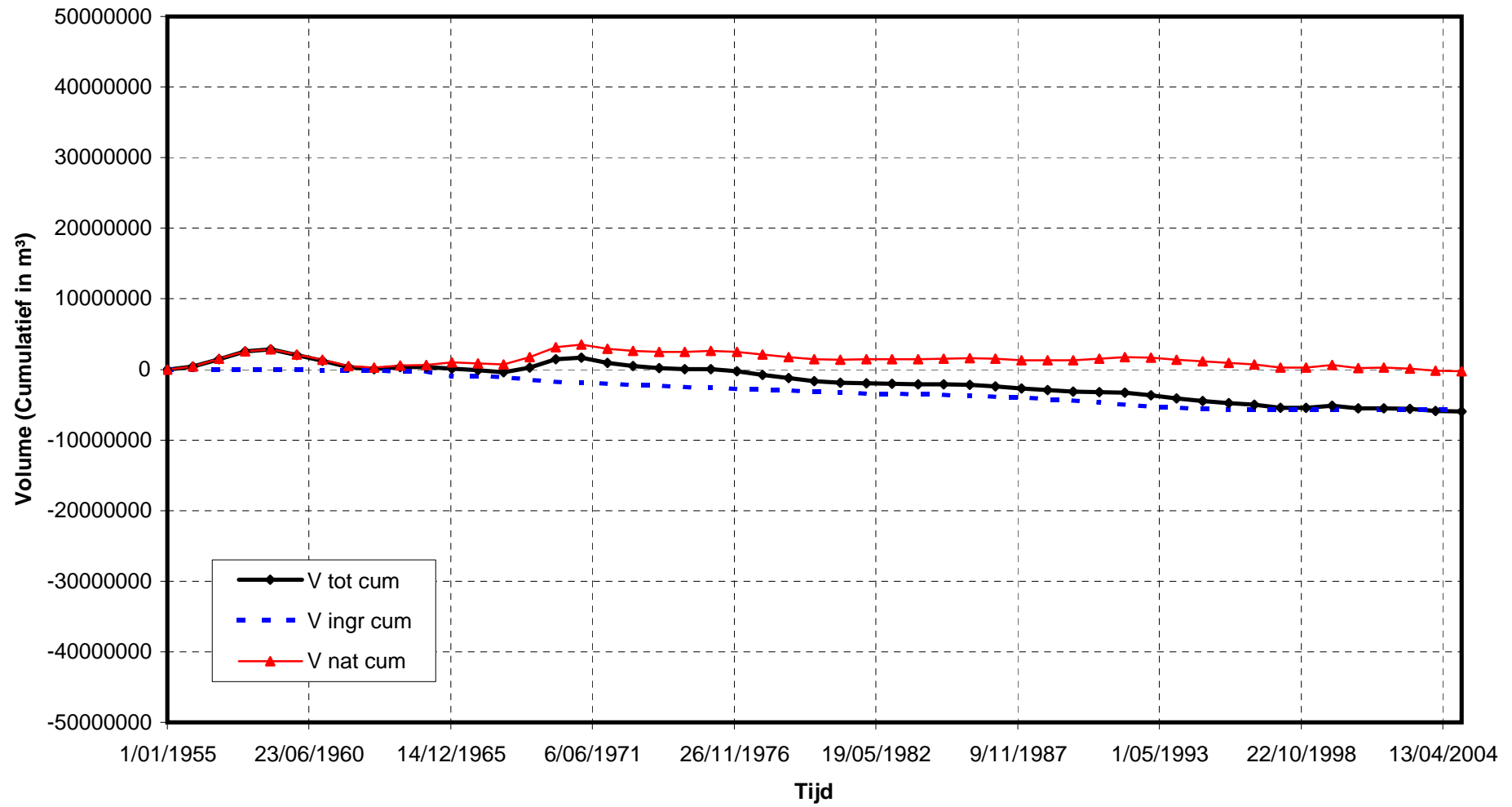
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 415



Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 416

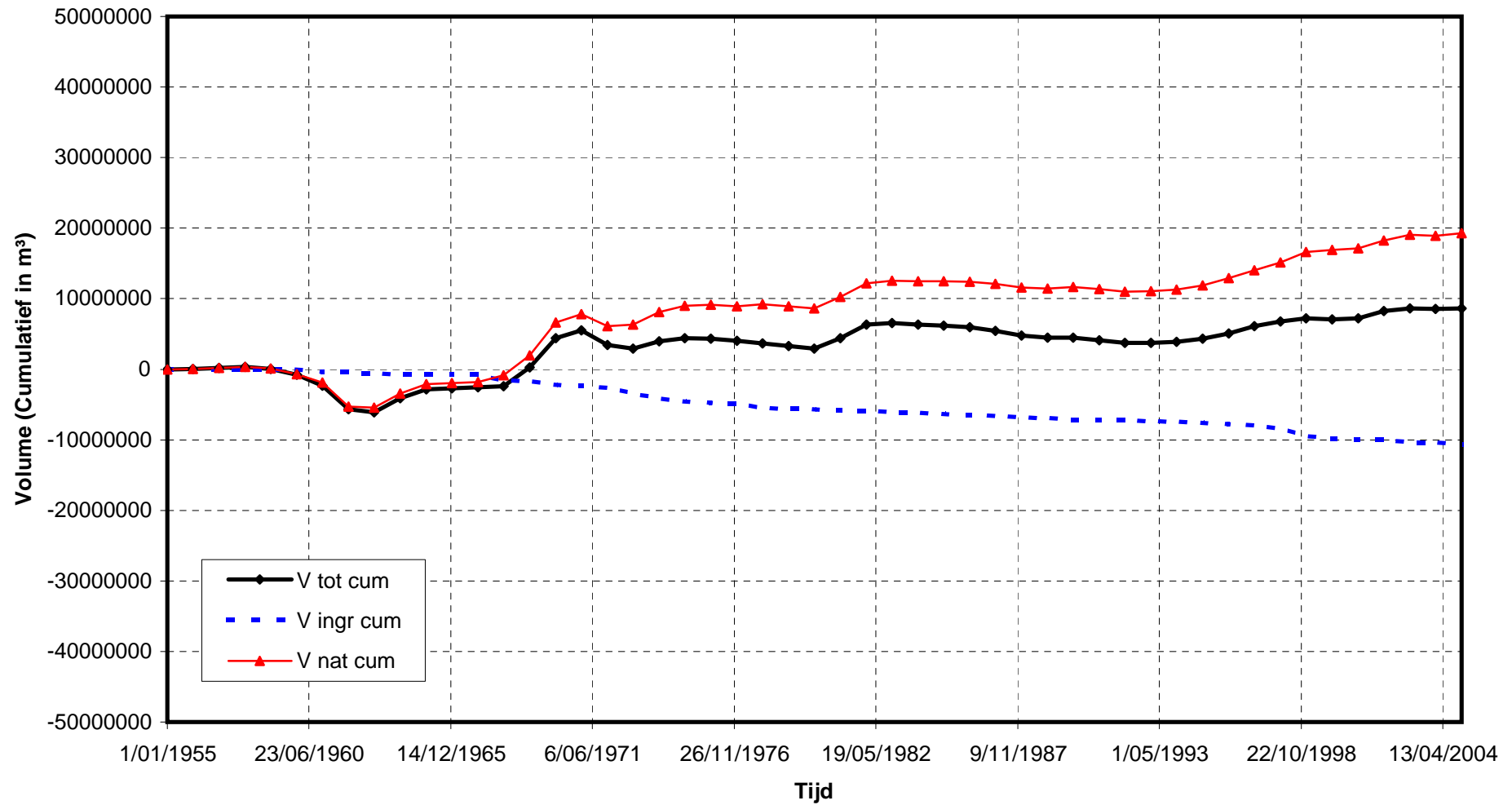


Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 417

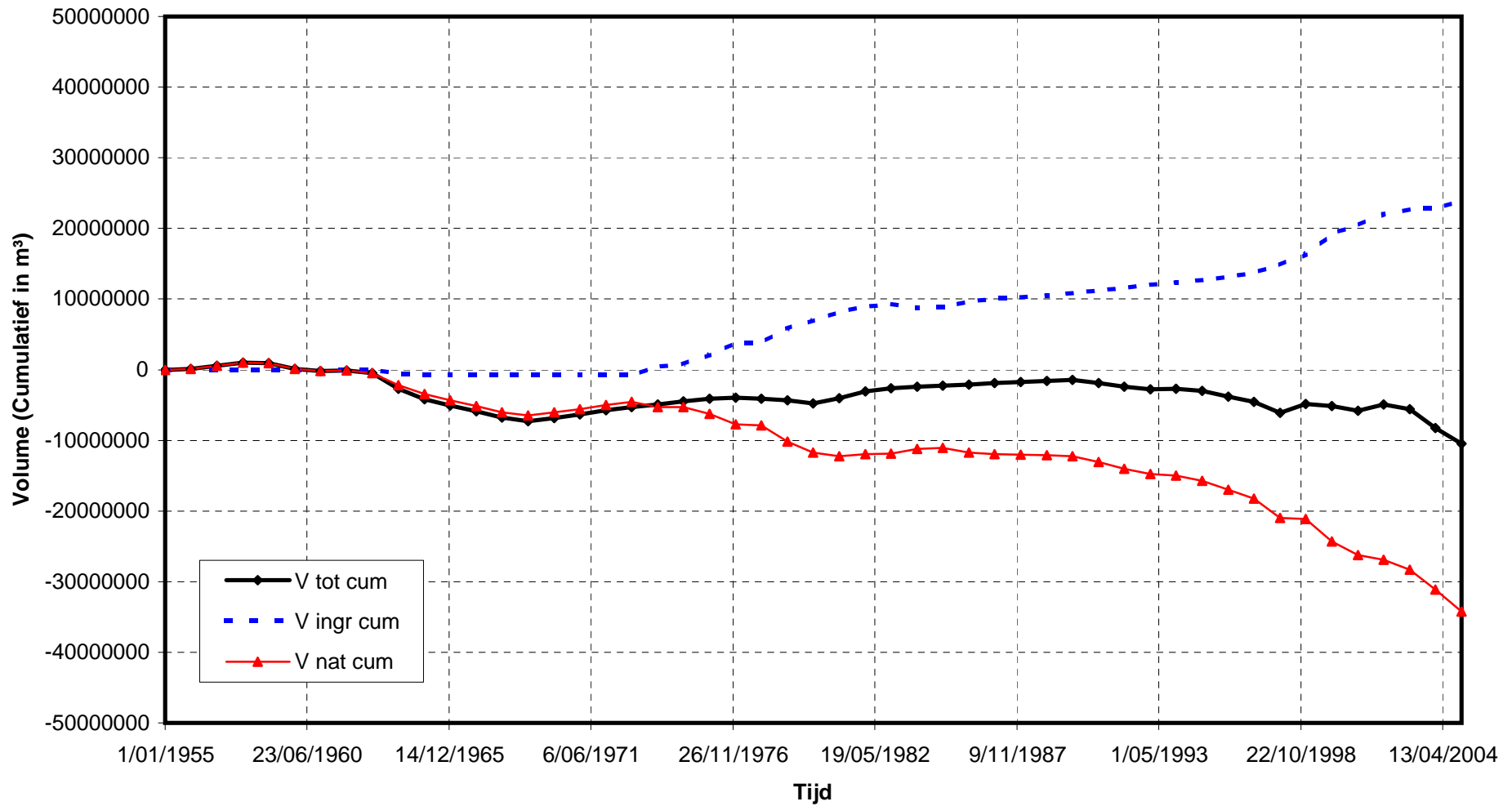




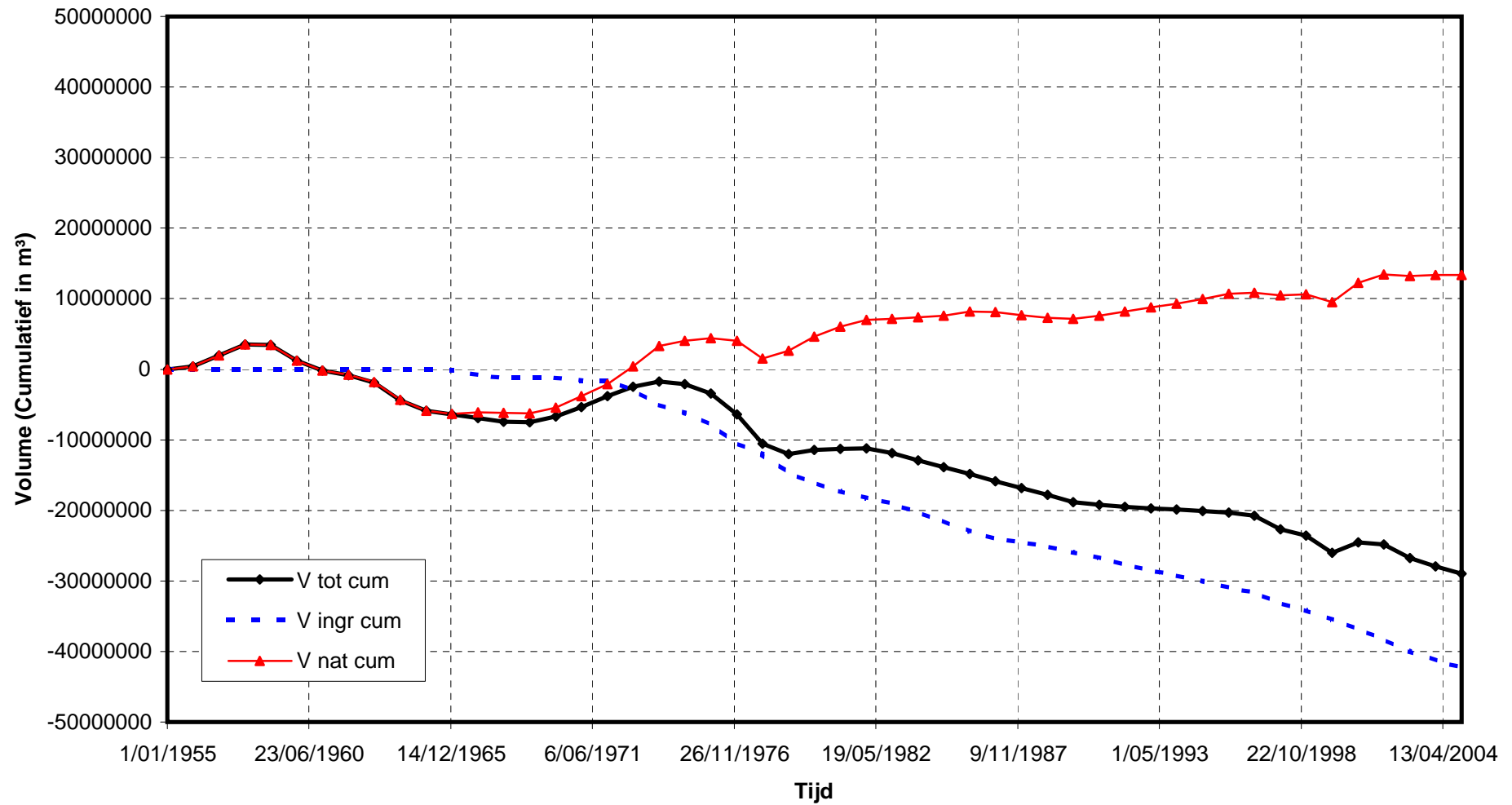
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 418



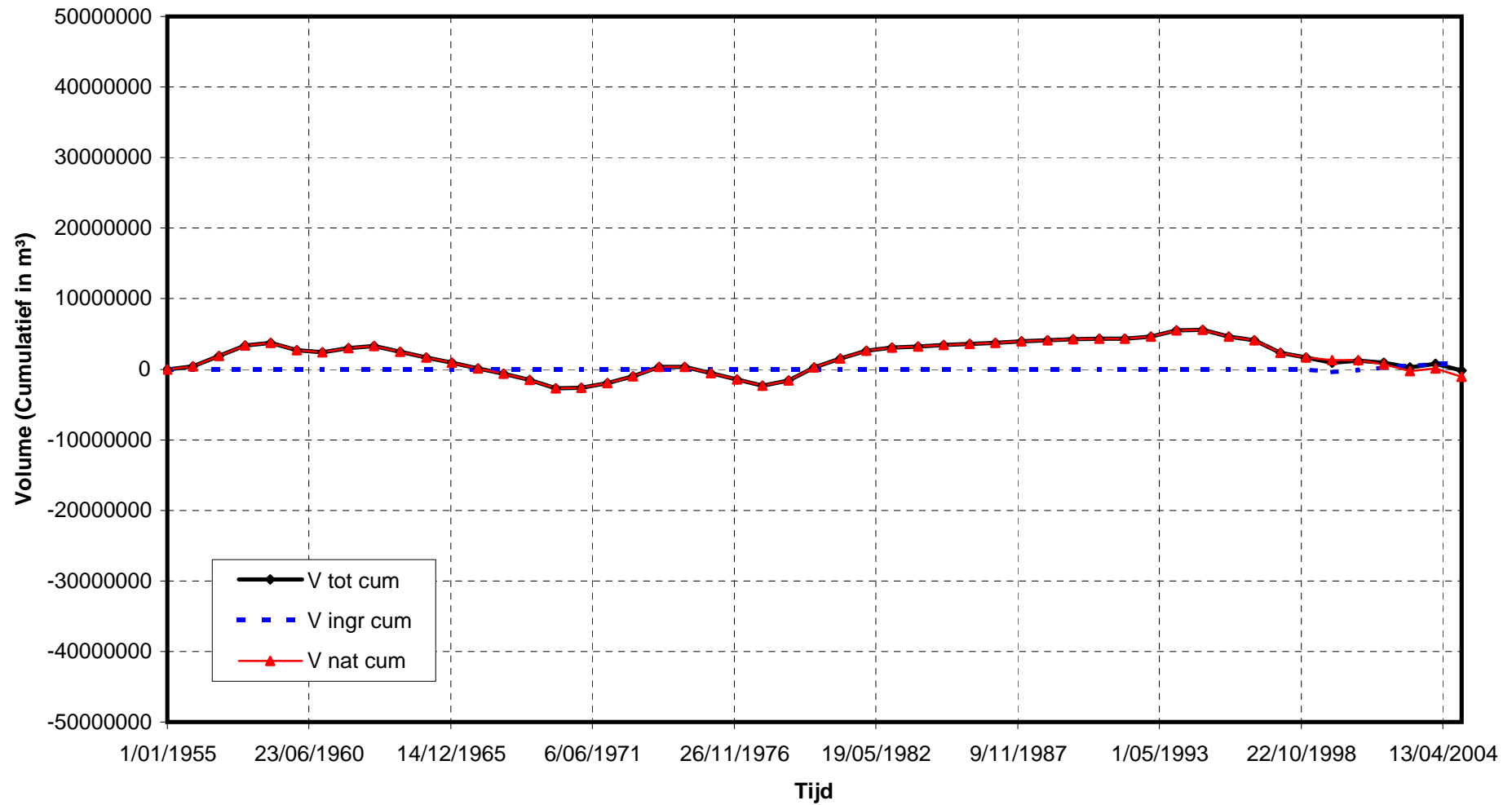
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 519



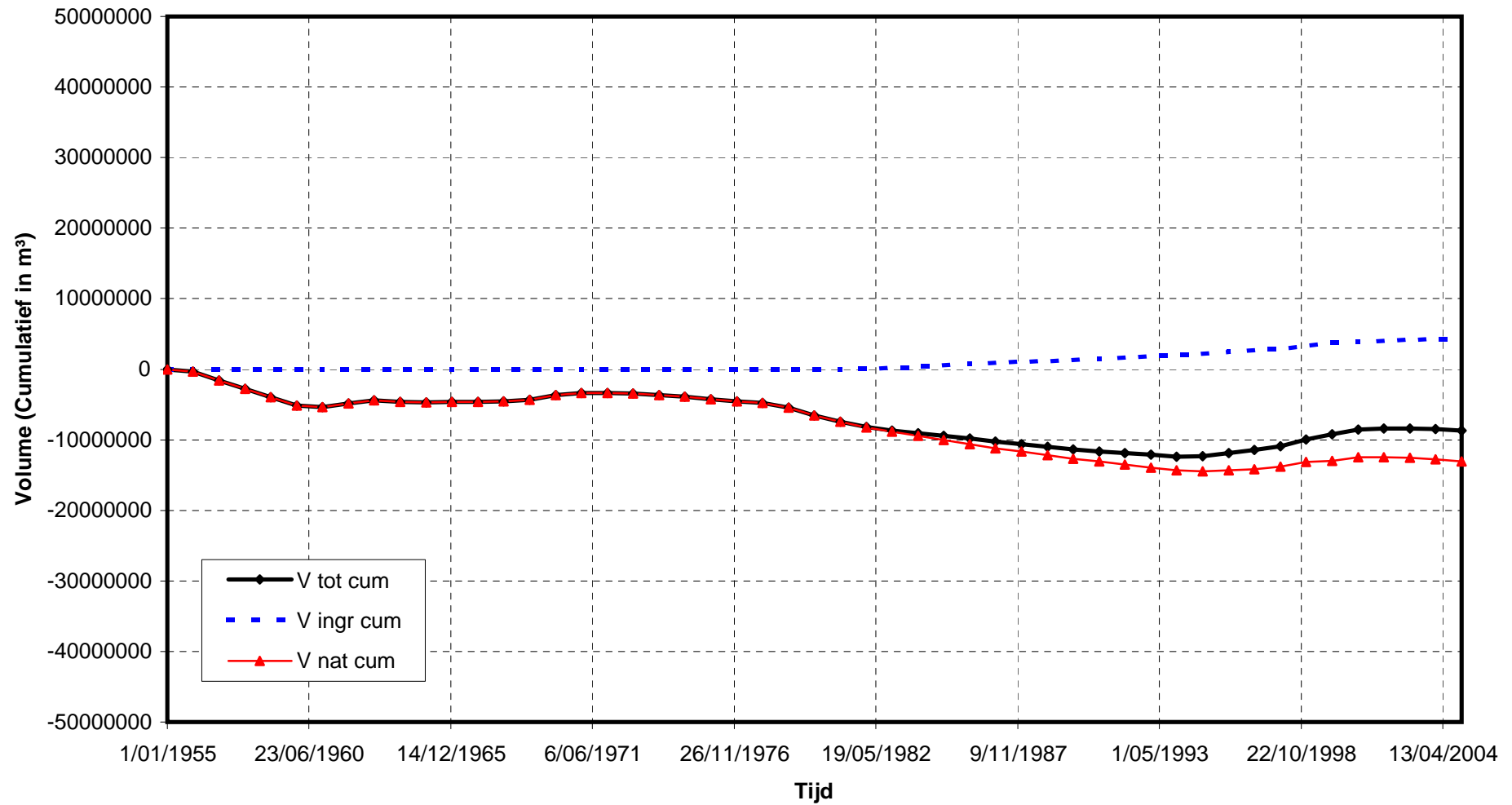
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 520



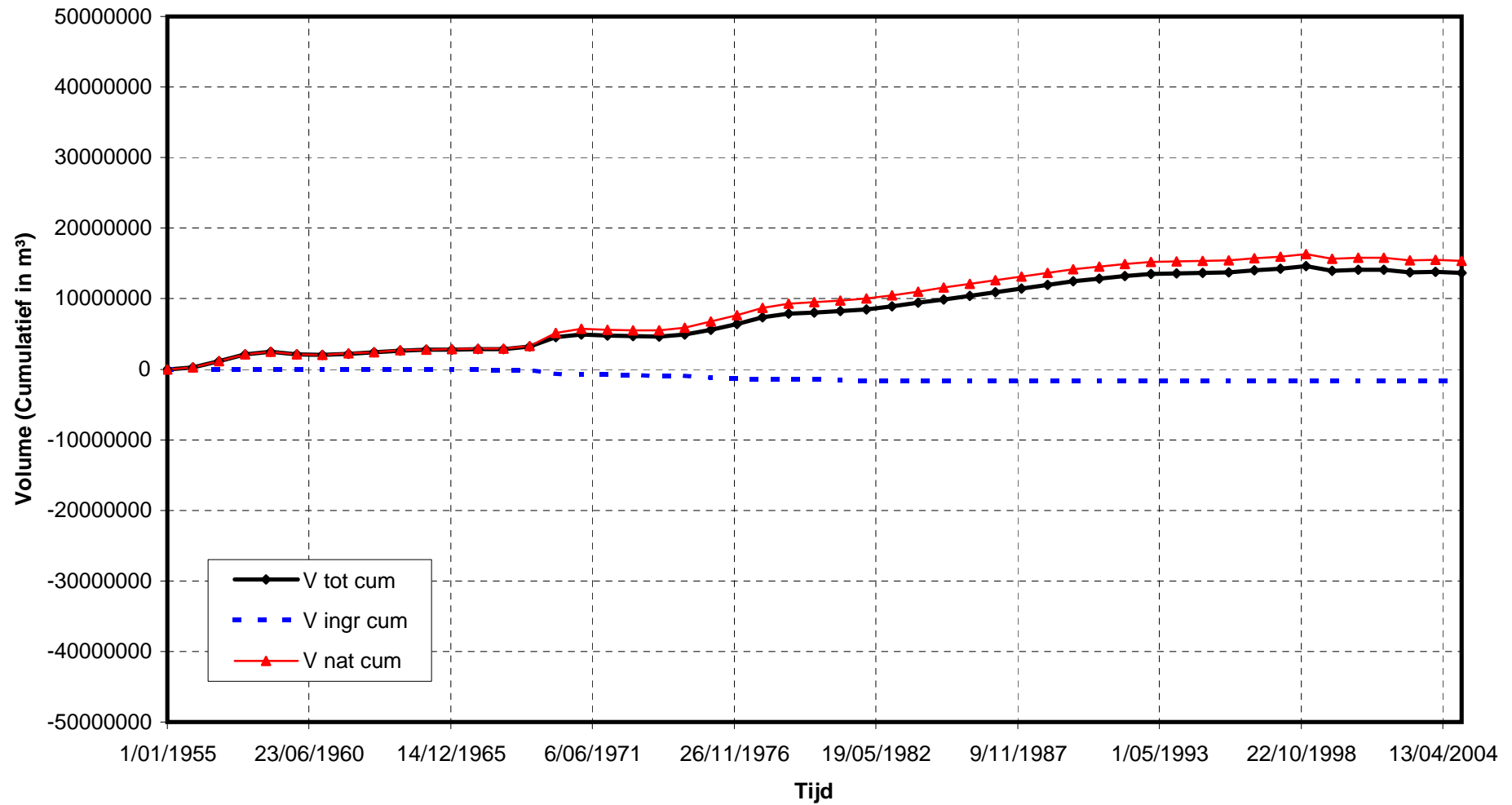
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 521



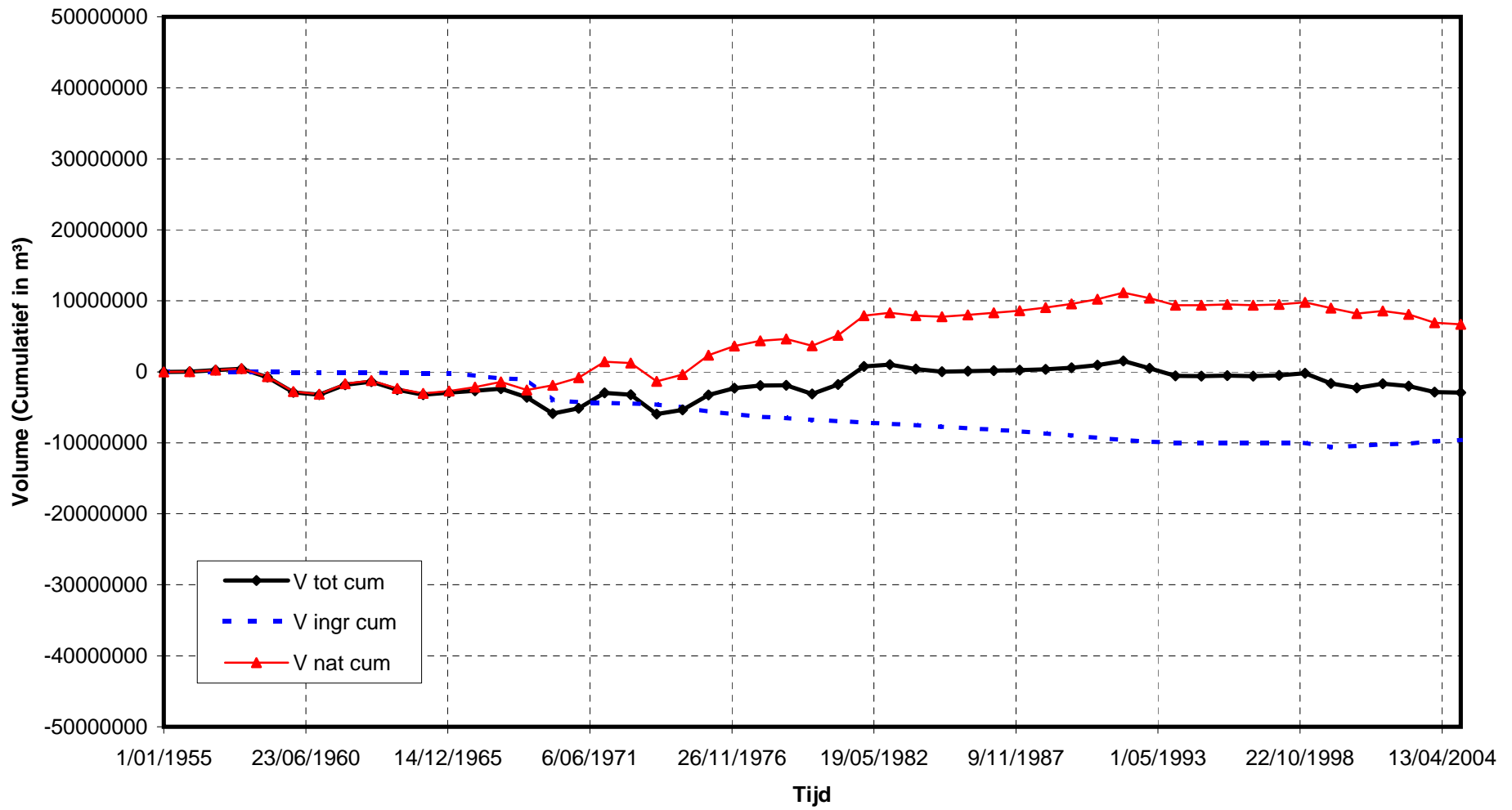
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 522



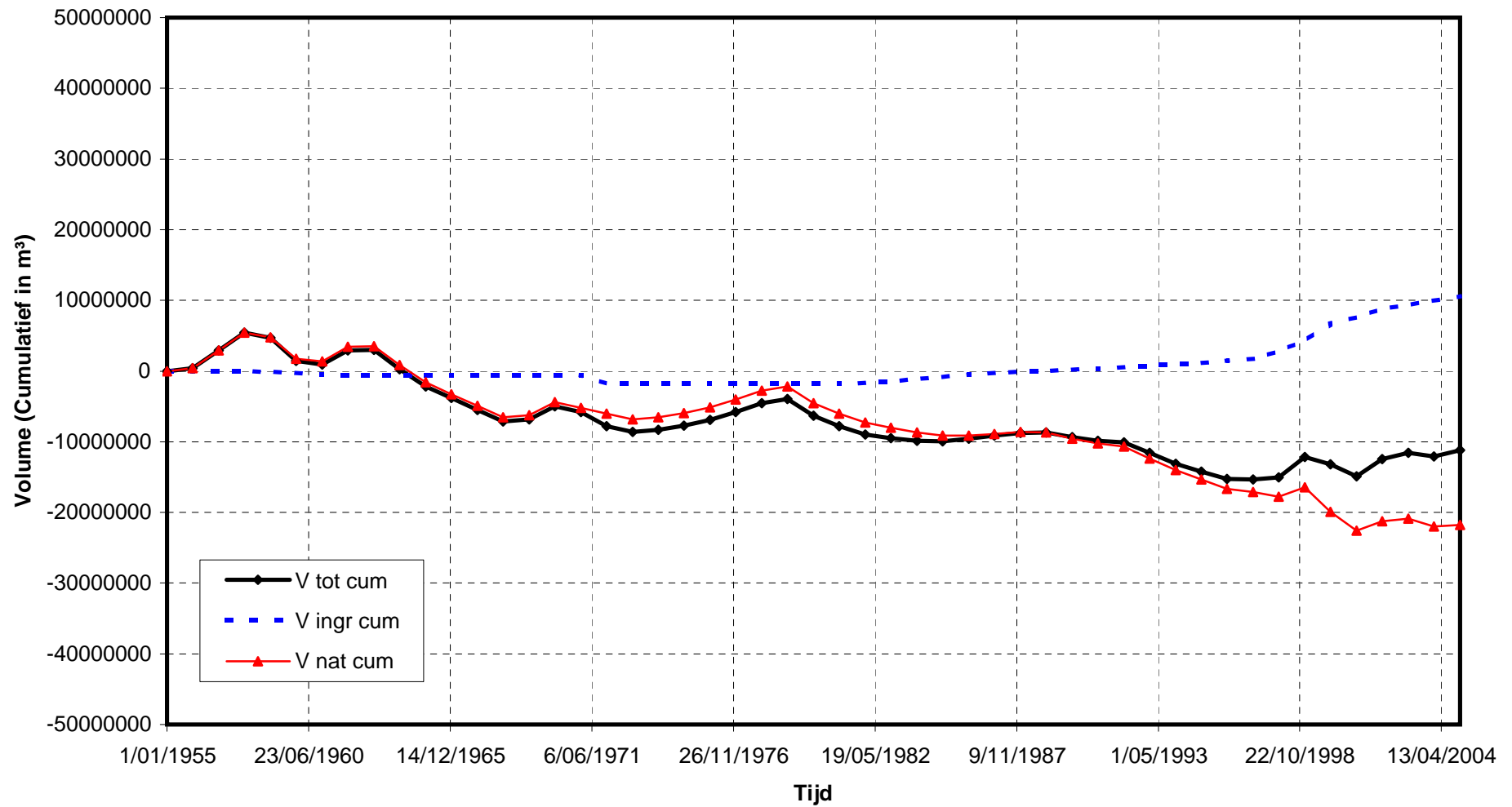
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 523



Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 624

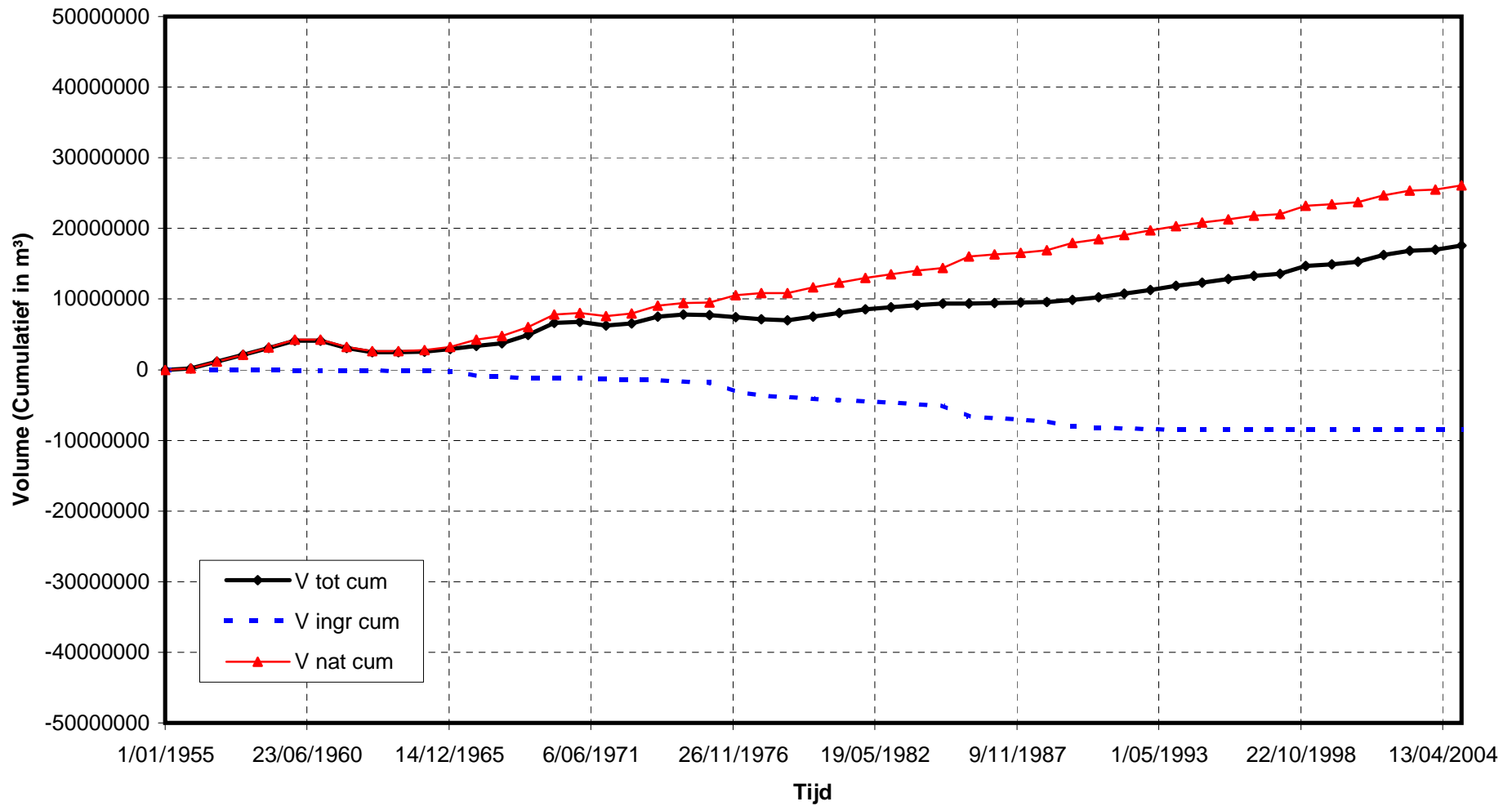


Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 625

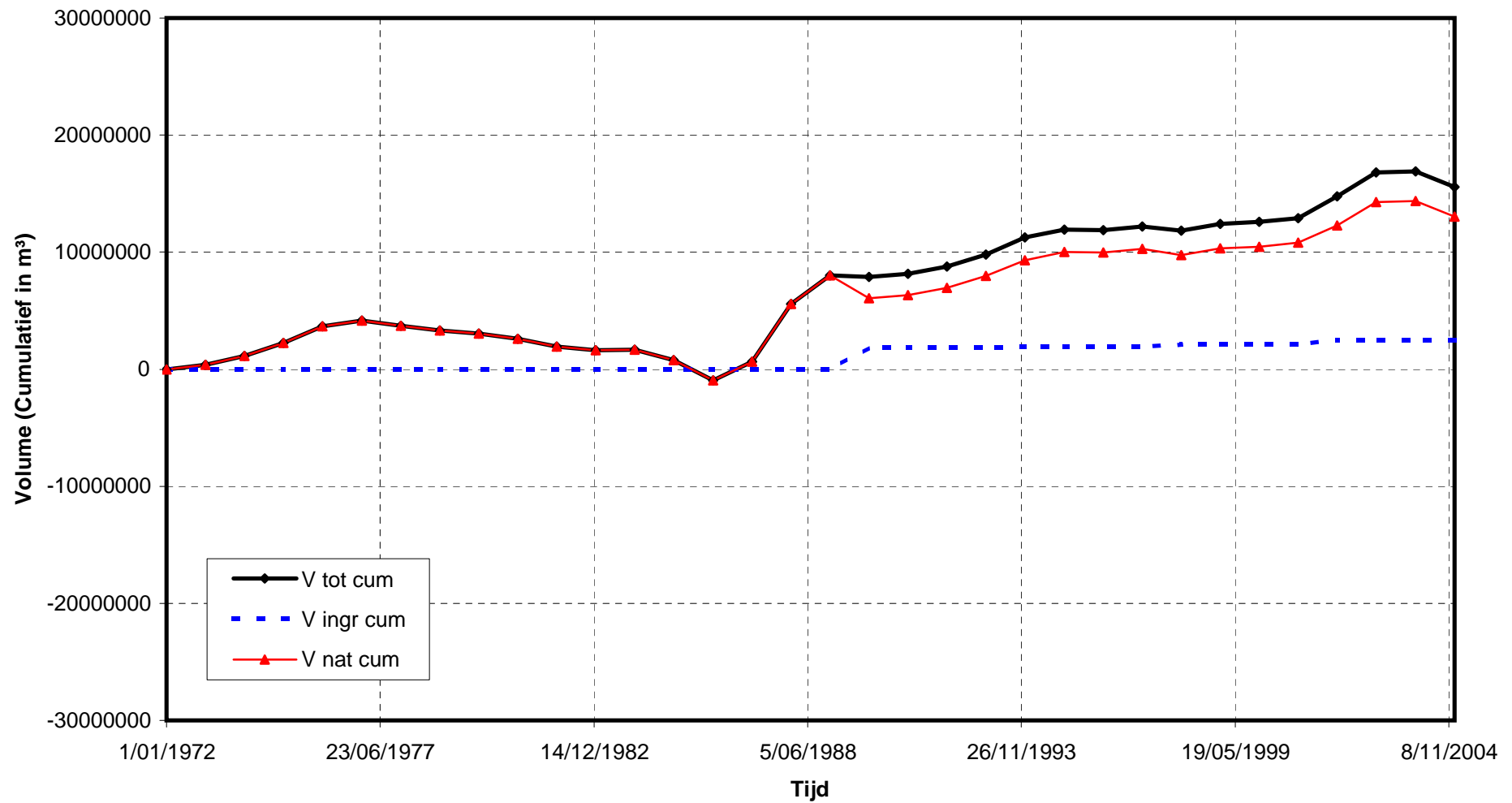




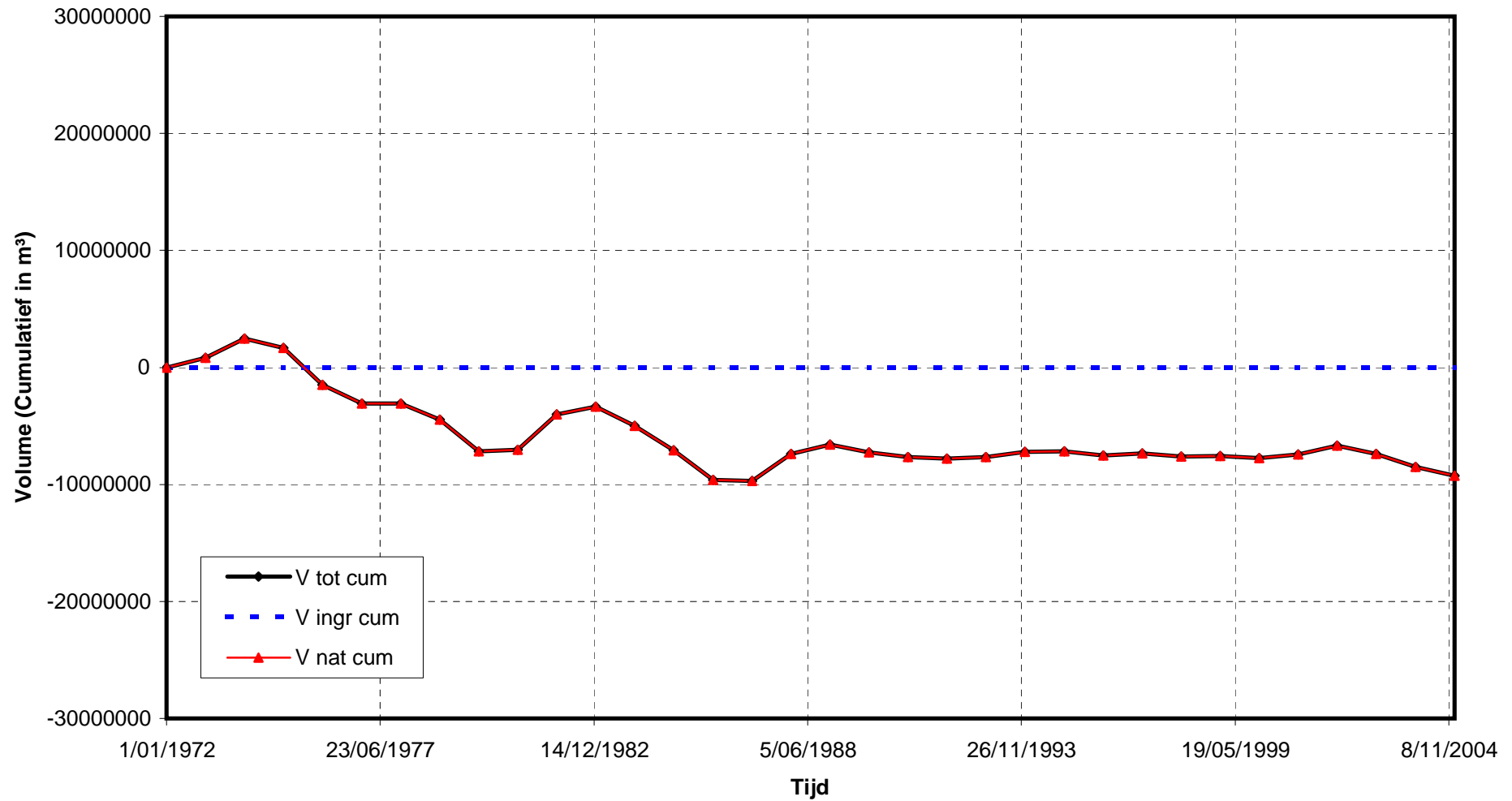
Westerschelde : Zandbalans 1955 - 2005  
Cumulatieve gegevens : vak 626



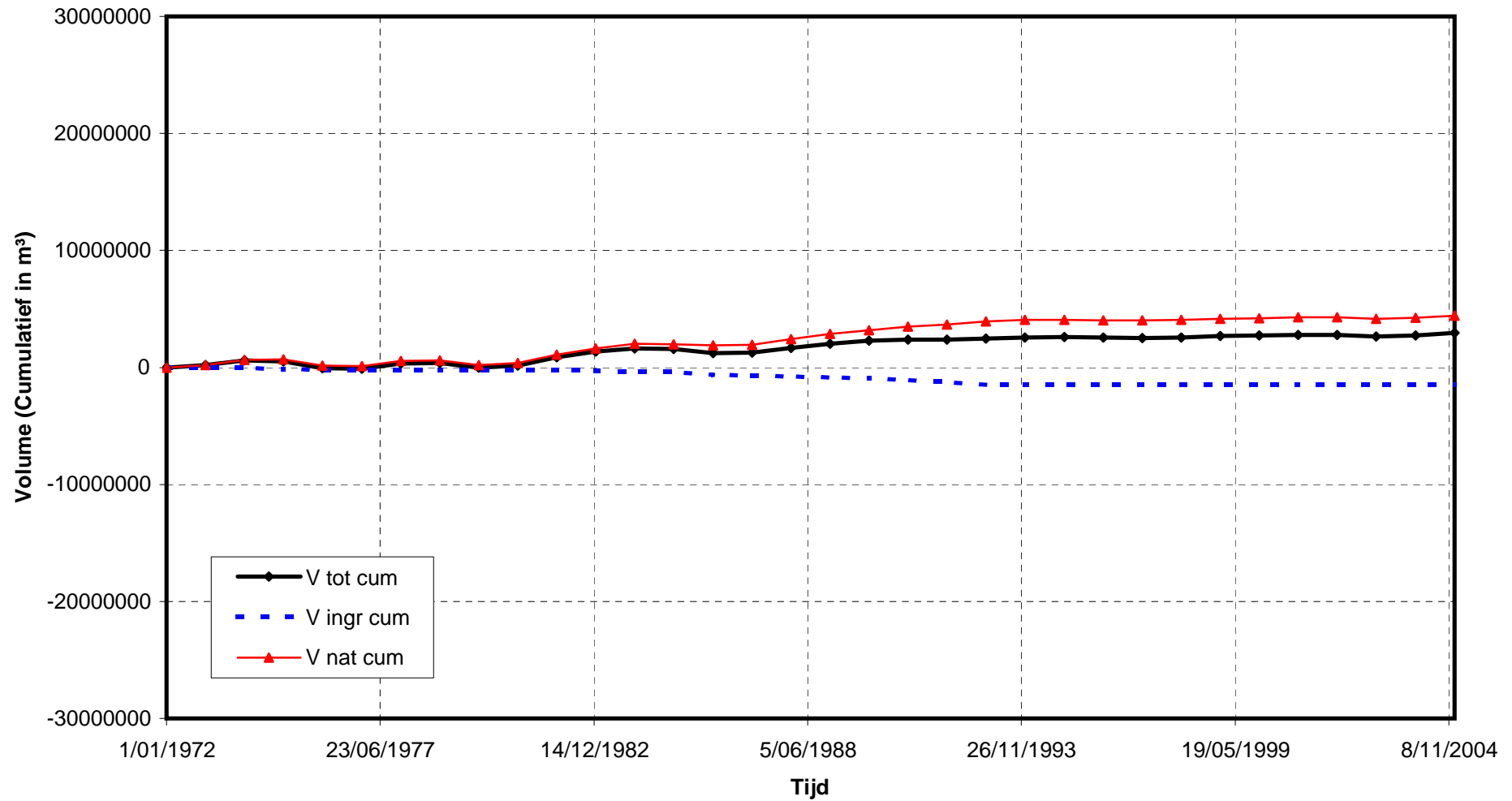
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 1



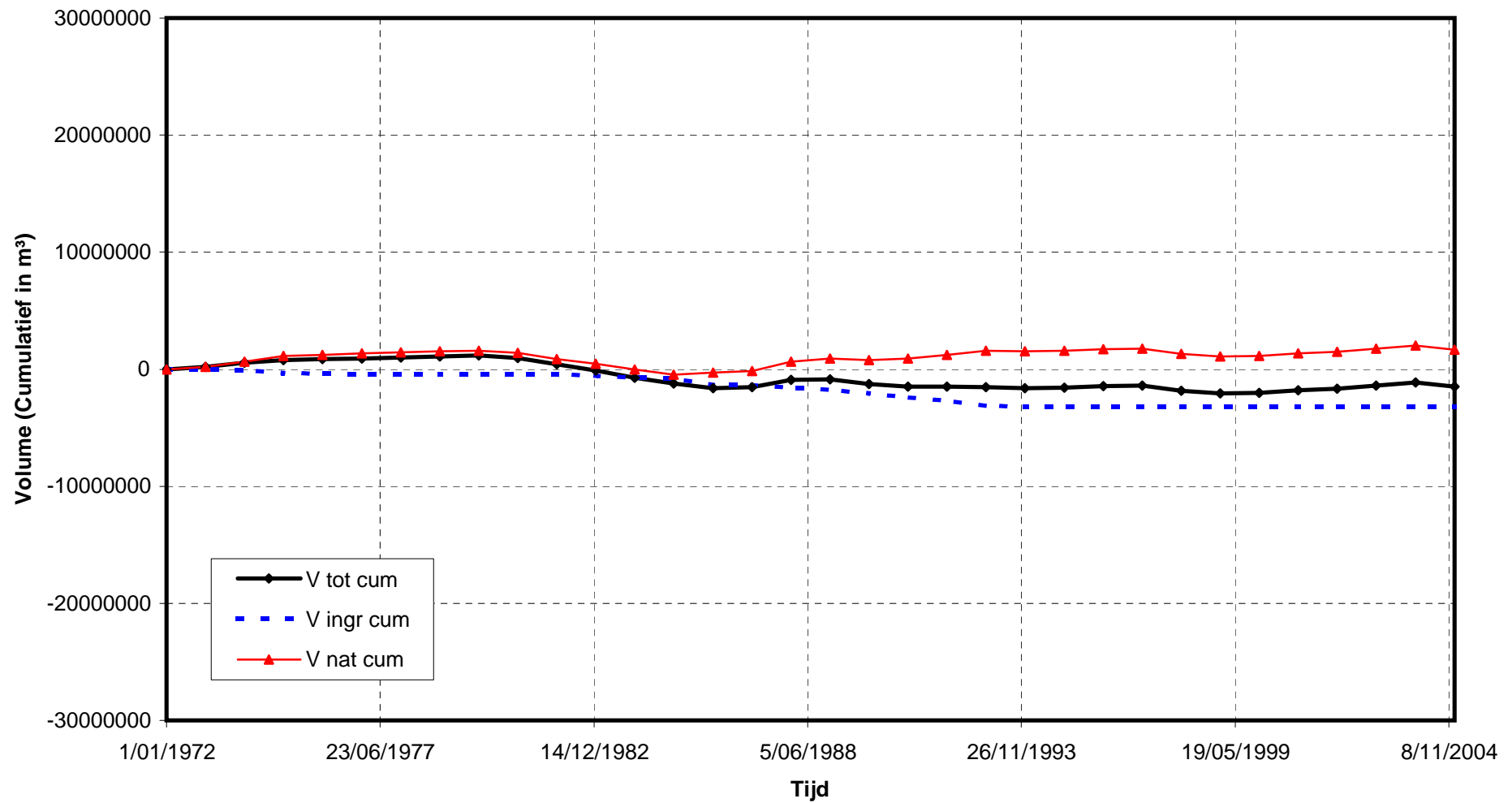
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 2



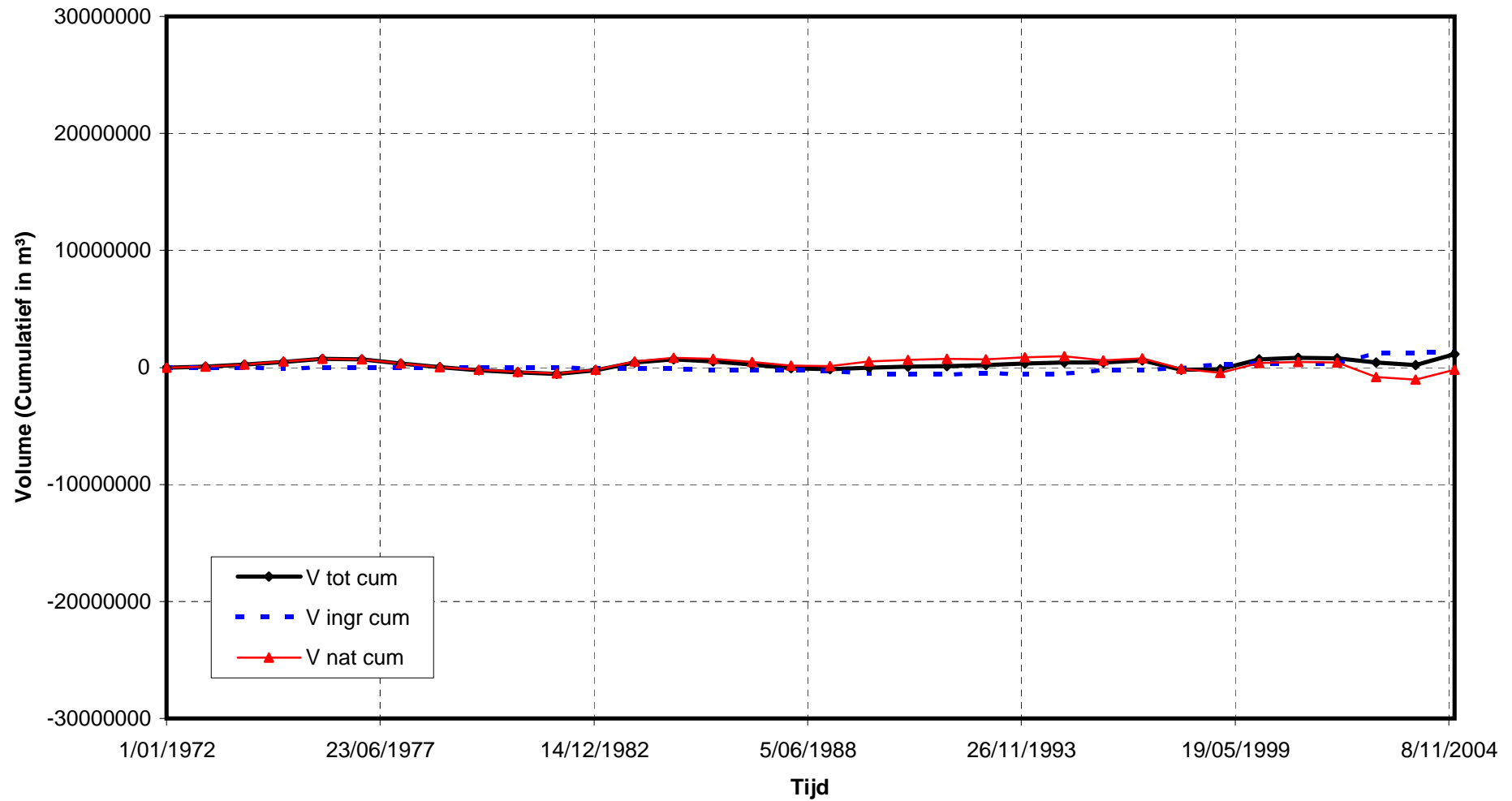
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 3



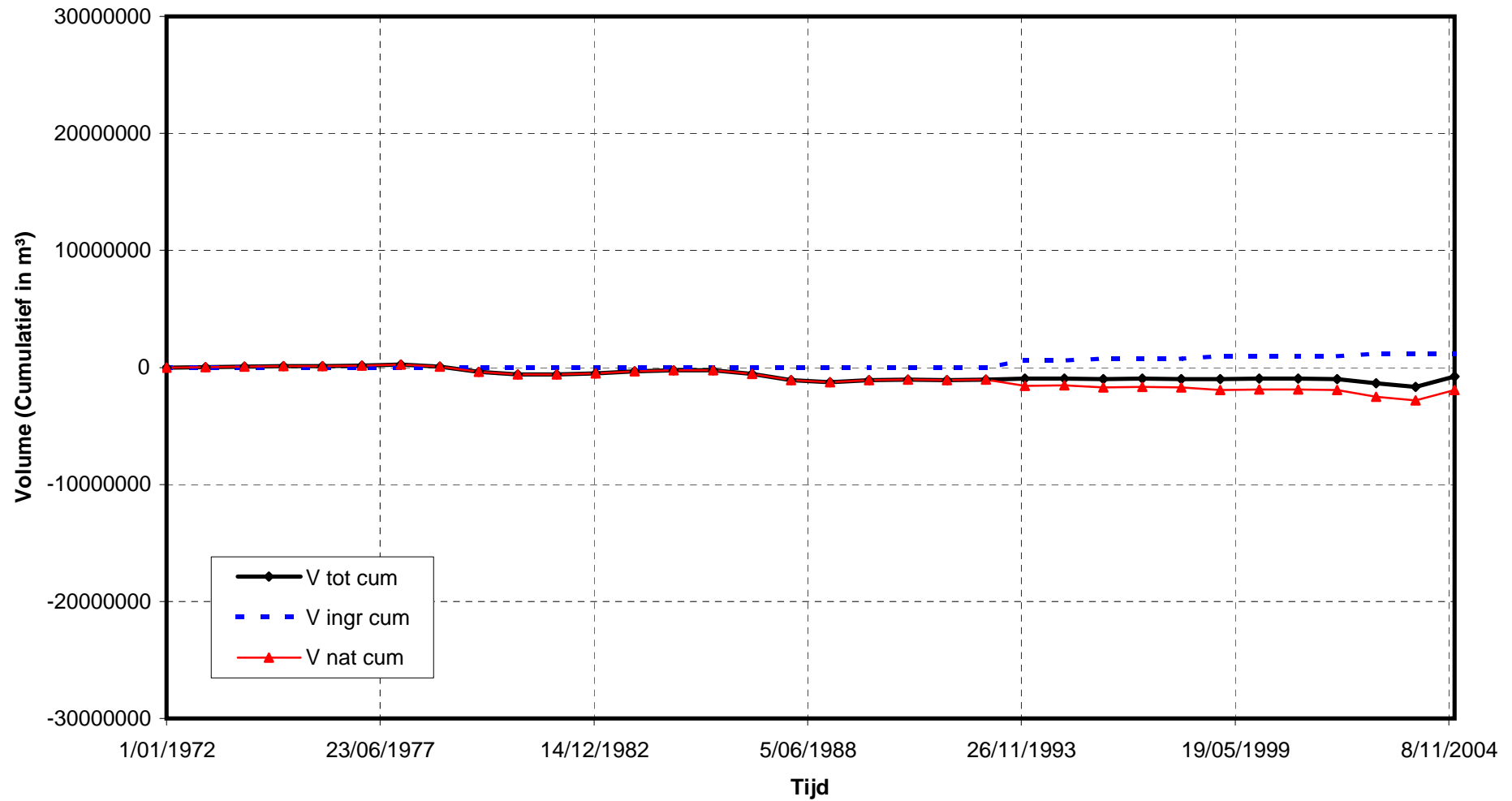
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 4



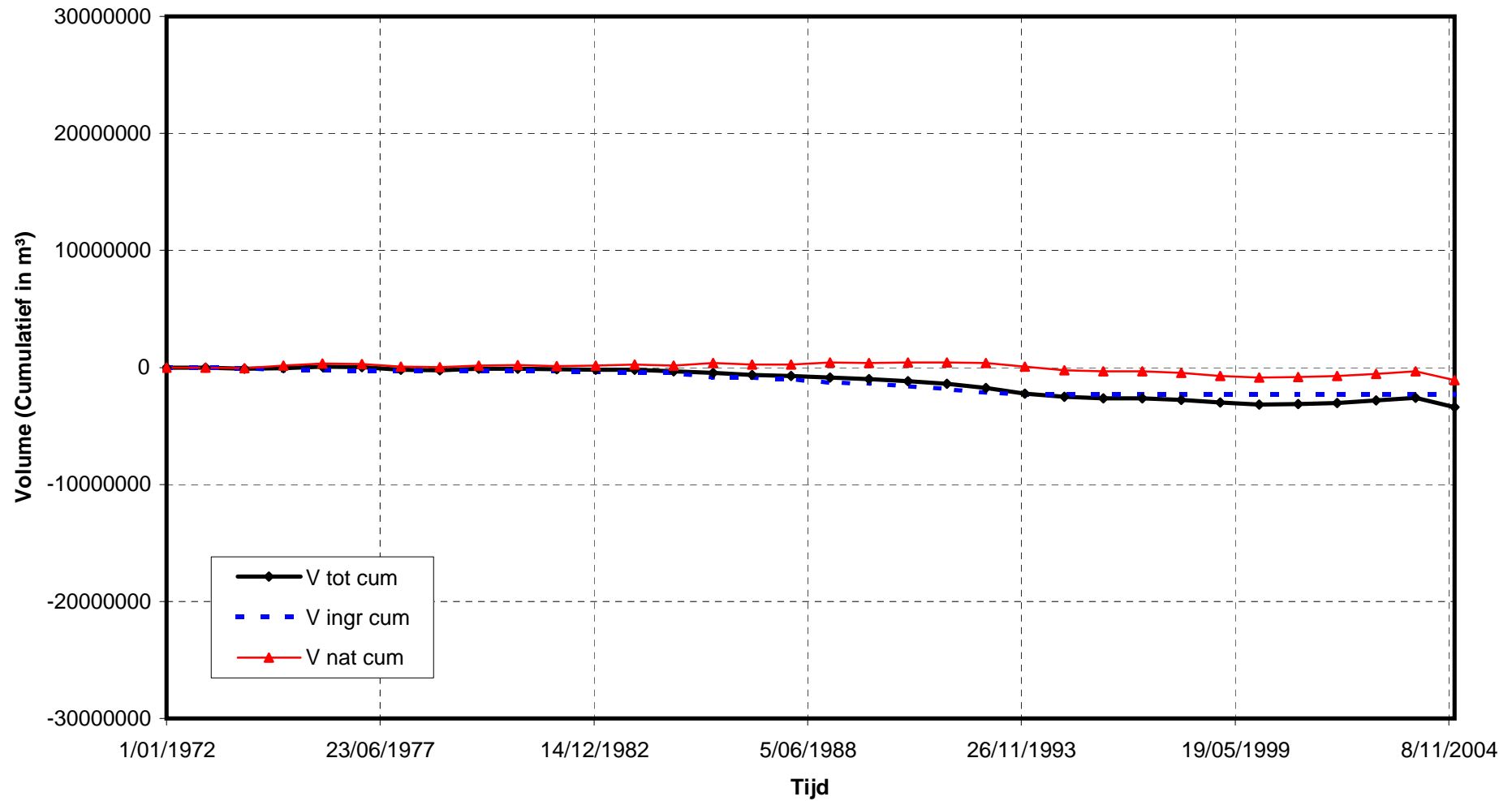
**Monding : Zandbalans 1972 - 2004**  
**Cumulatieve gegevens : Vak 5**



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 6

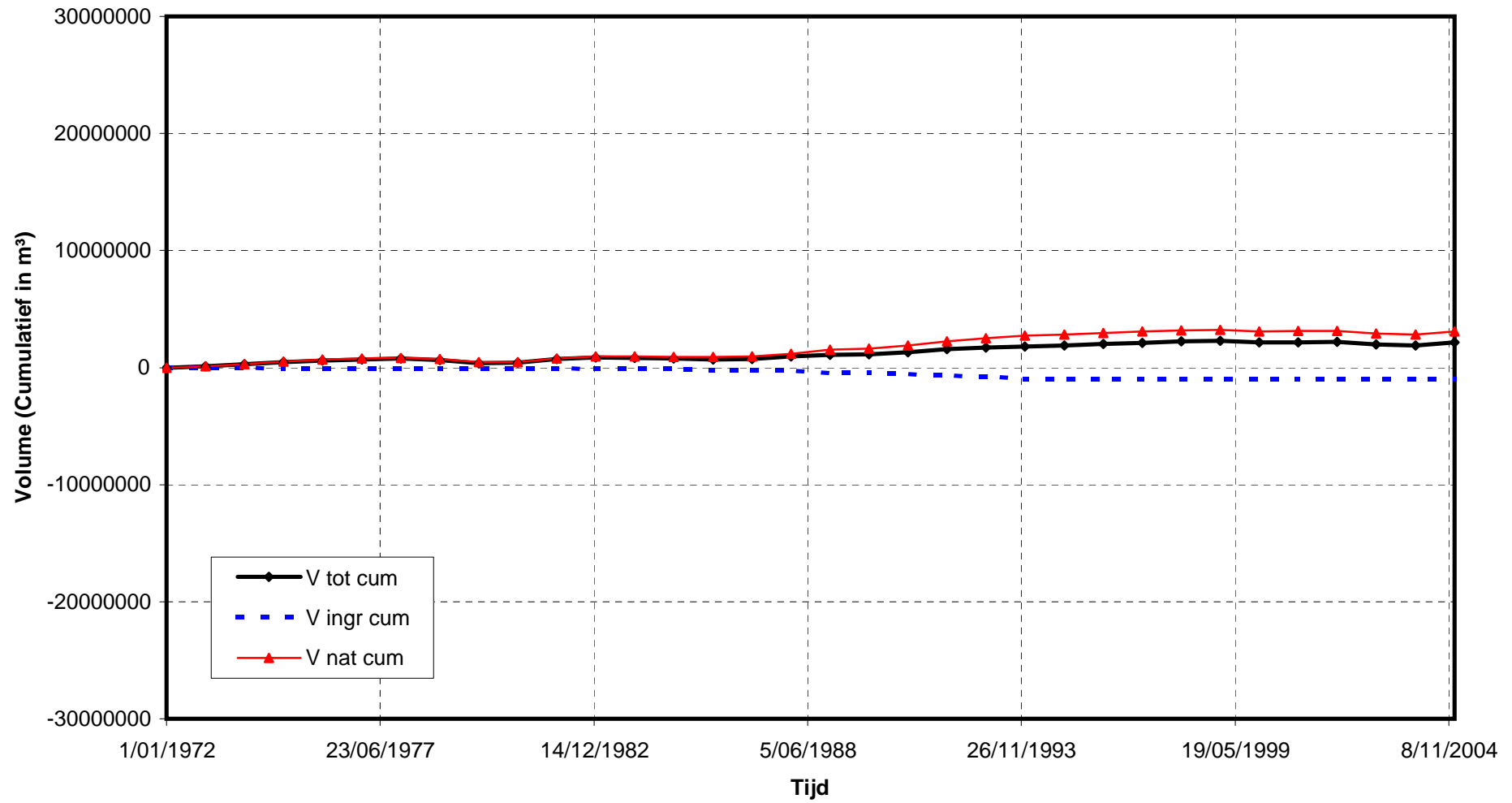


Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 7

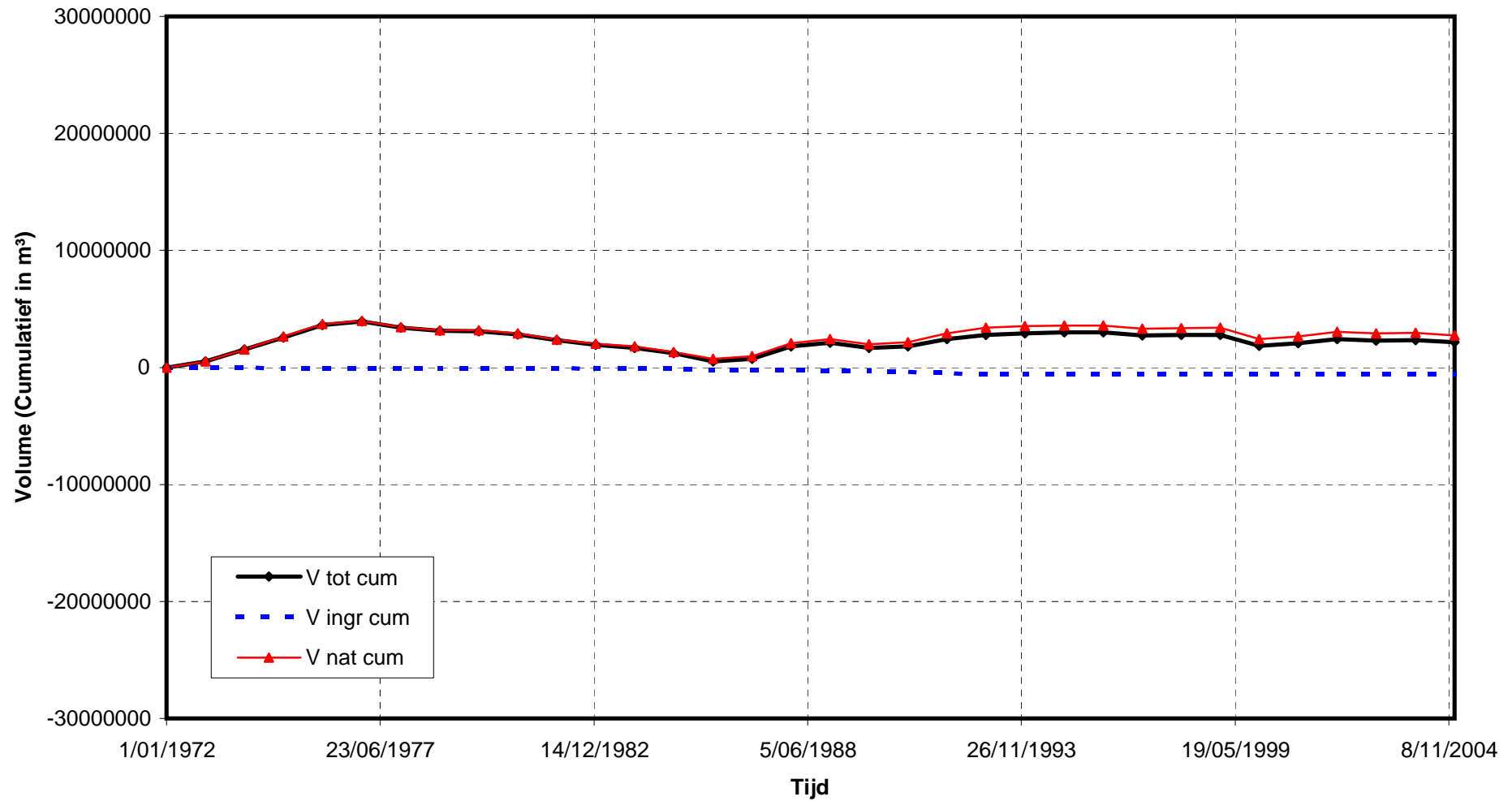




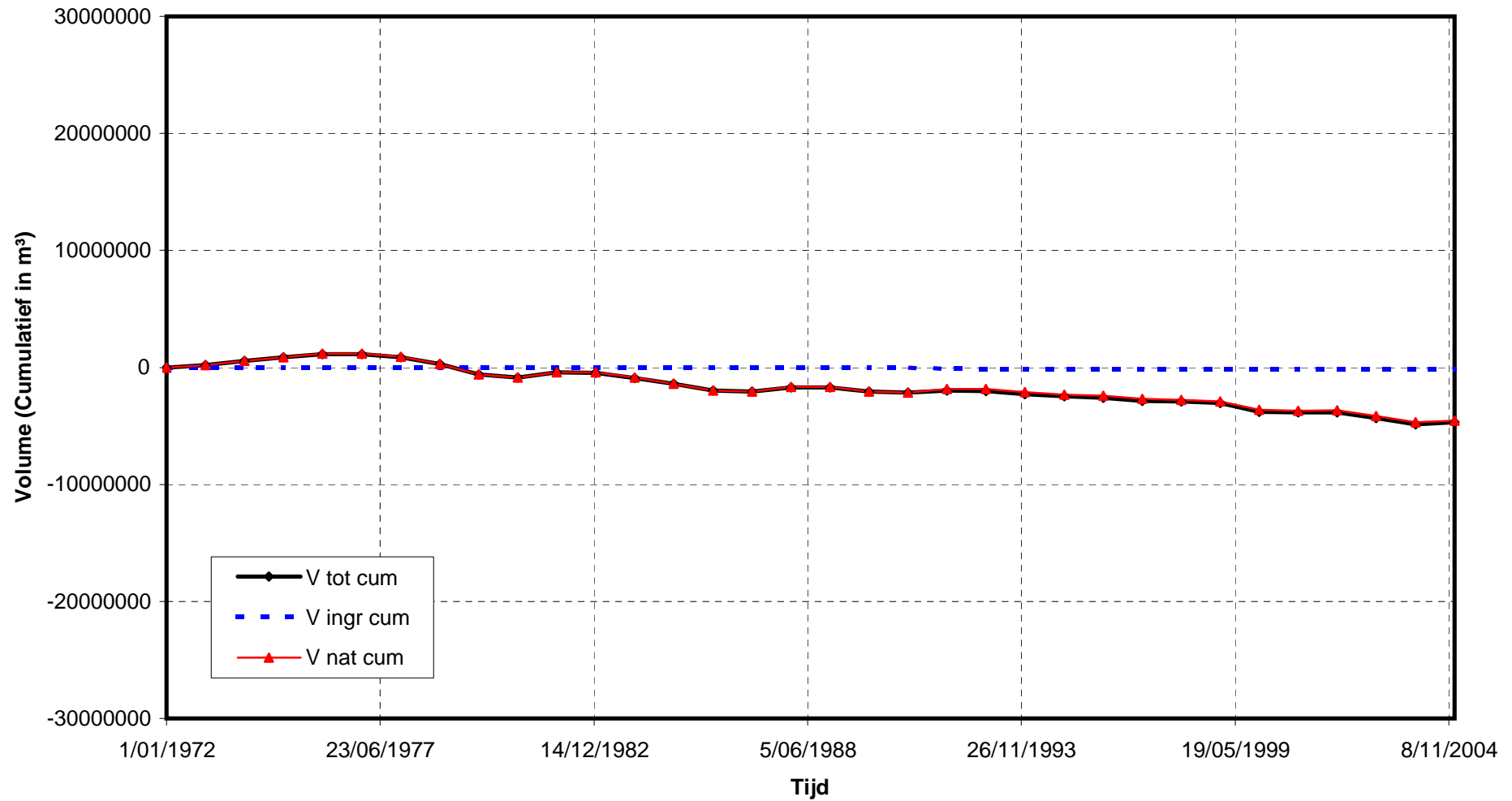
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 8



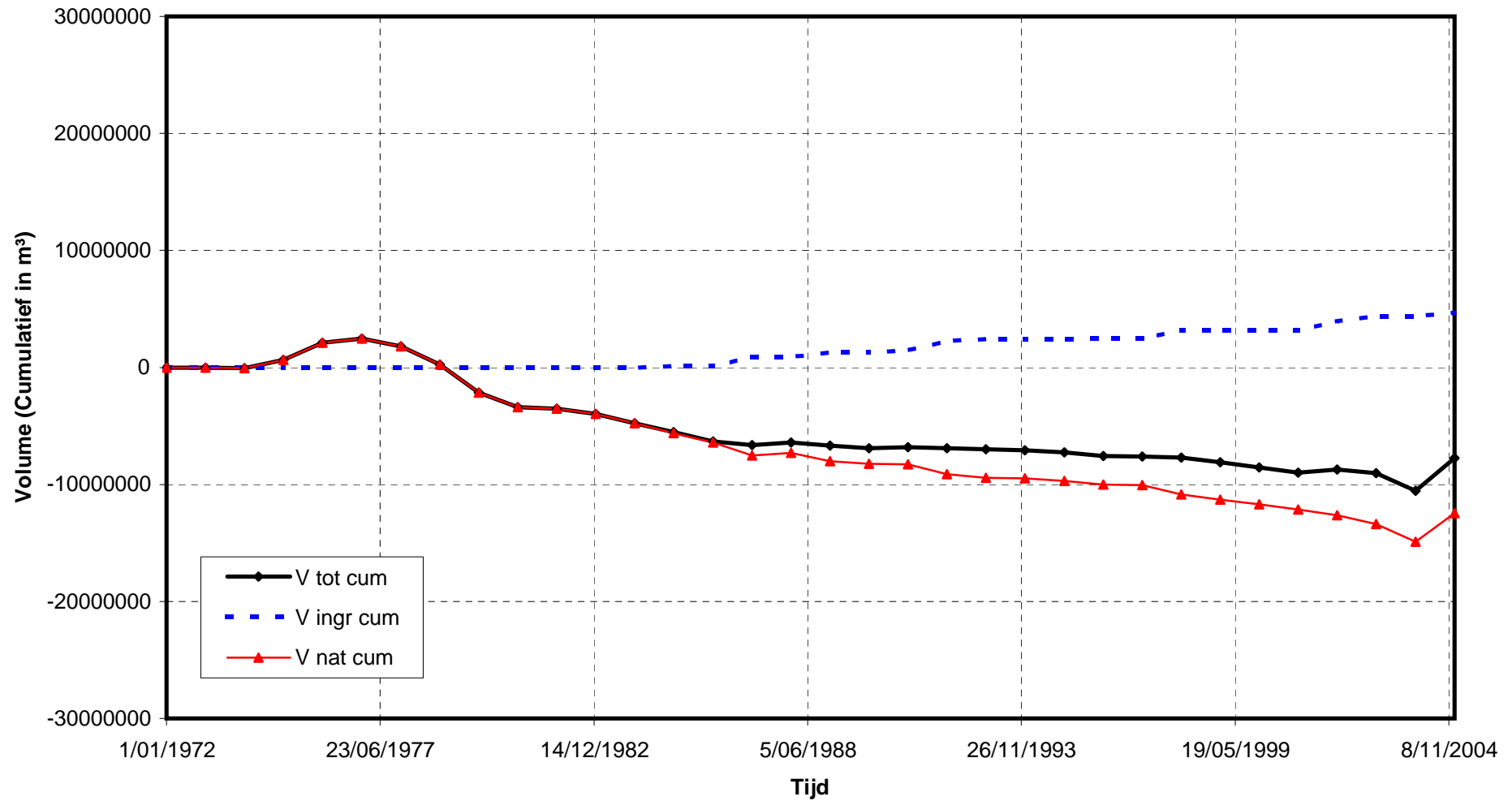
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 9



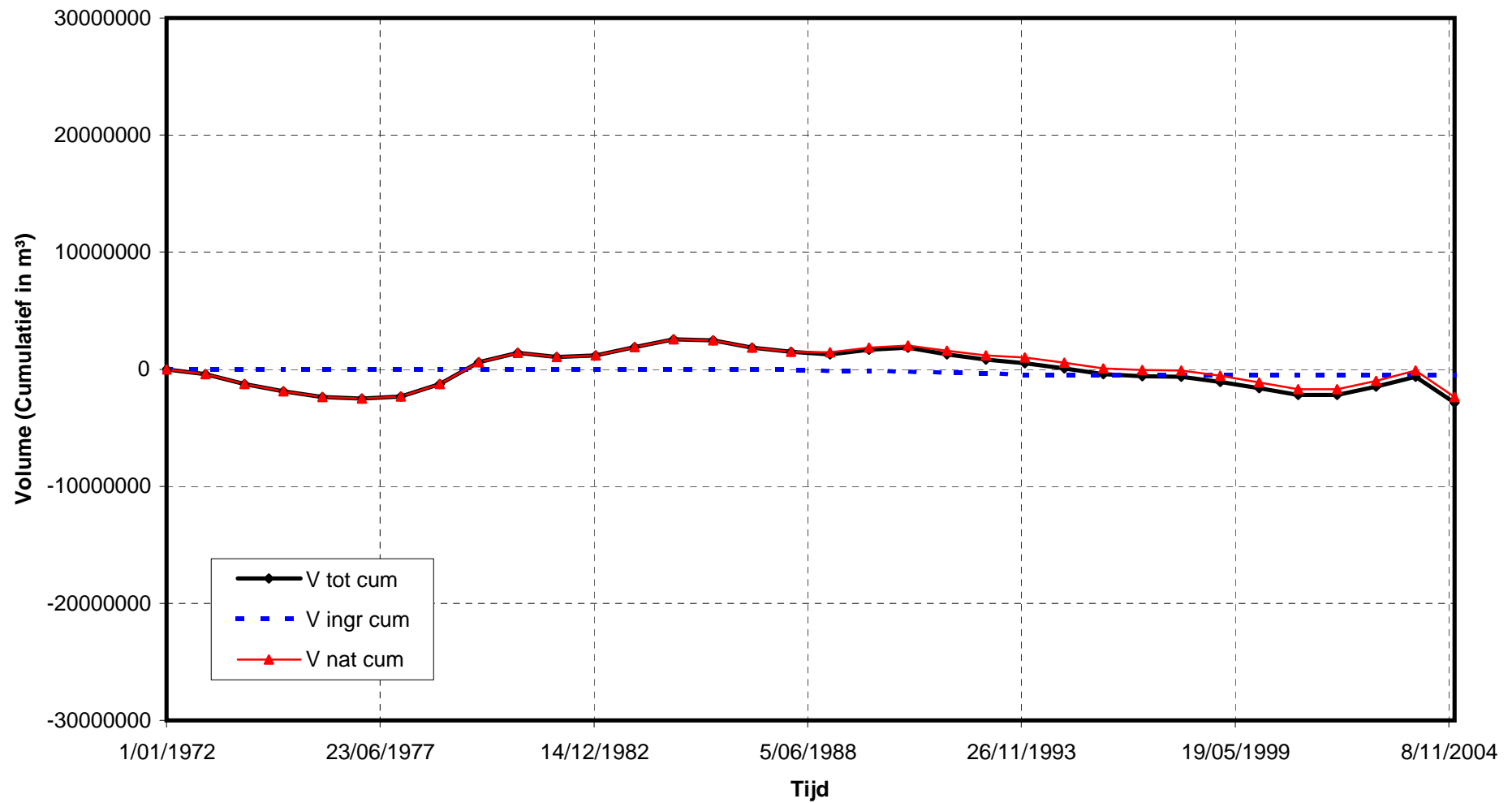
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 10



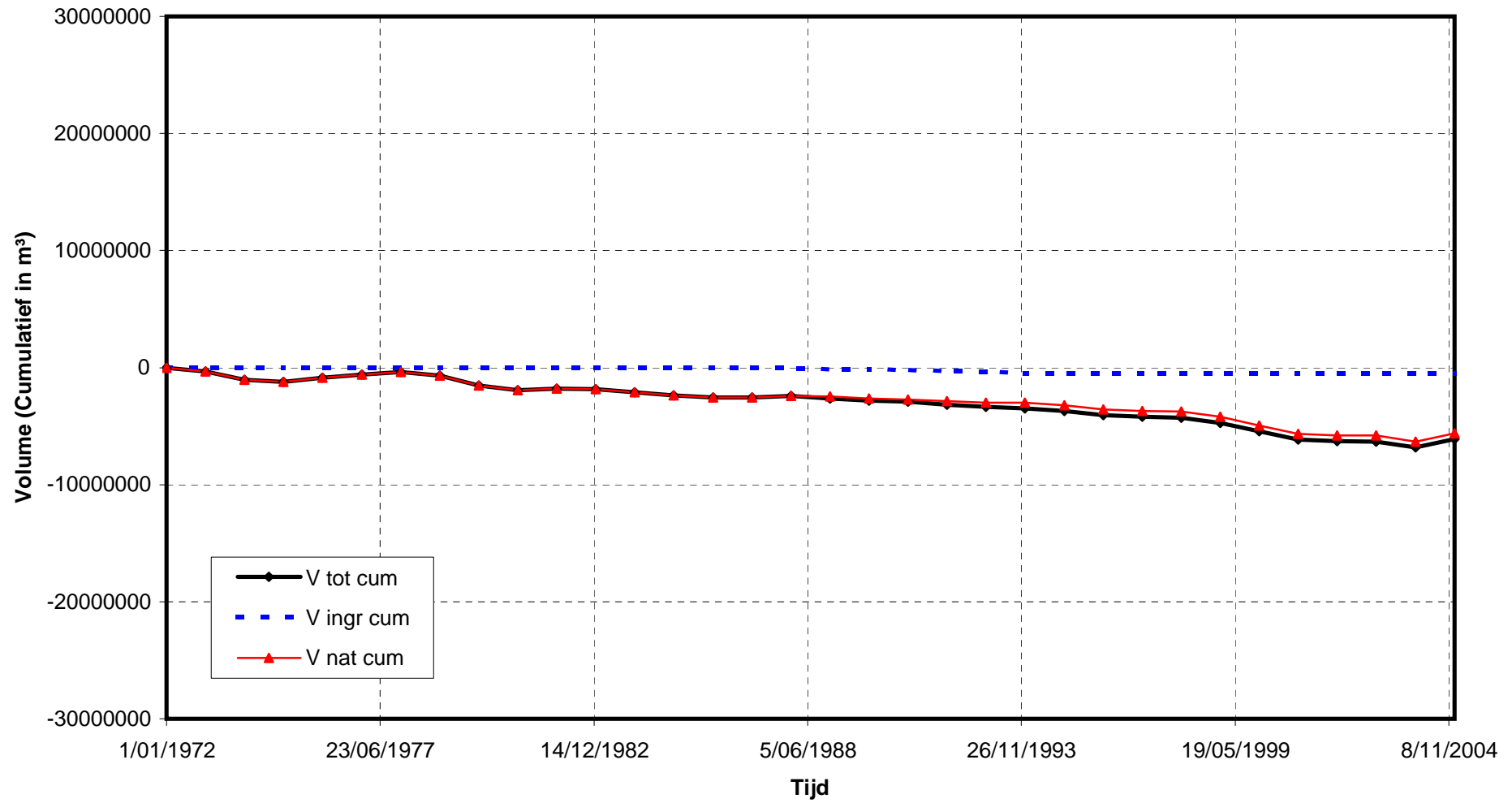
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 11



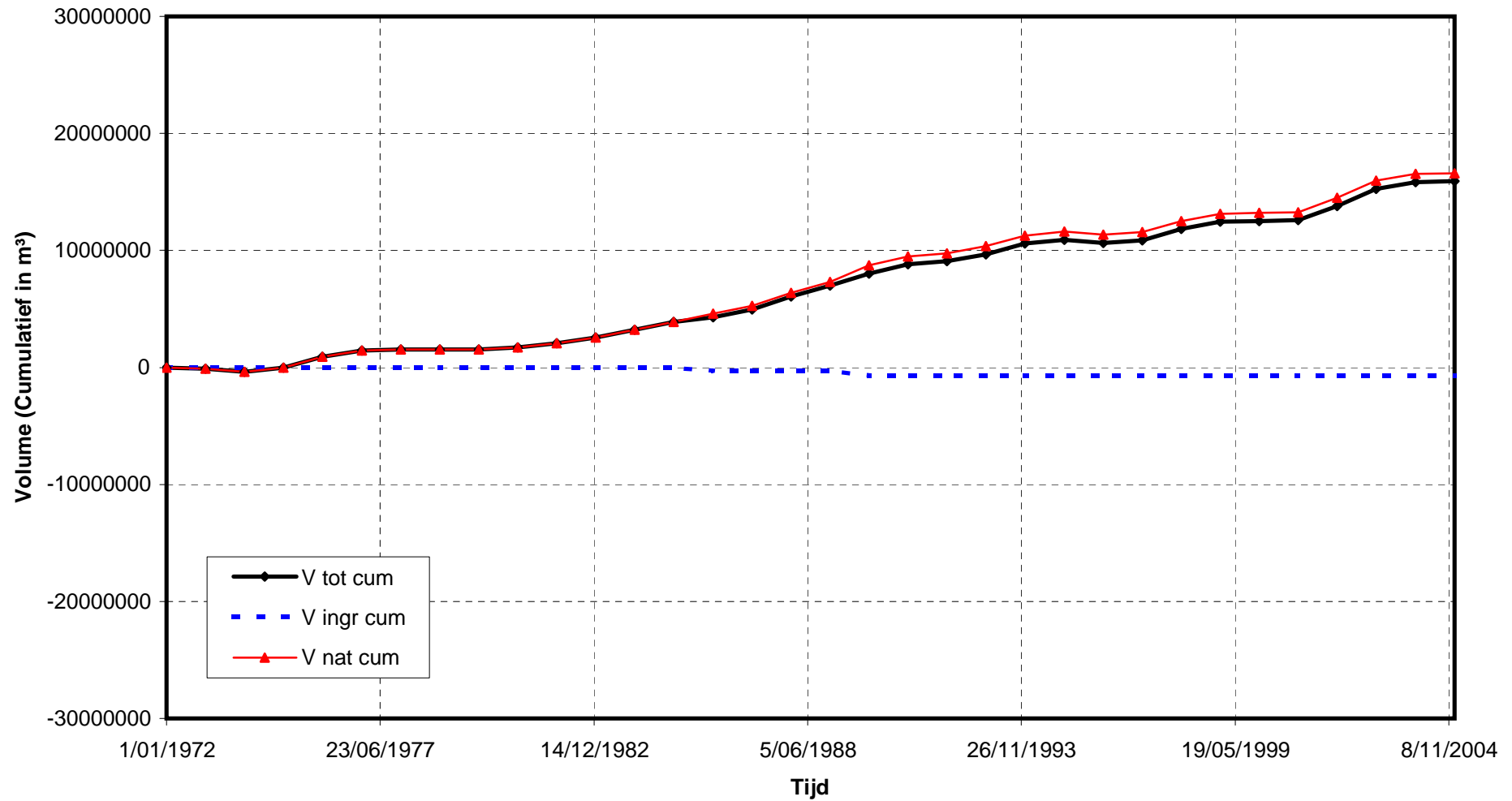
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 12



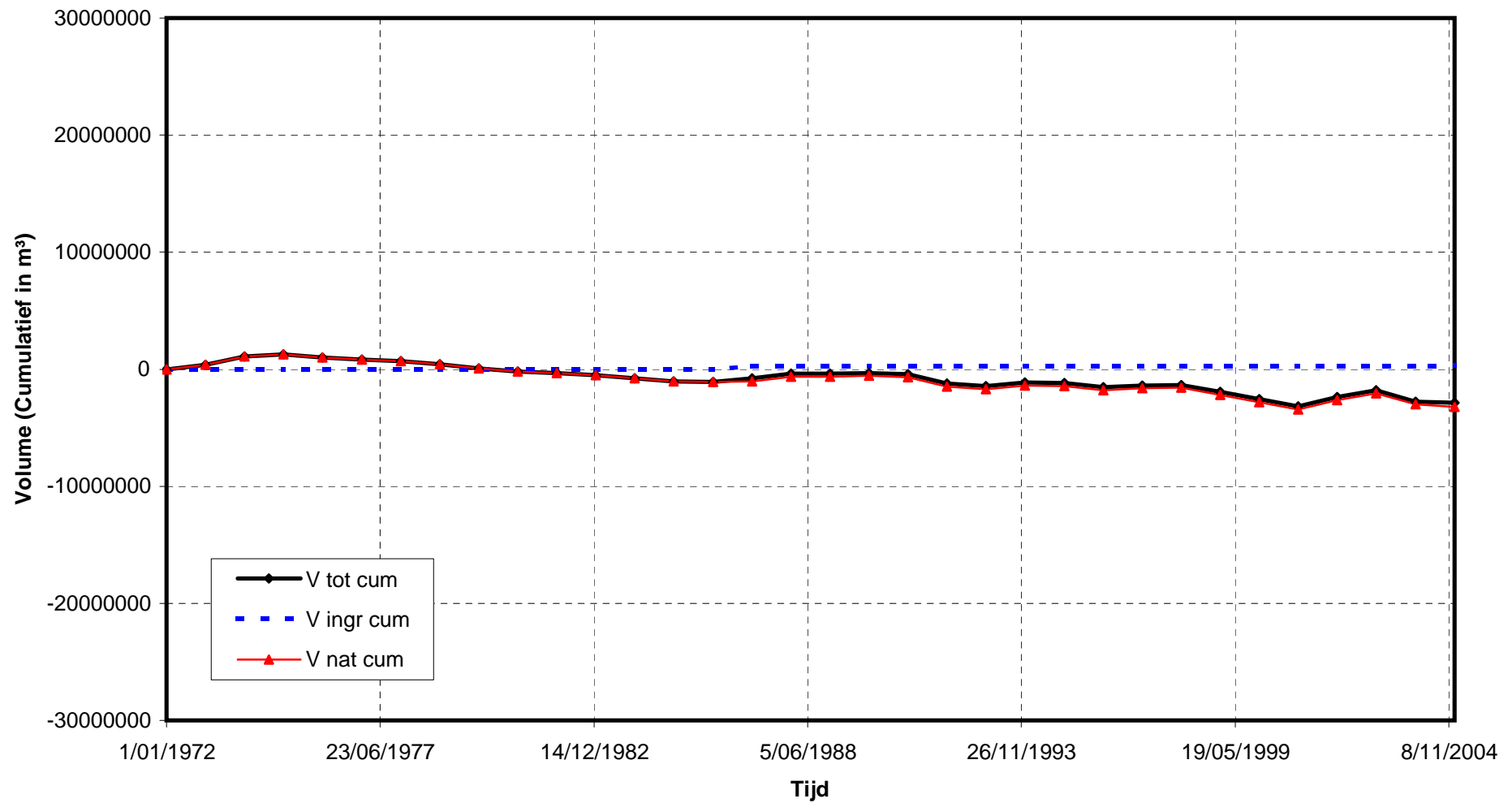
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 13



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 14

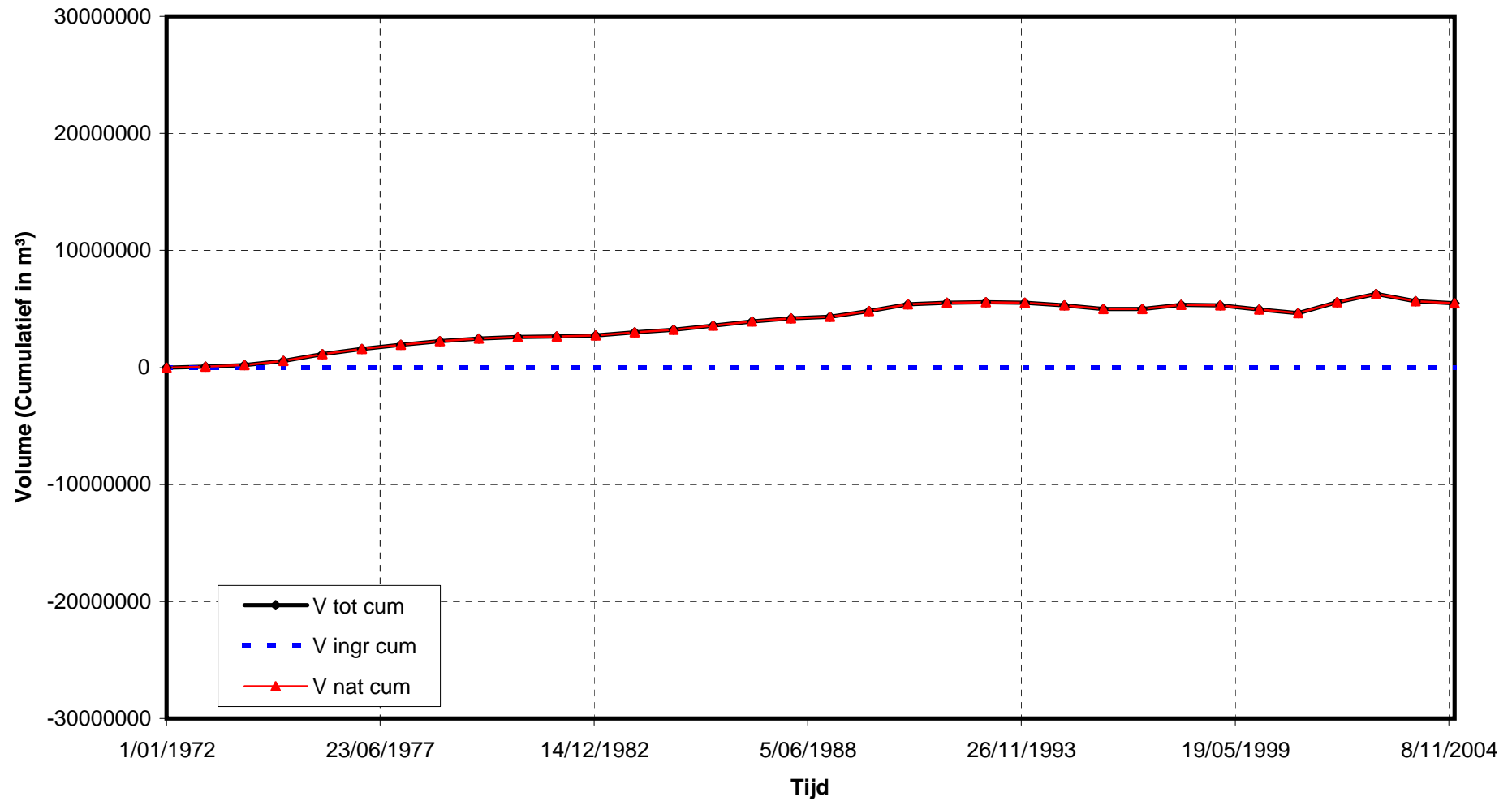


Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 15

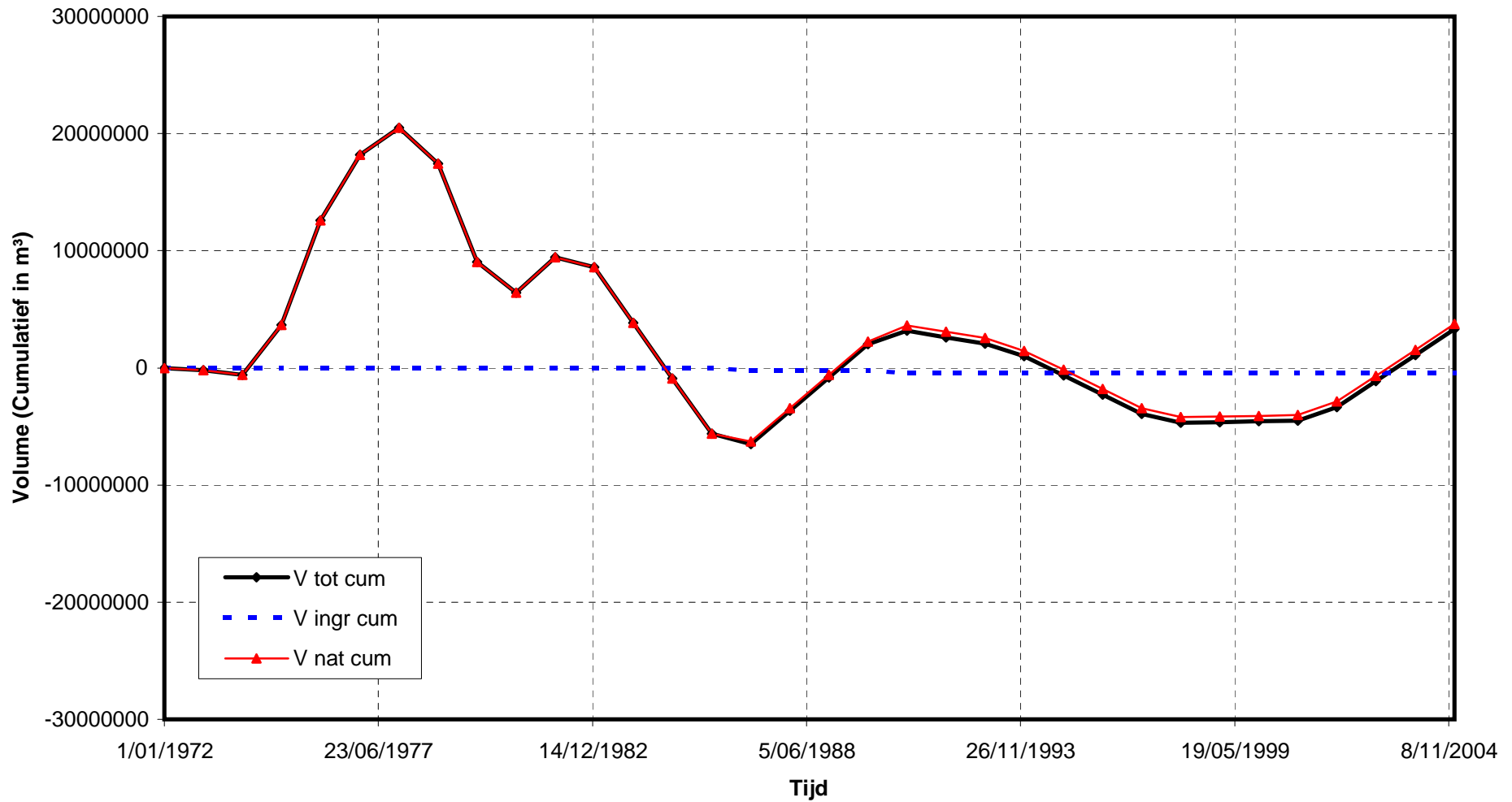




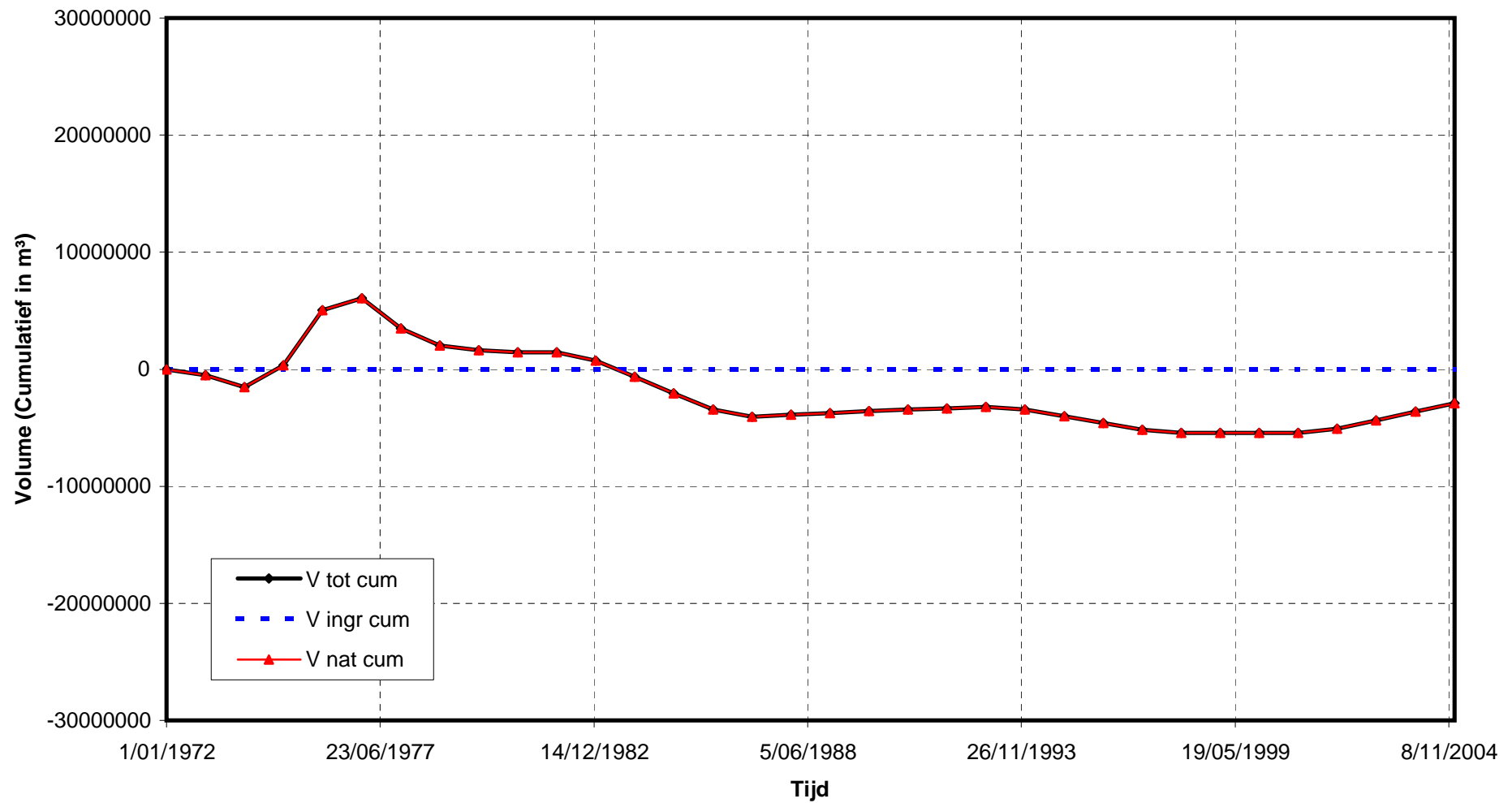
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 16



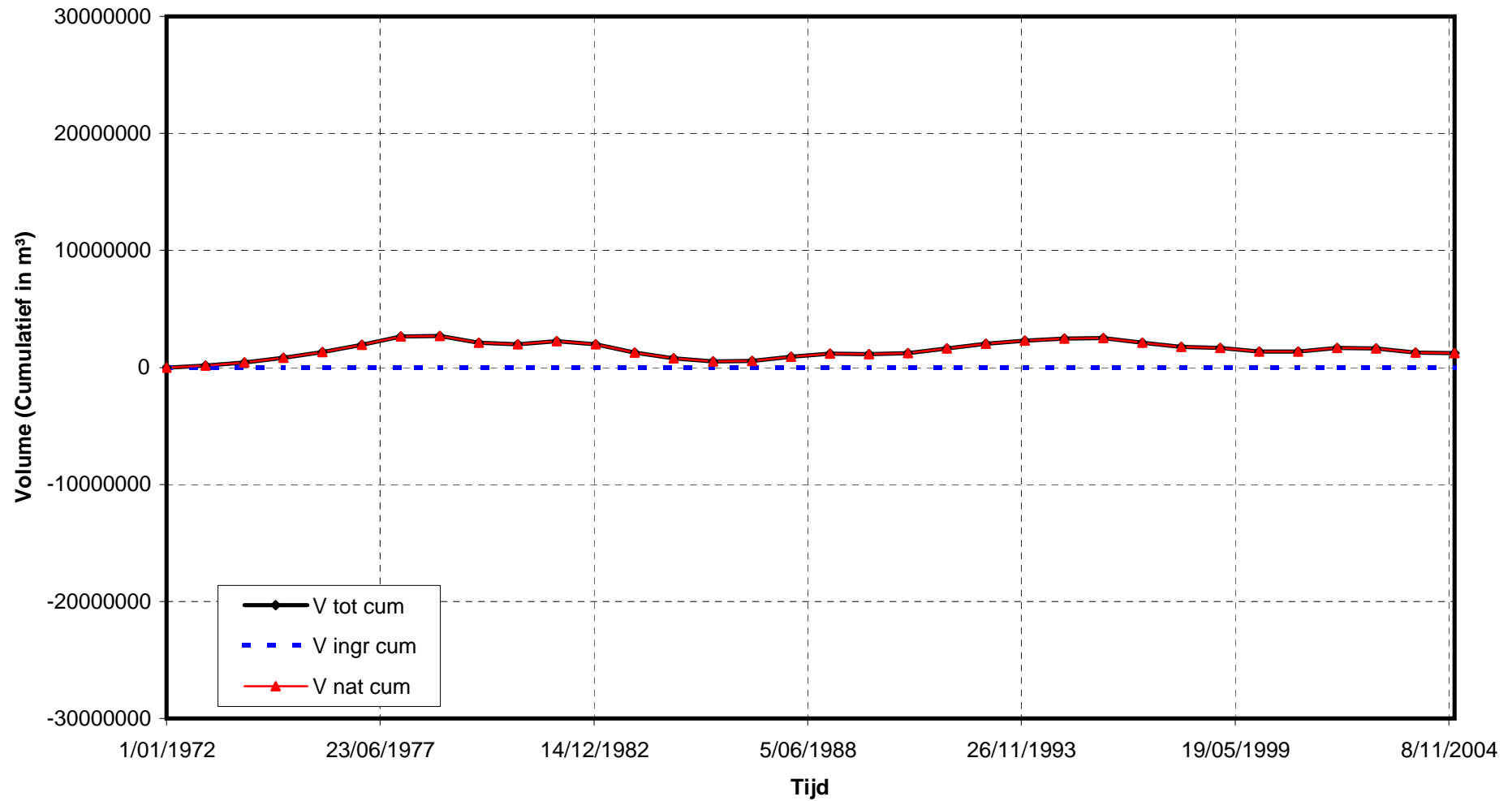
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 17



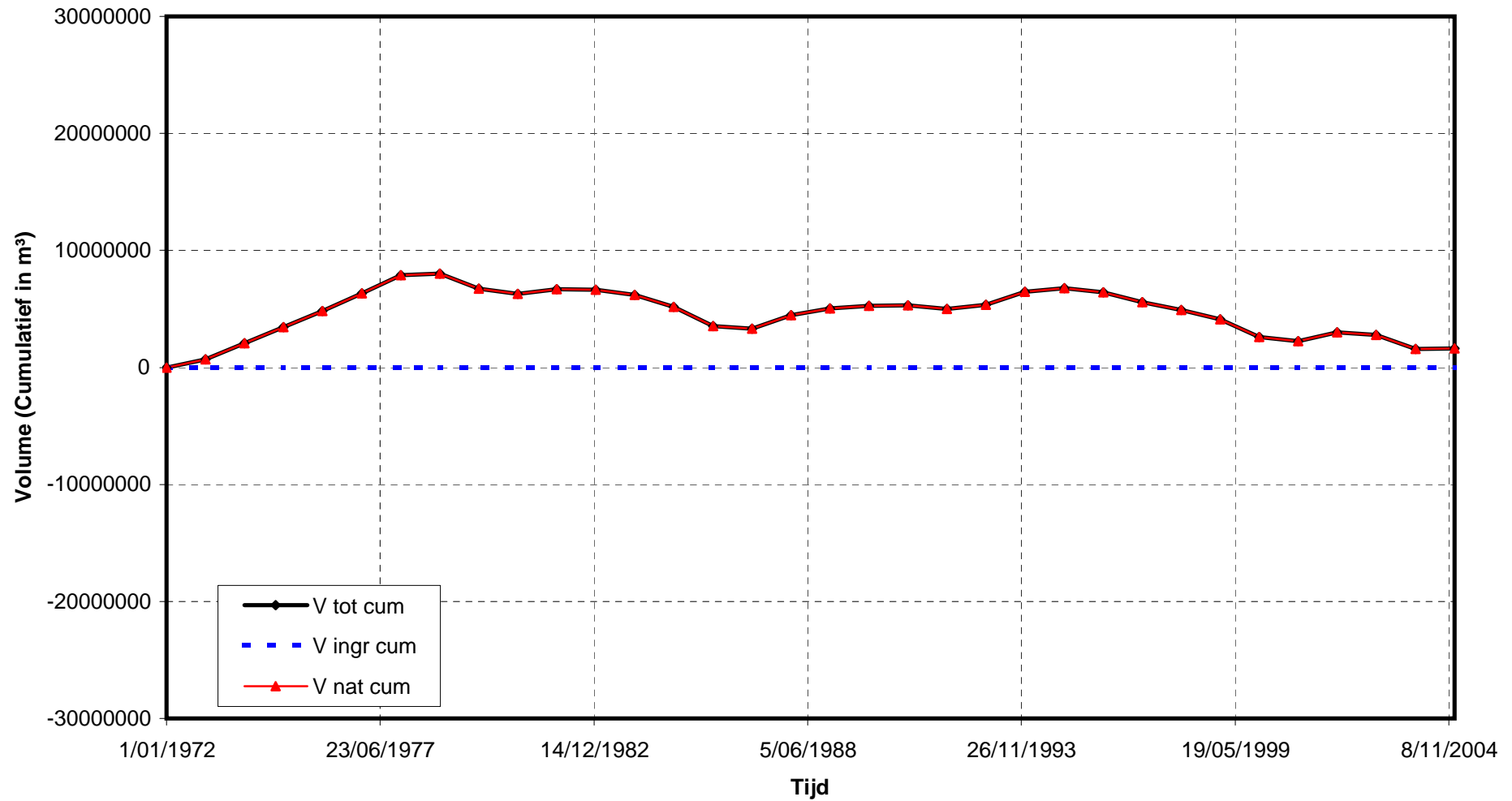
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 18



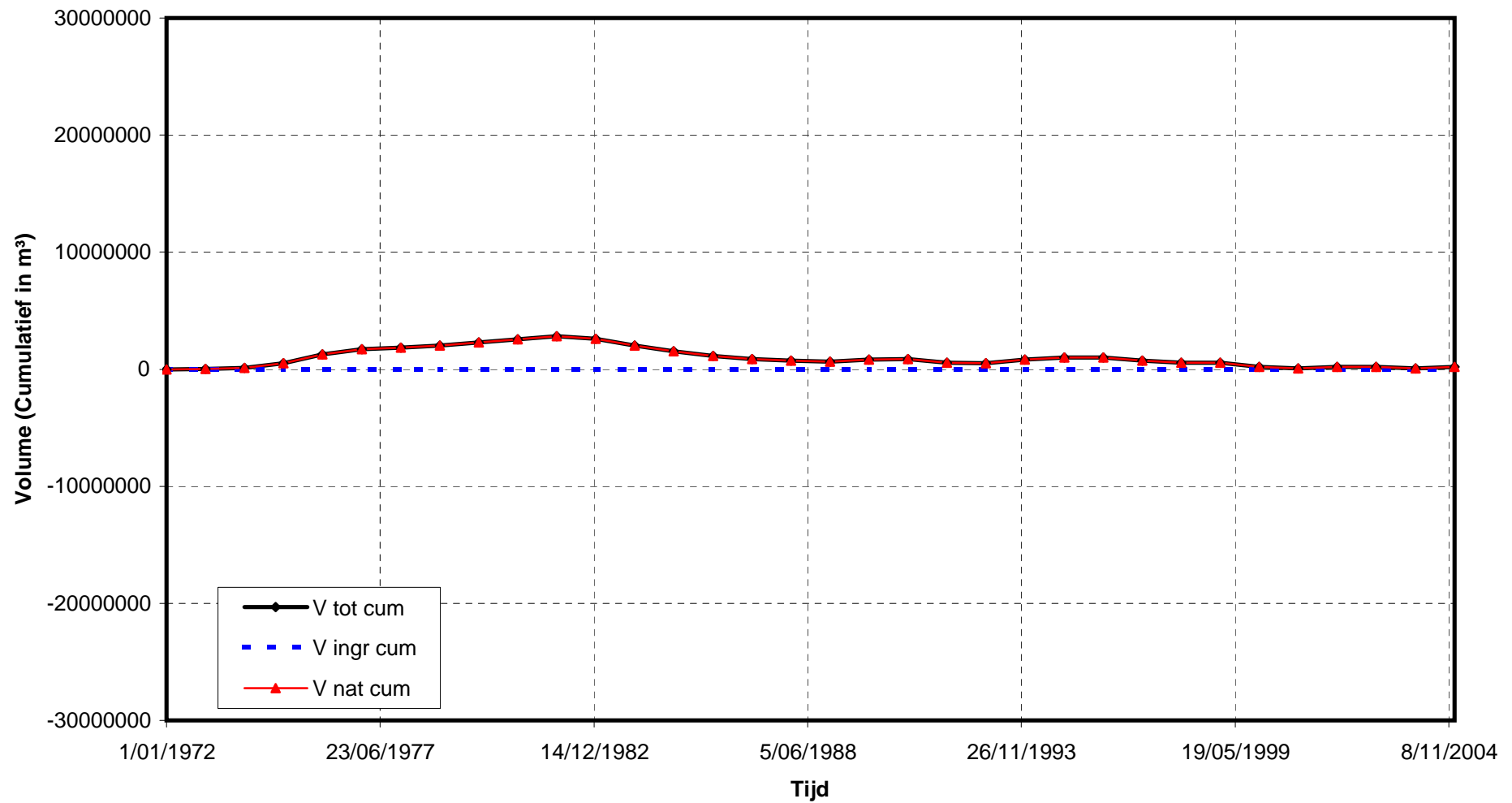
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 19



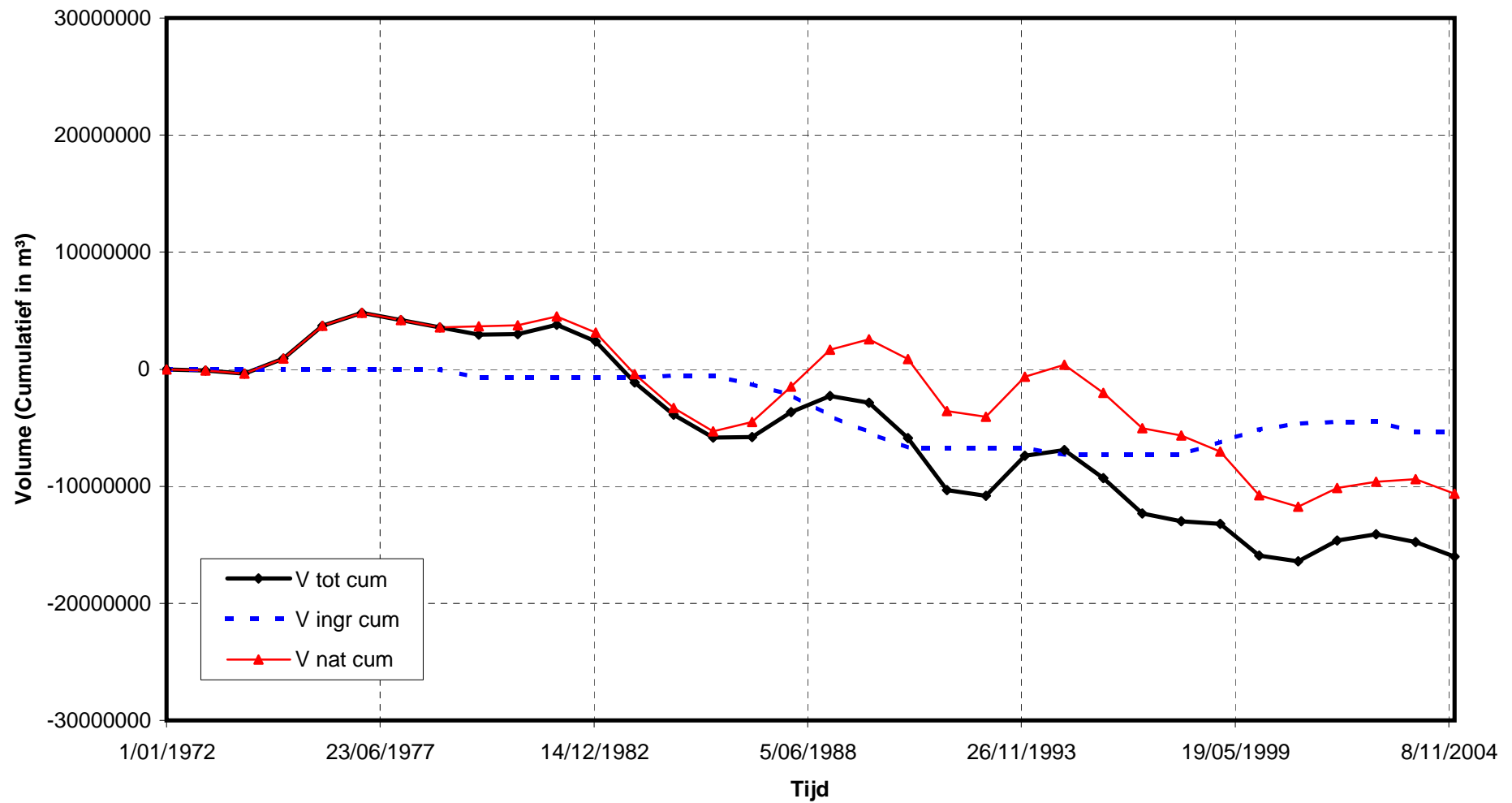
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 20



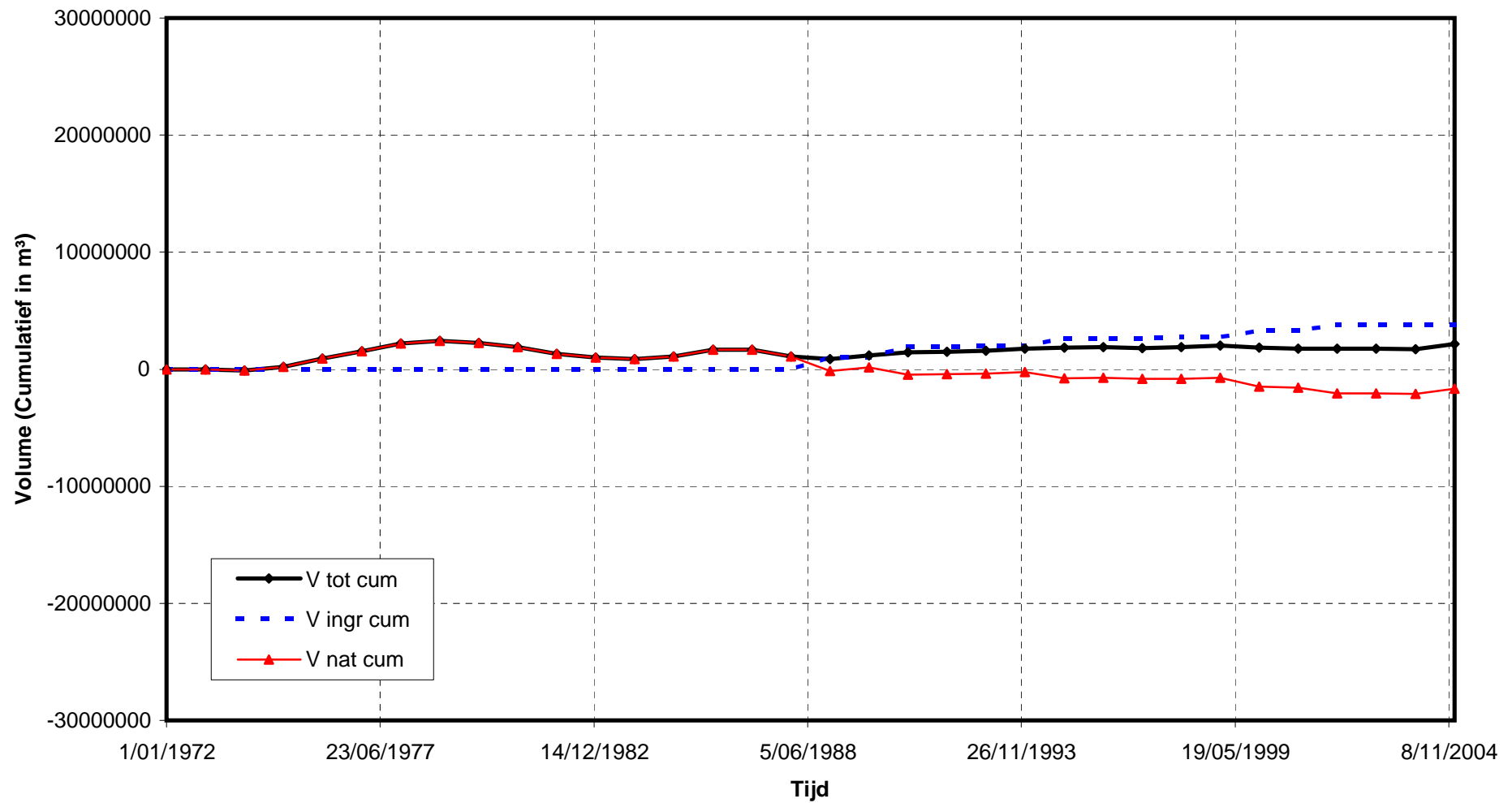
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 21



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 22

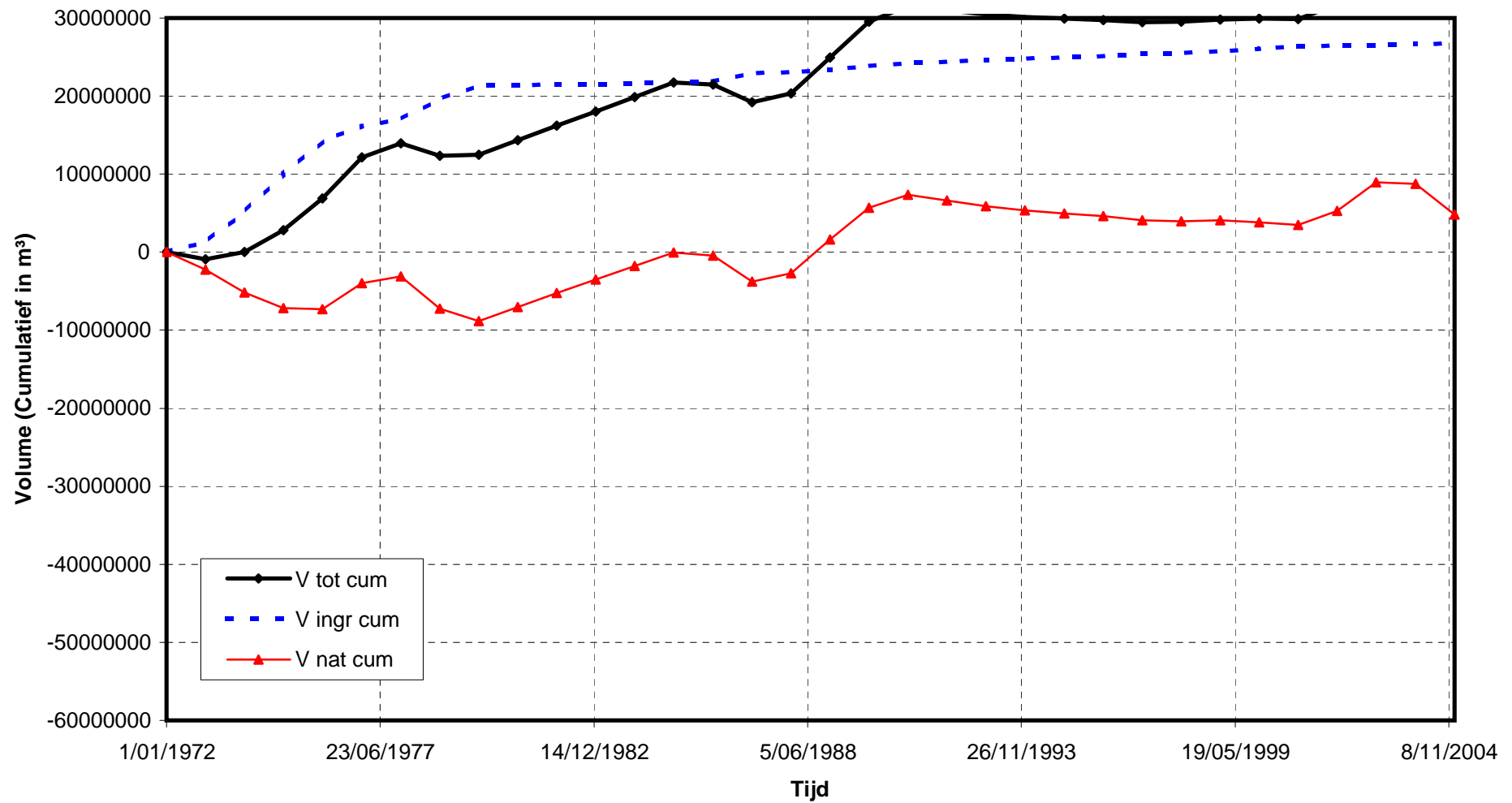


Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 23

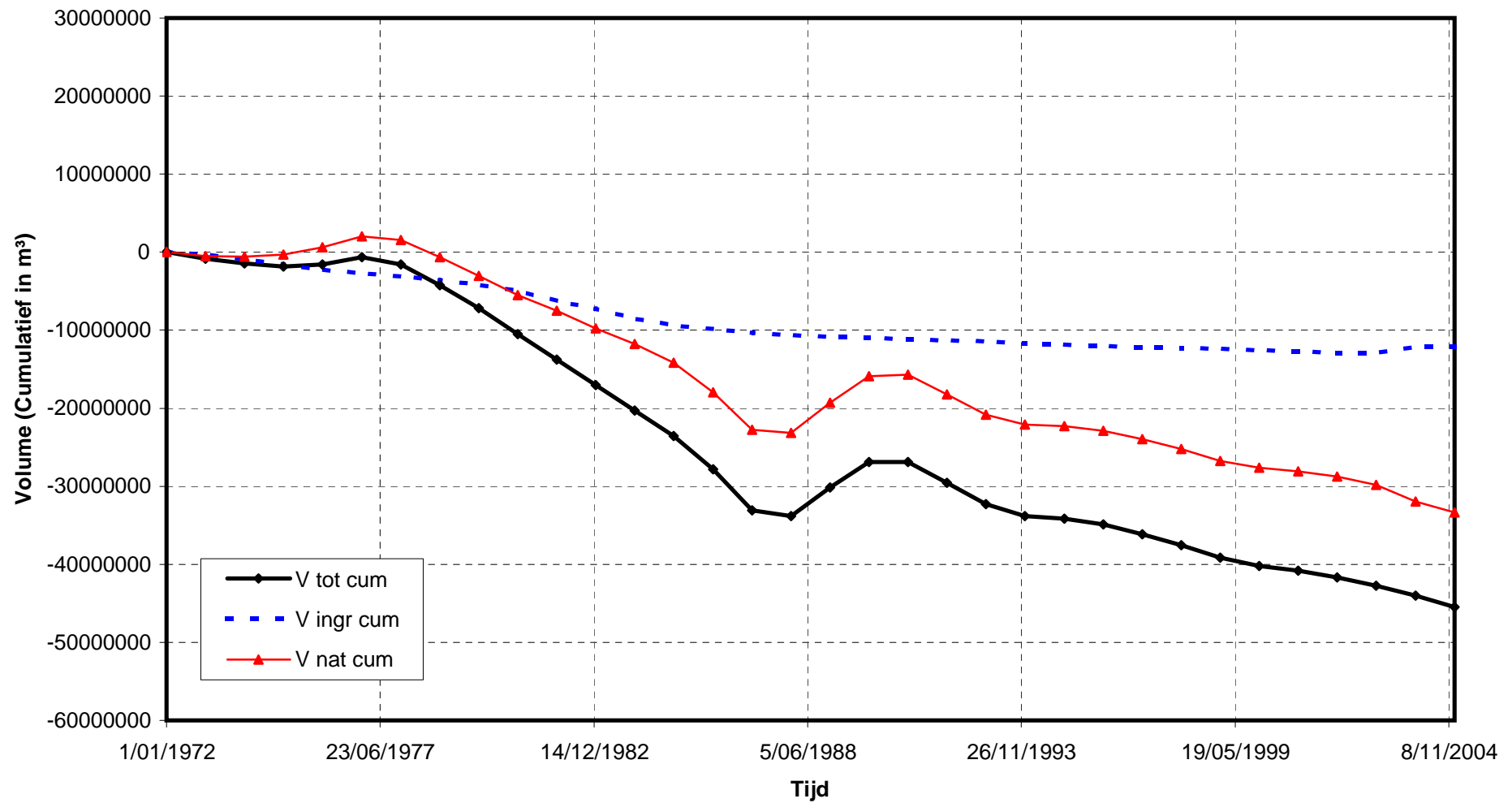




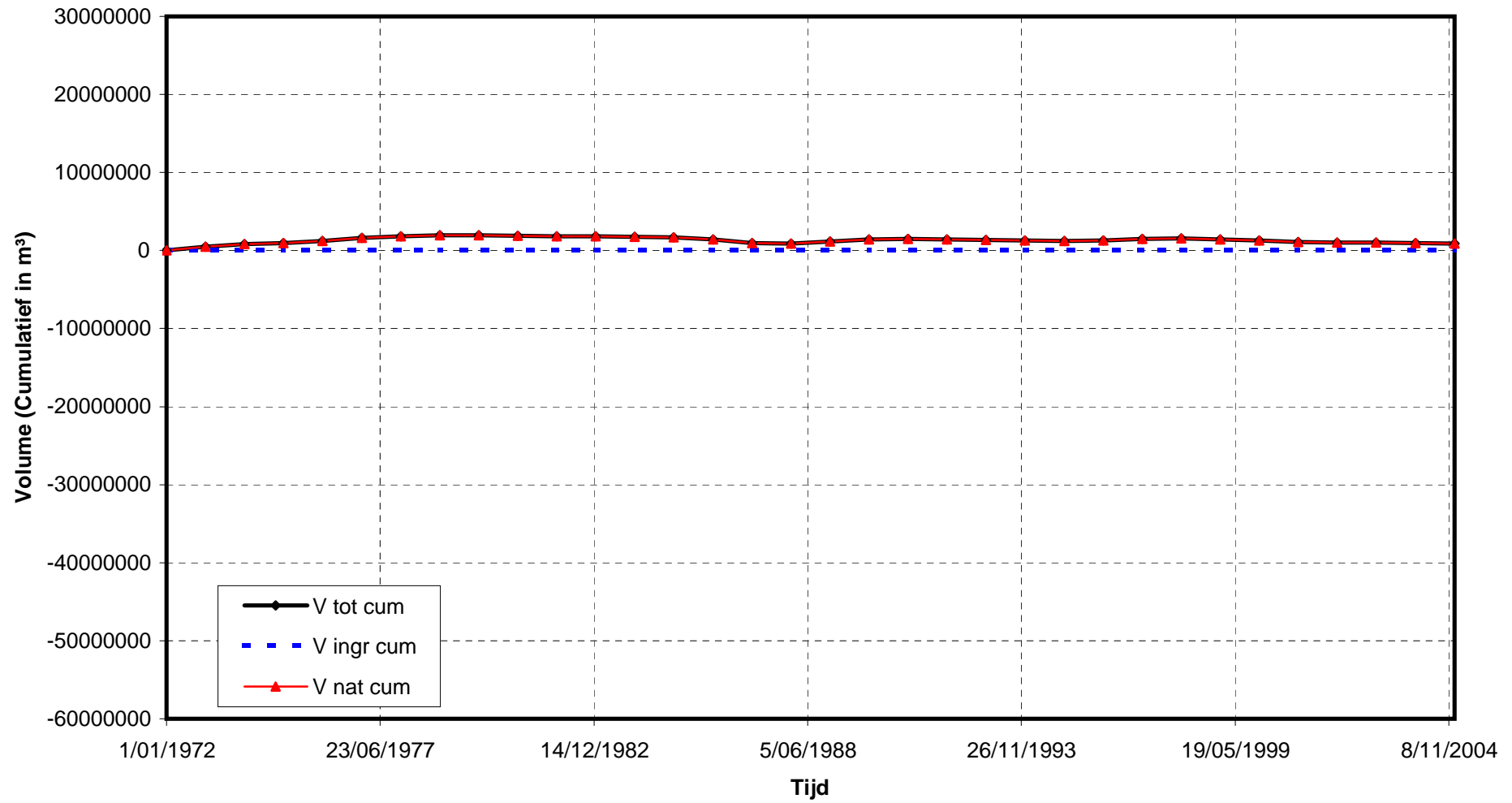
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 24



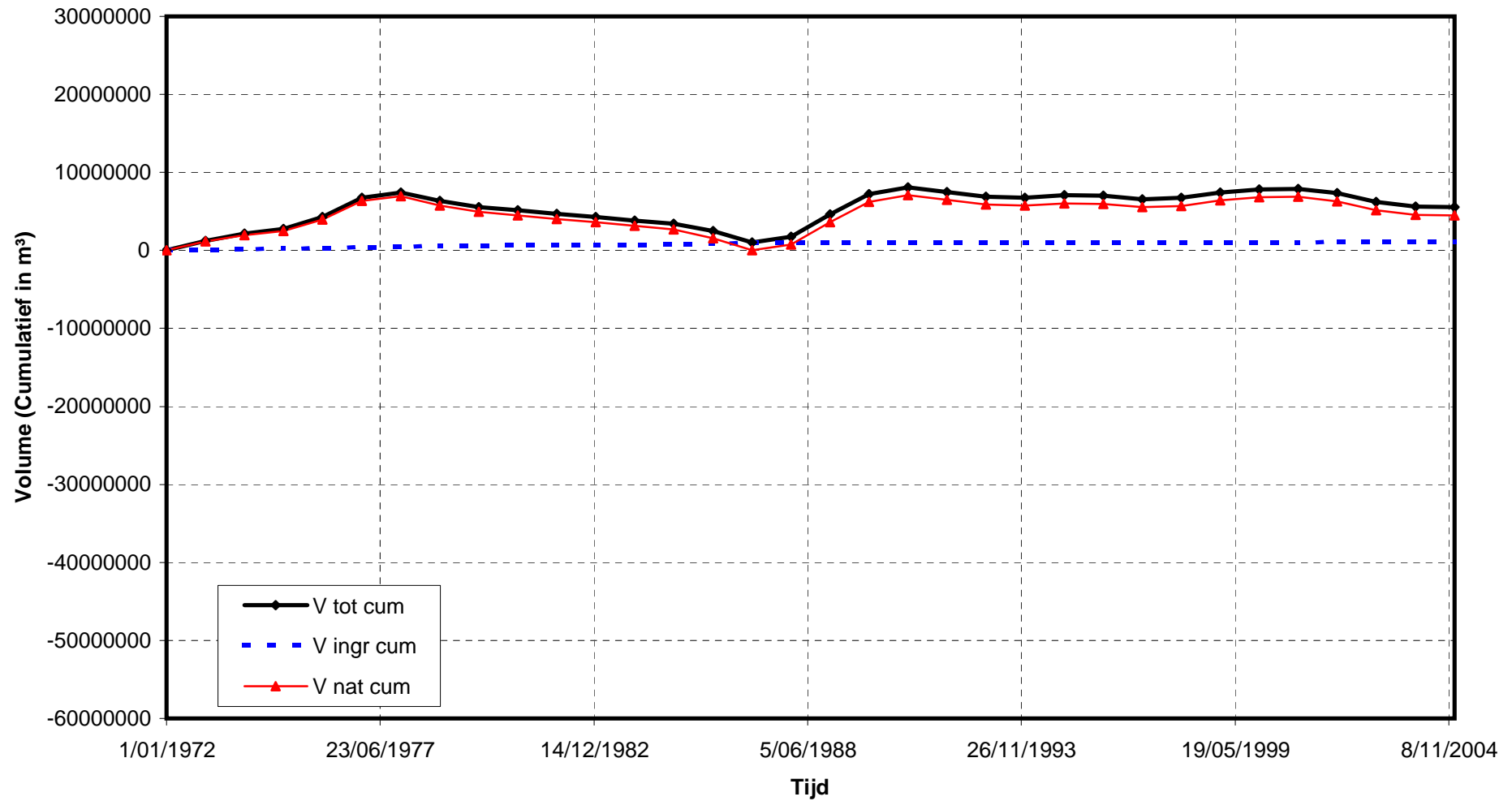
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 25



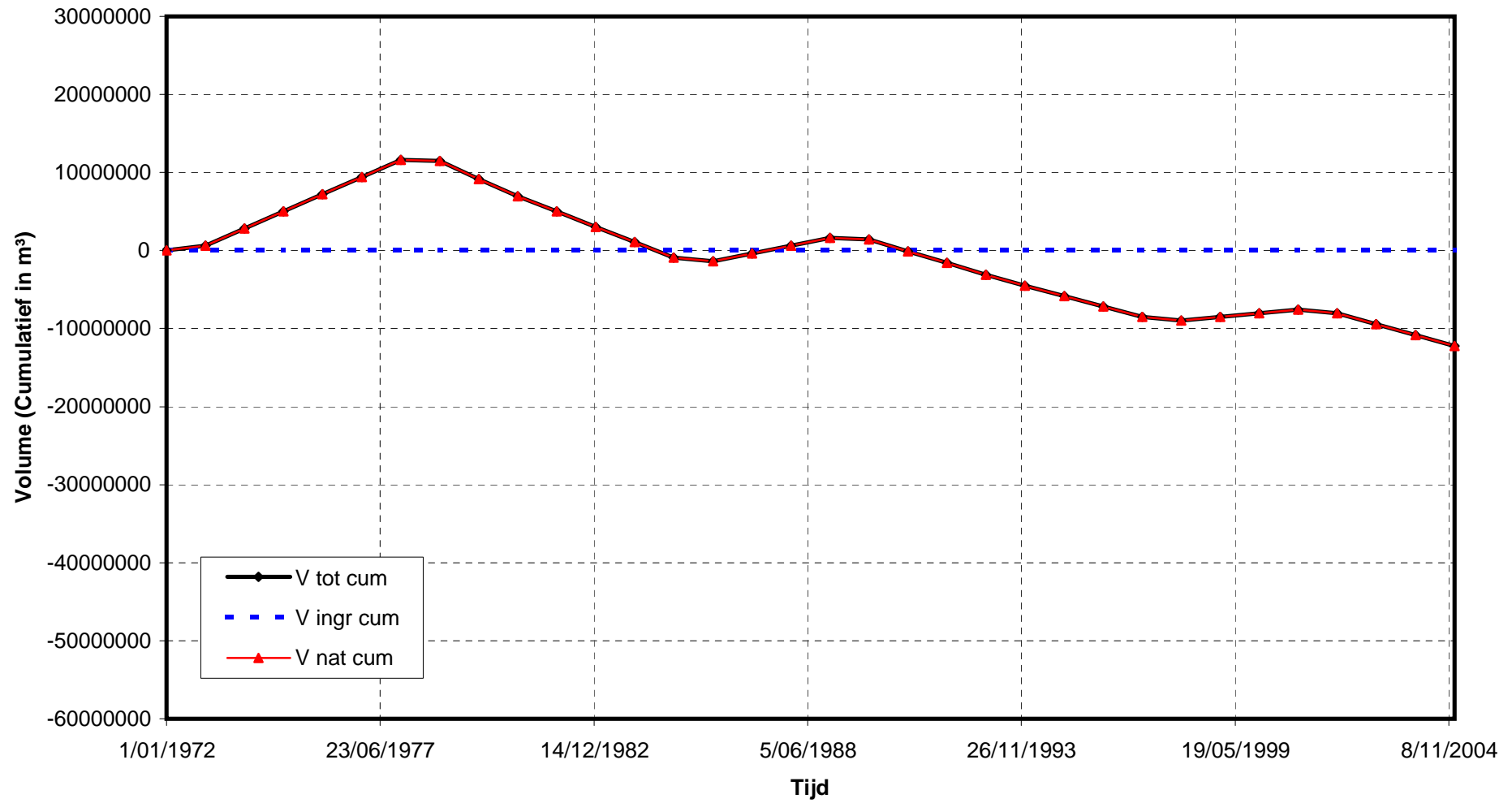
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 26



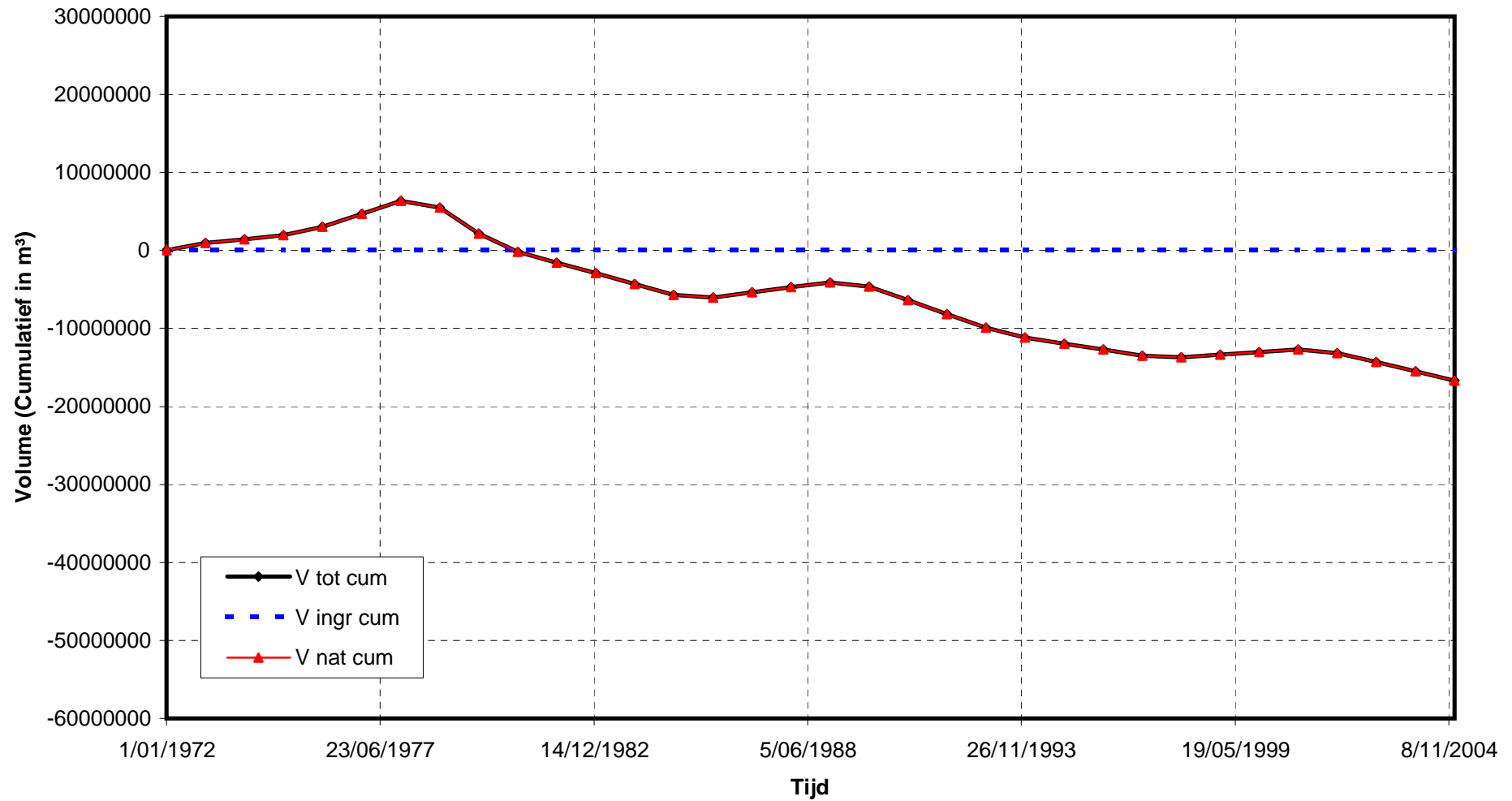
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 27



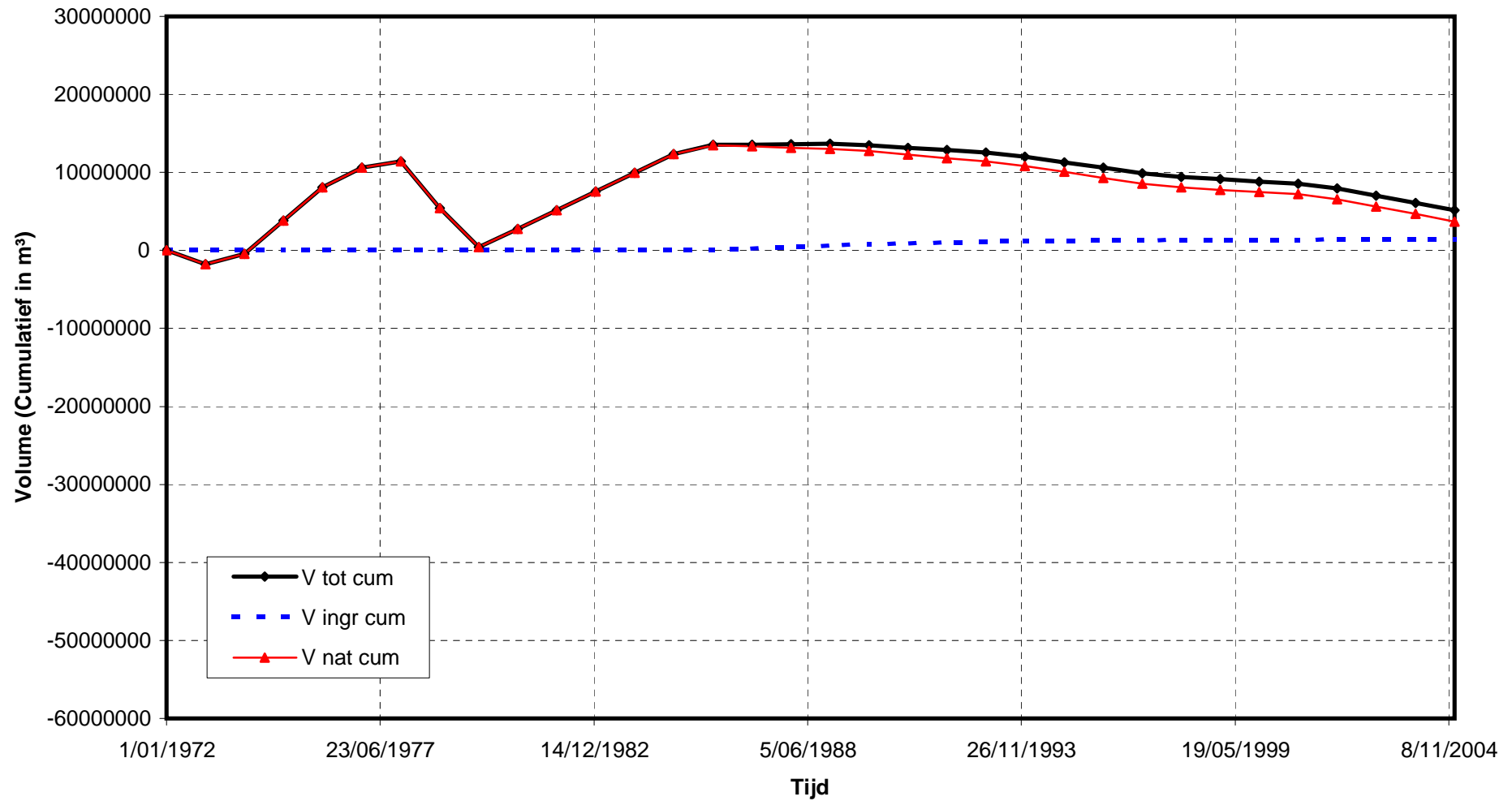
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 28



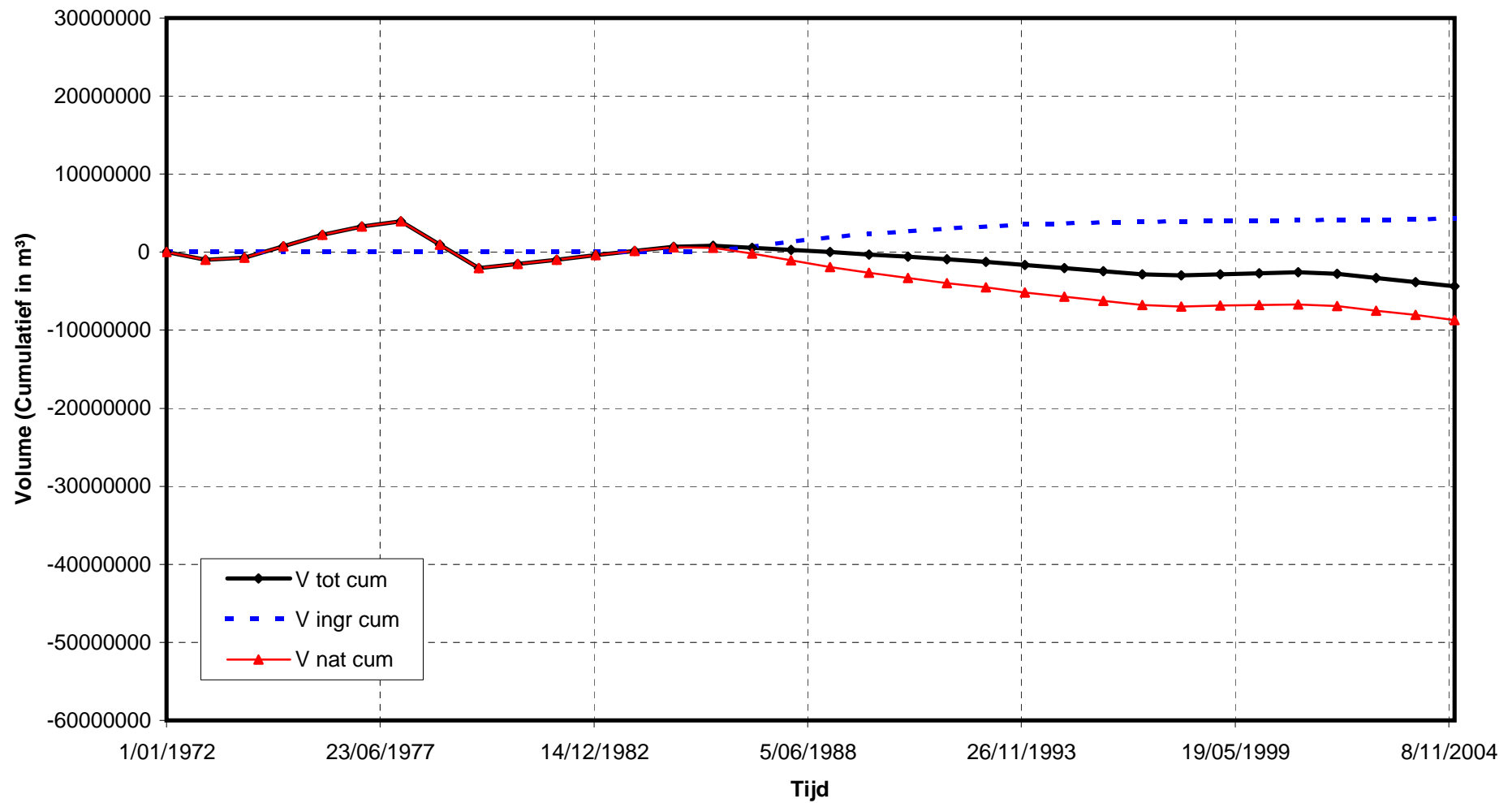
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 29



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 30

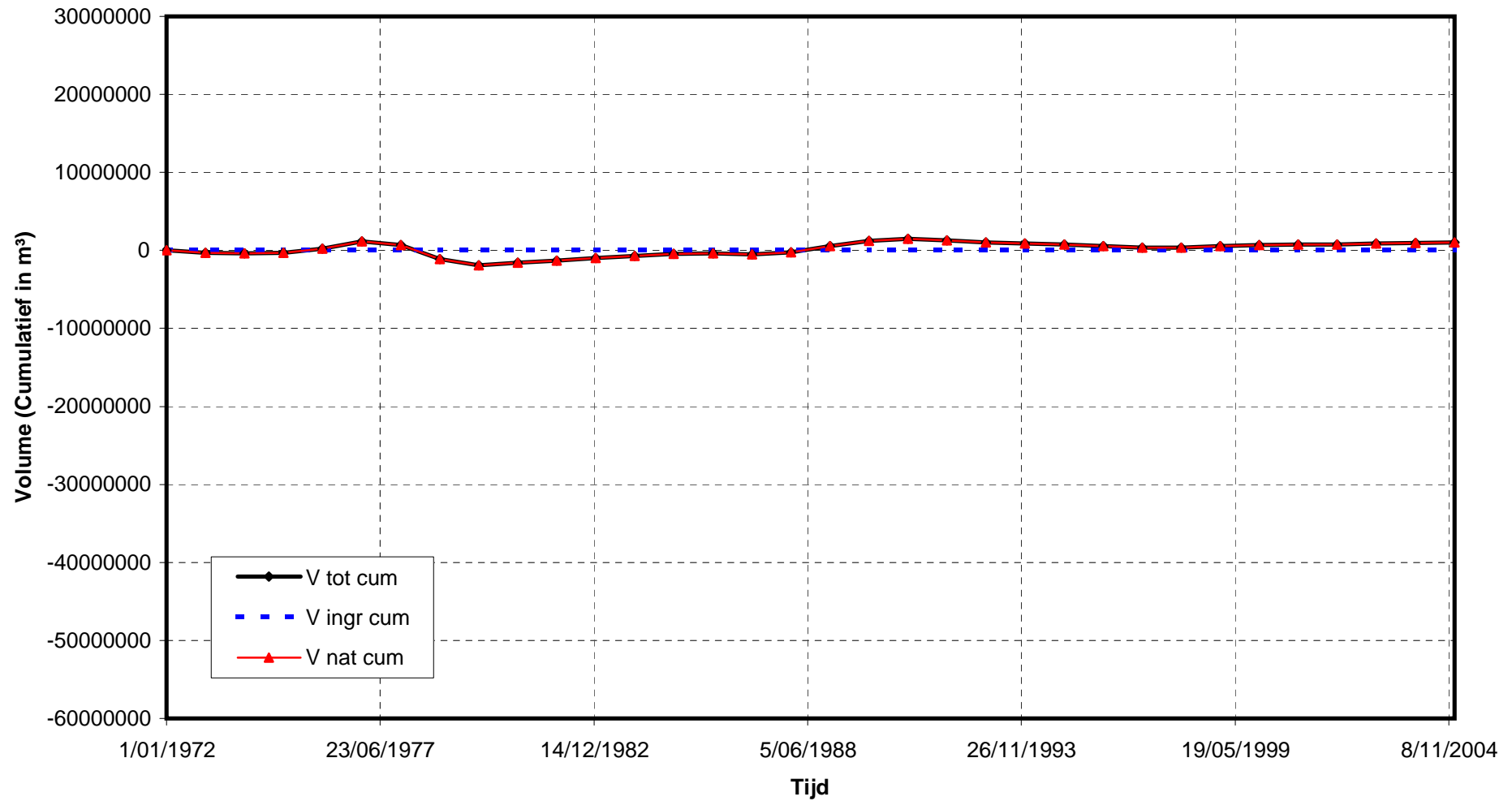


Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 31

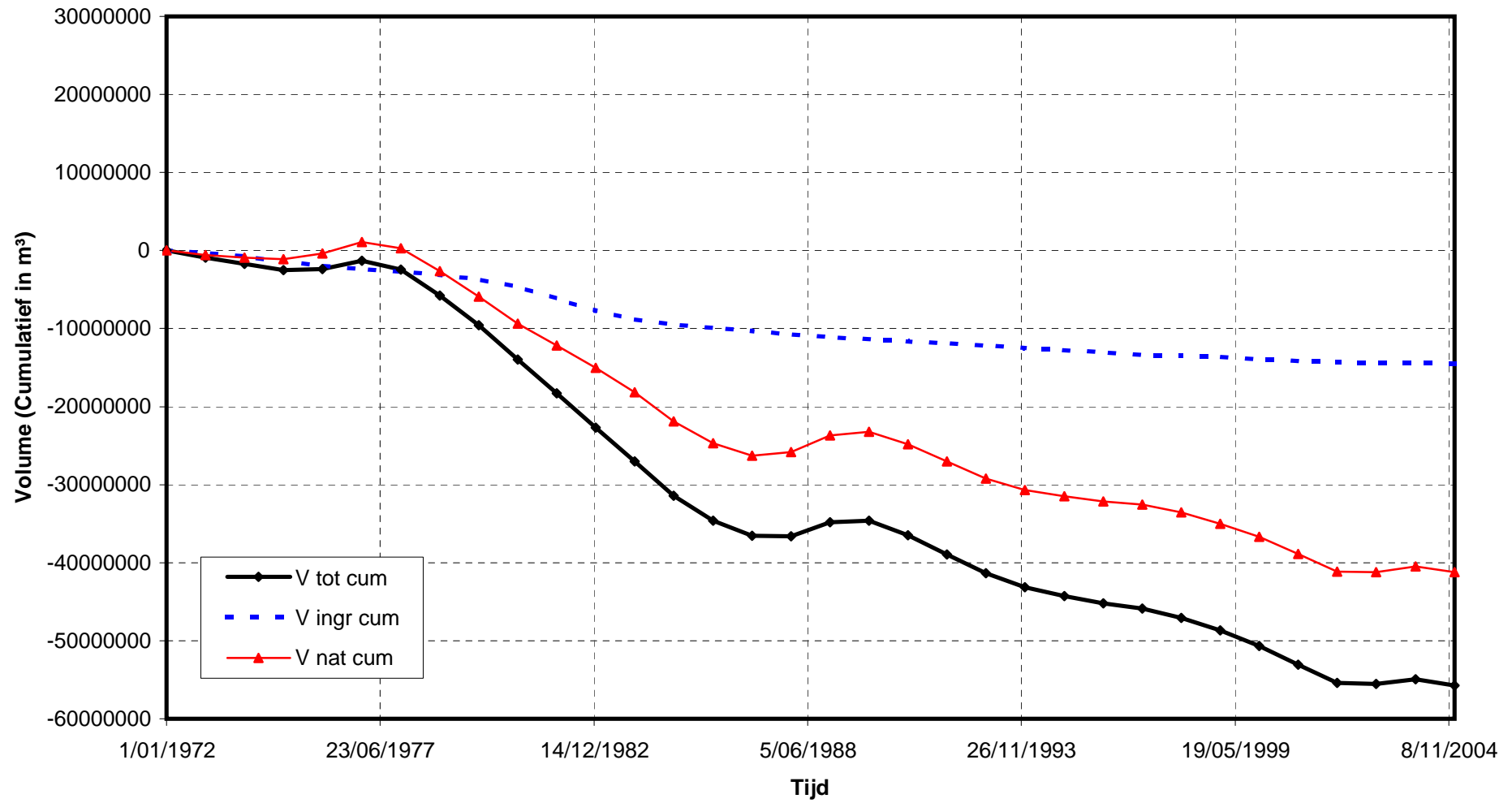




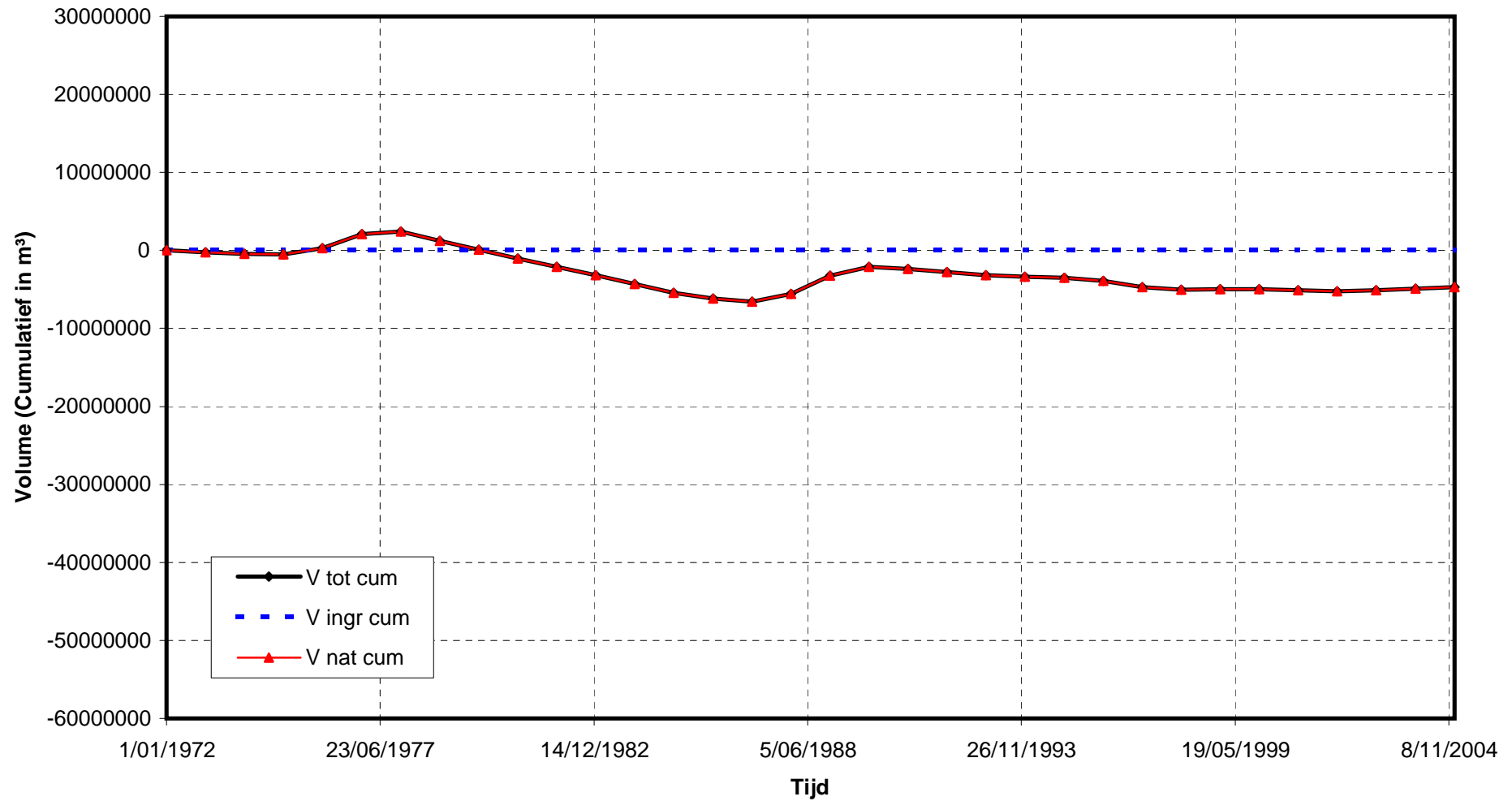
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 32



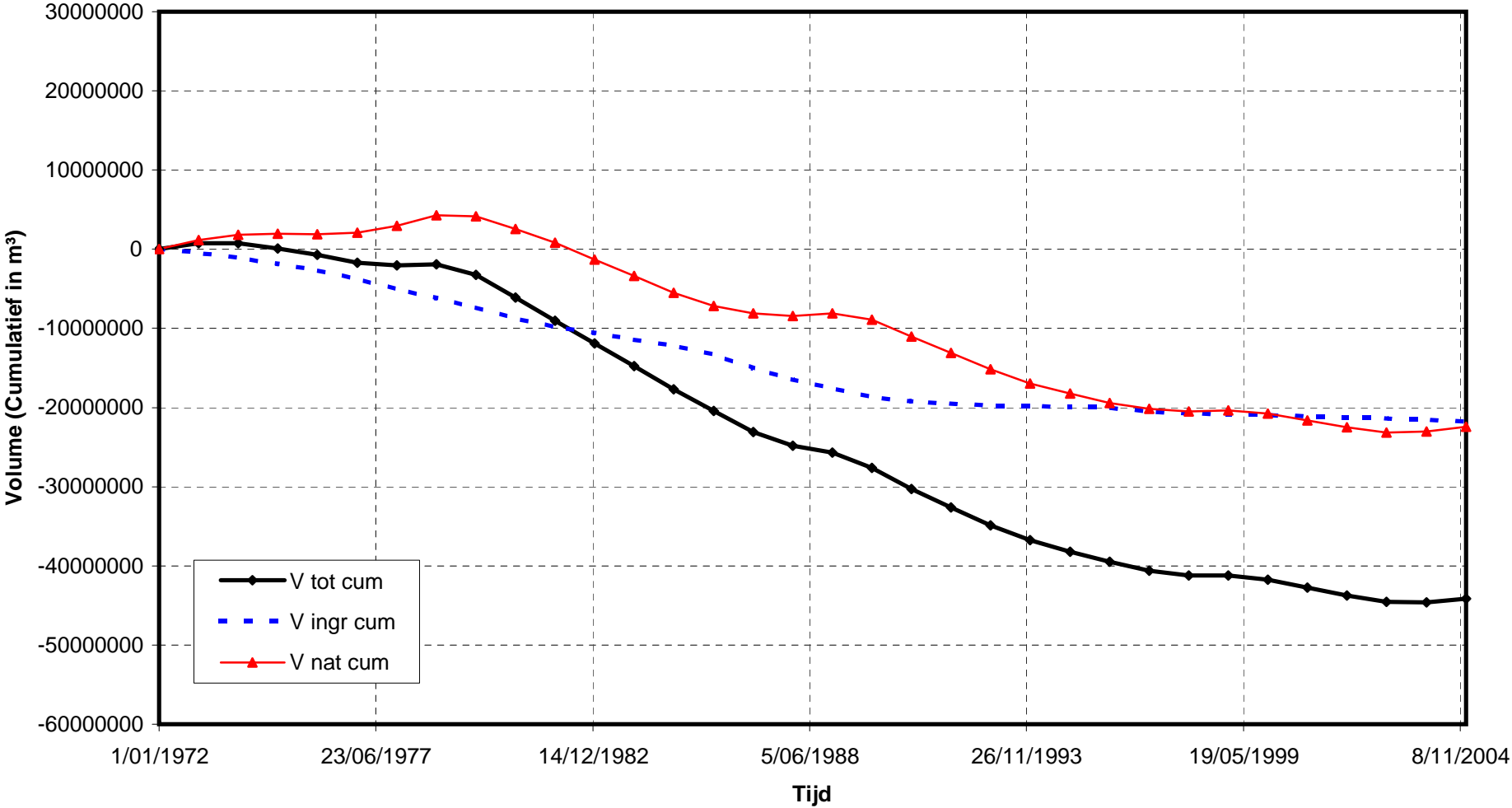
**Monding : Zandbalans 1972 - 2004**  
**Cumulatieve gegevens : Vak 33**



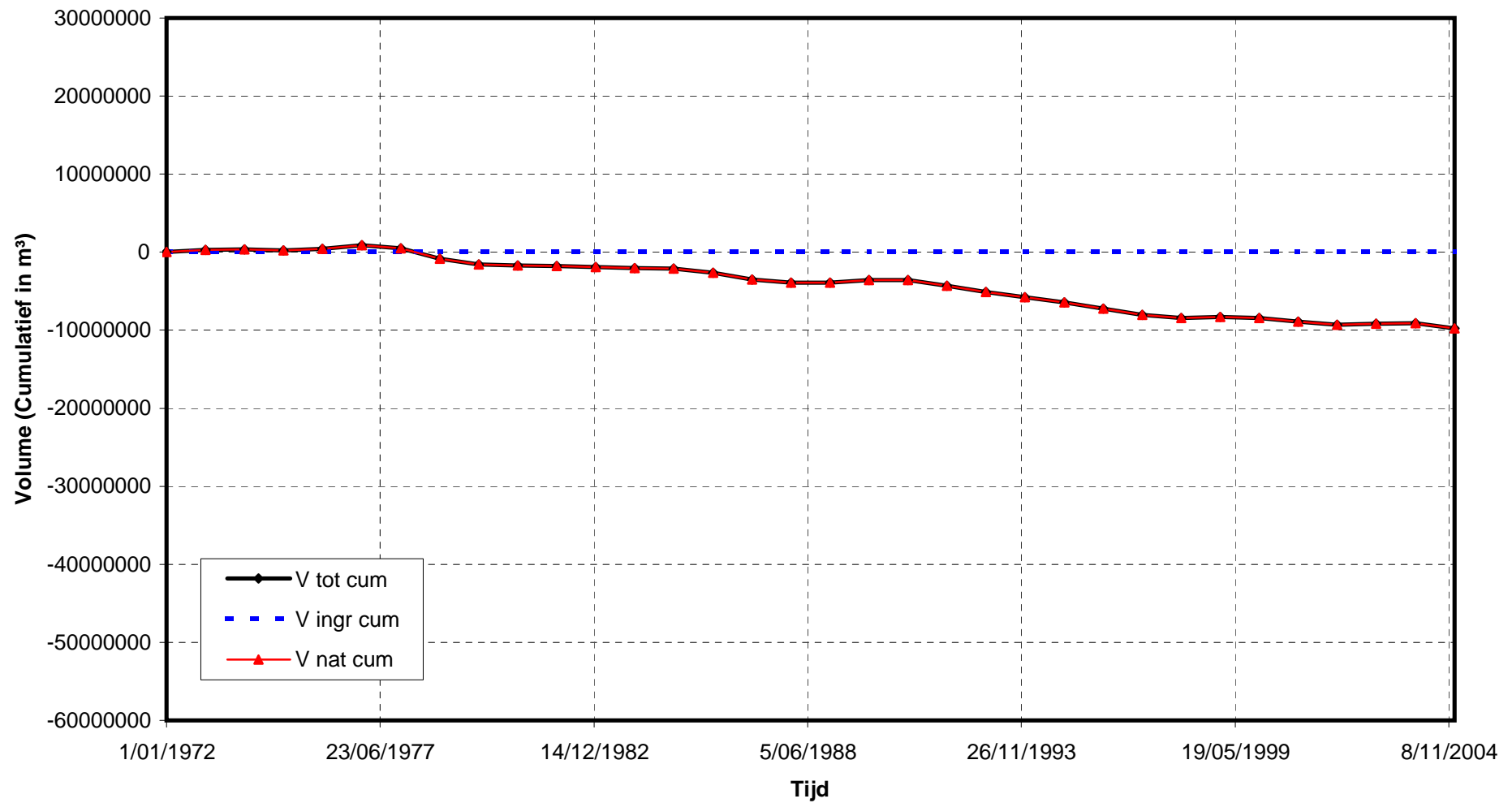
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 34



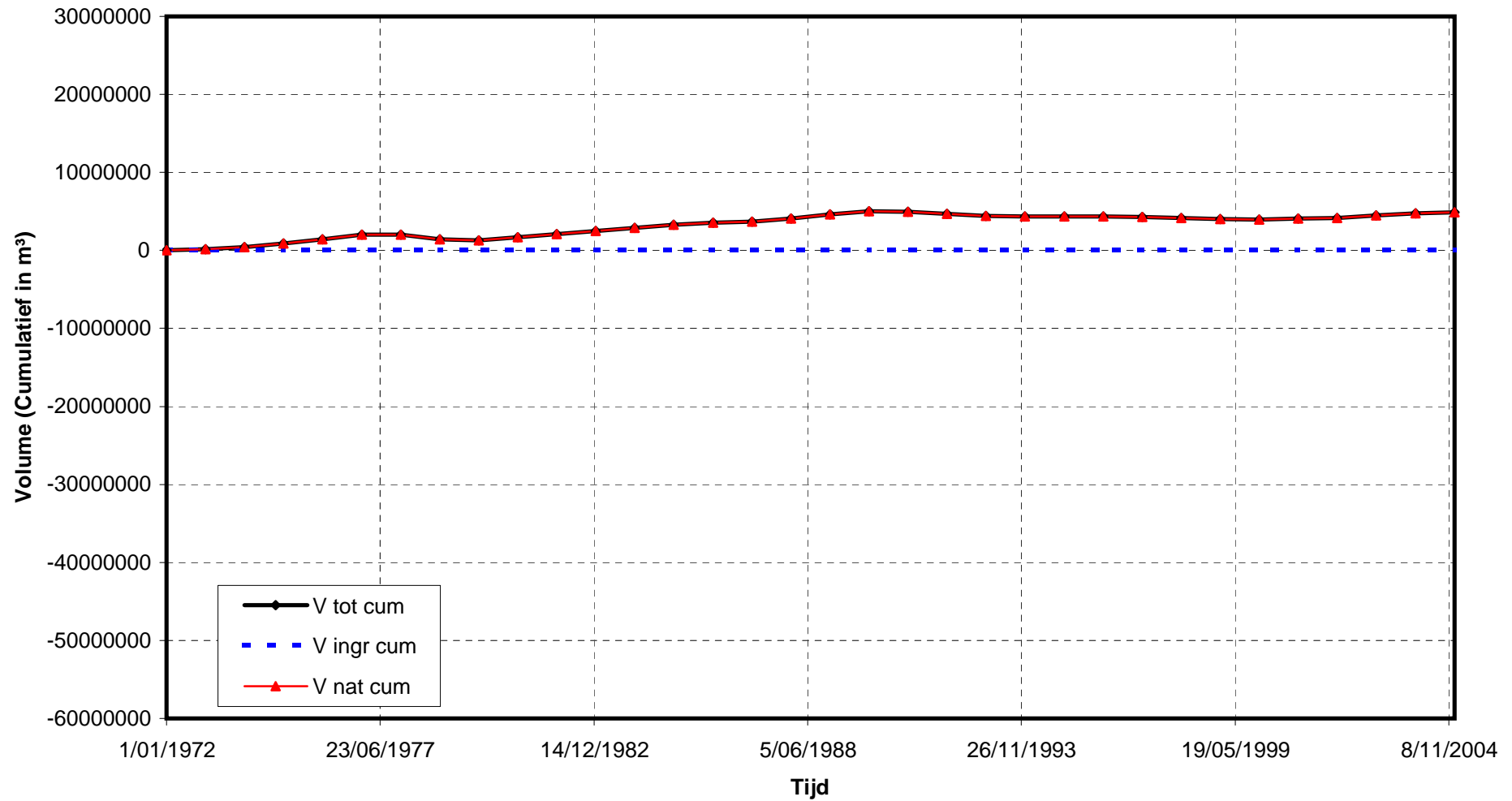
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 35



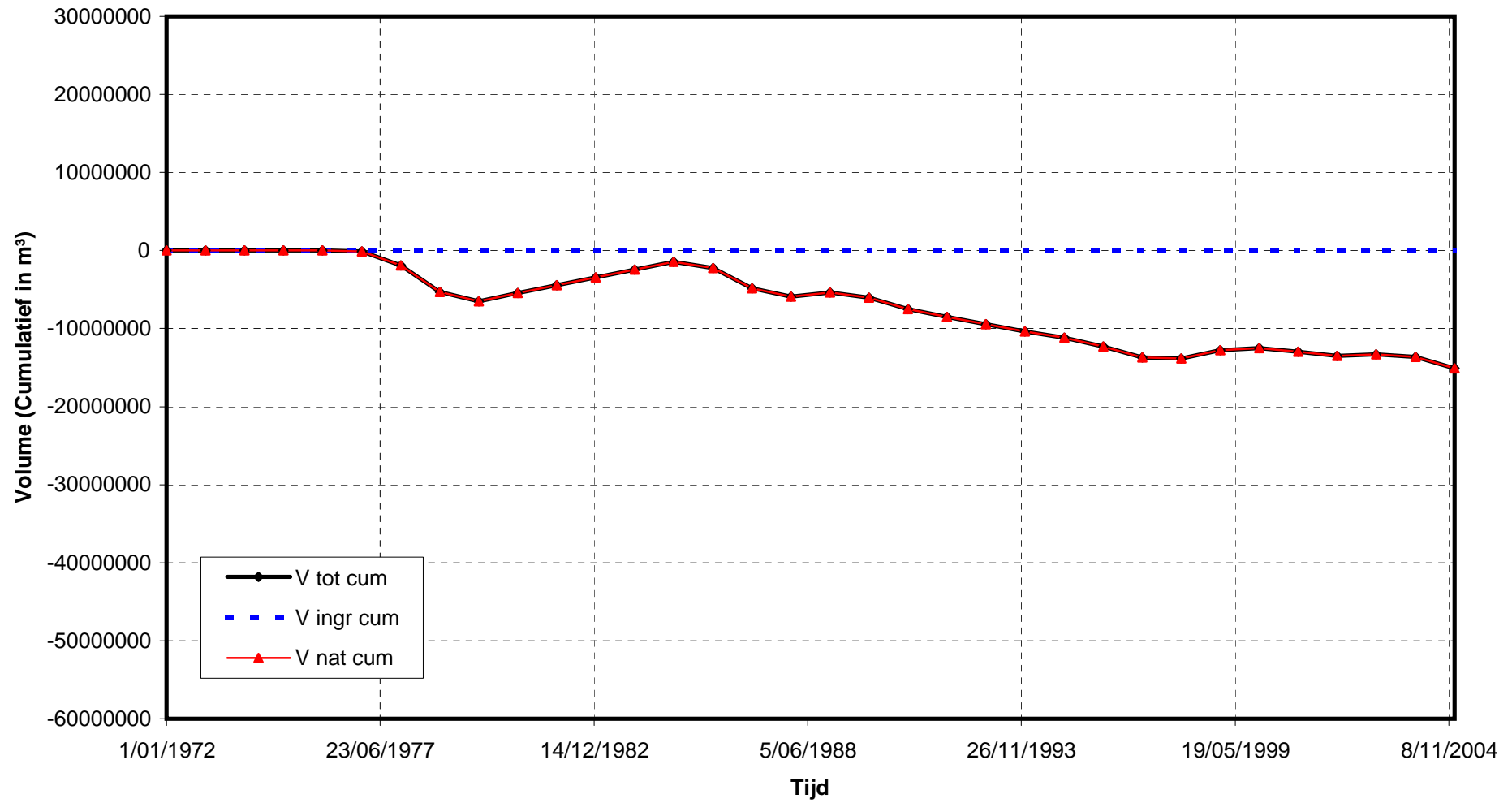
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 36



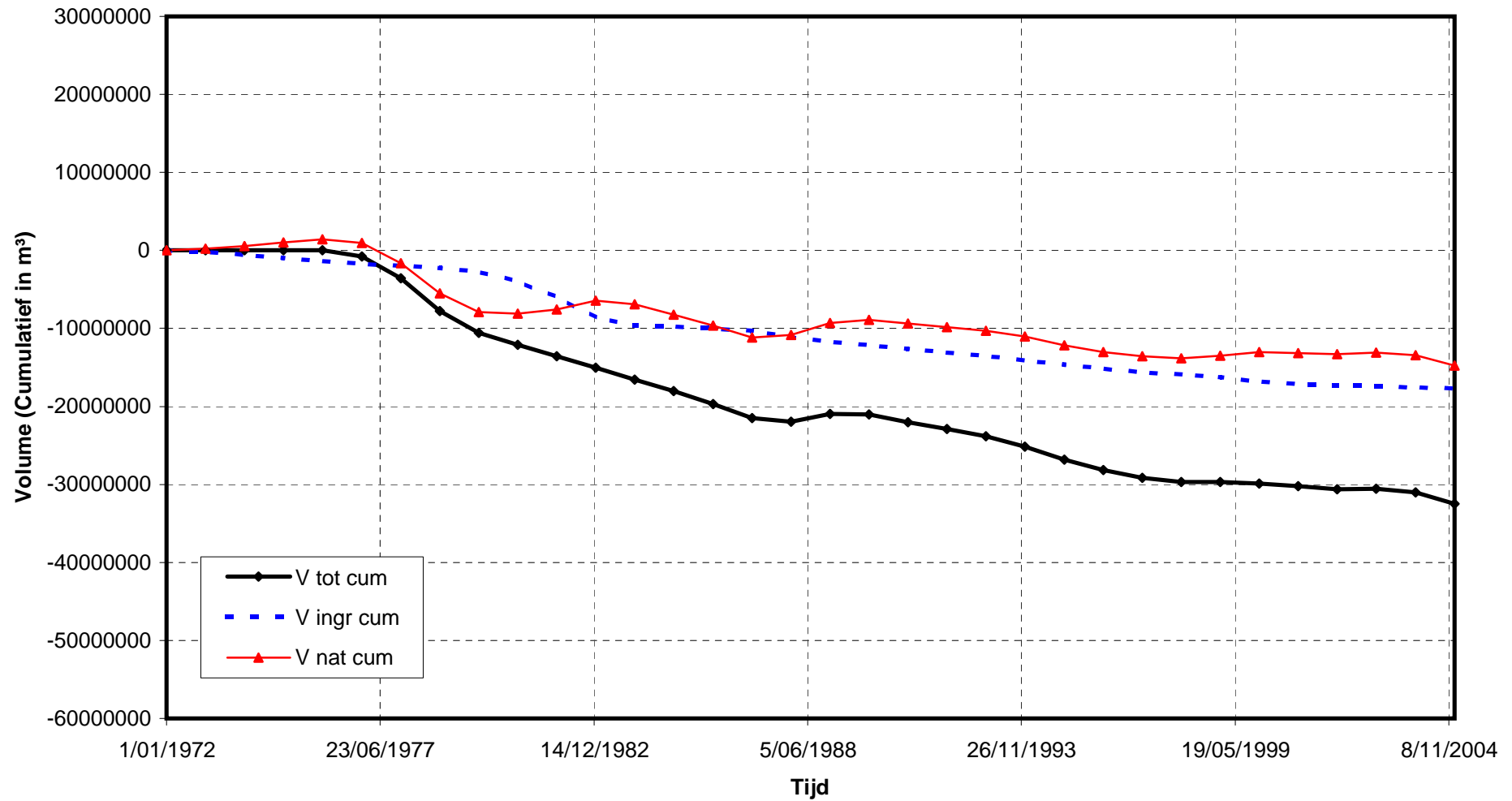
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 37



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 38

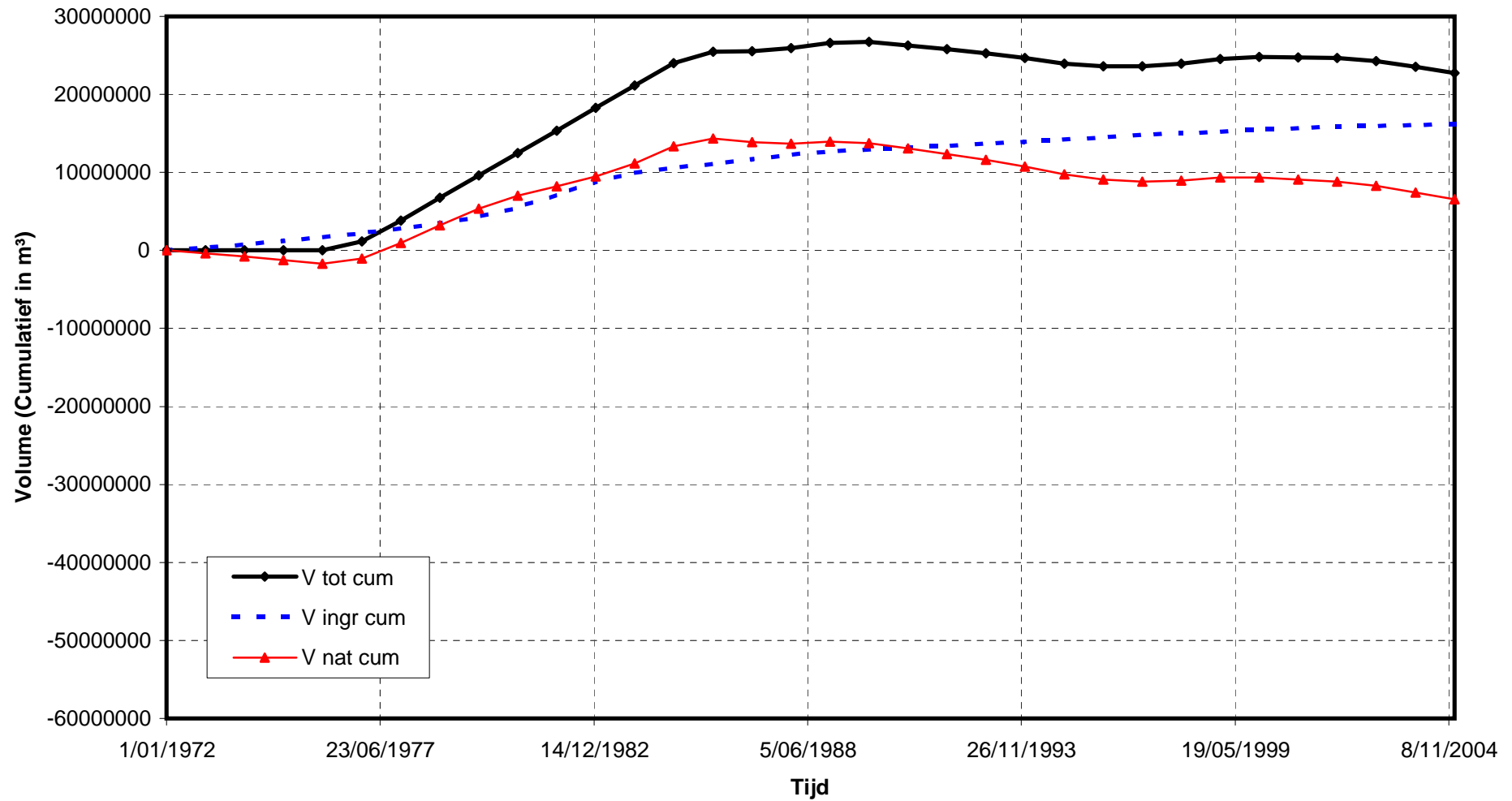


Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 39

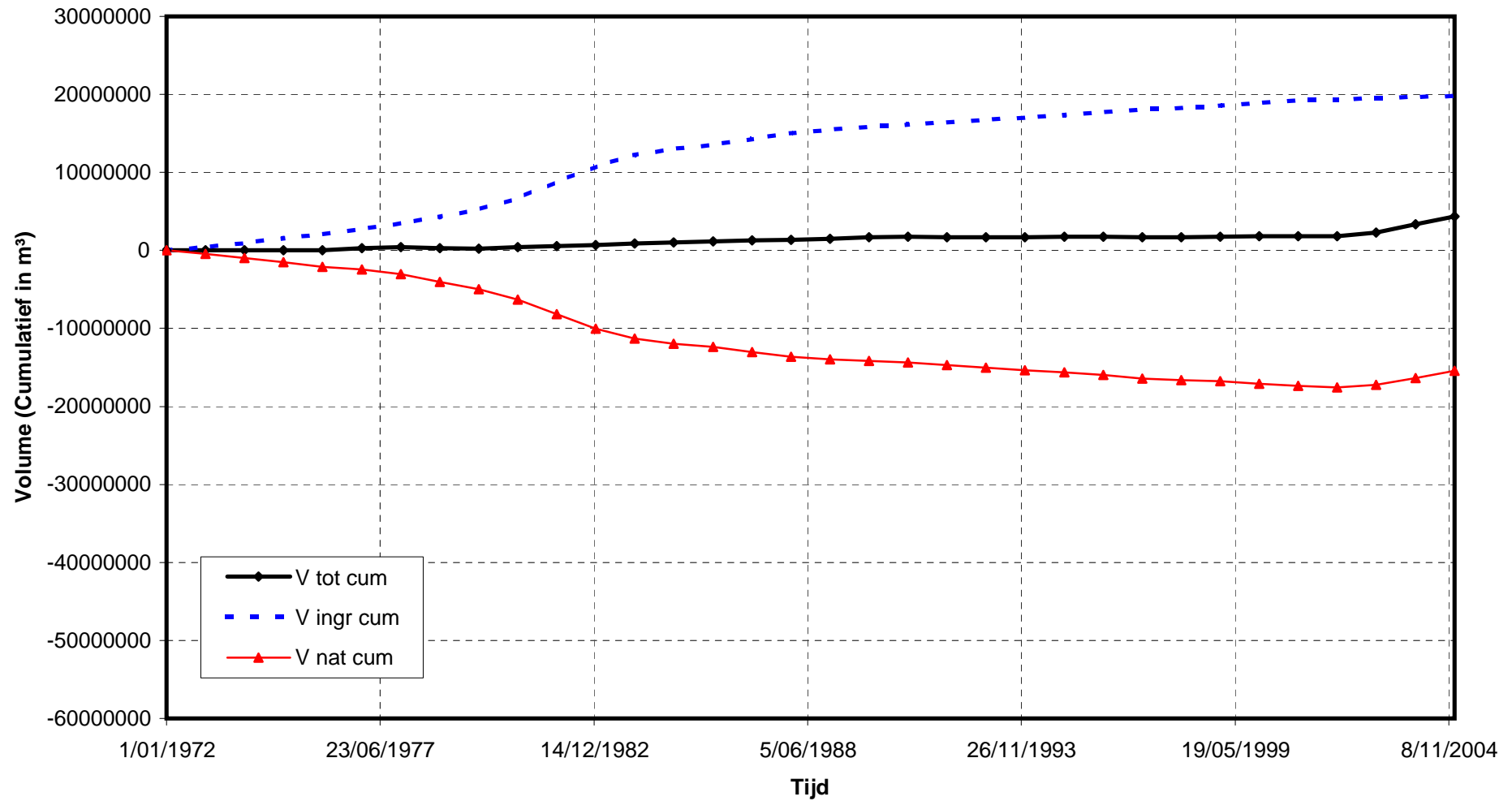




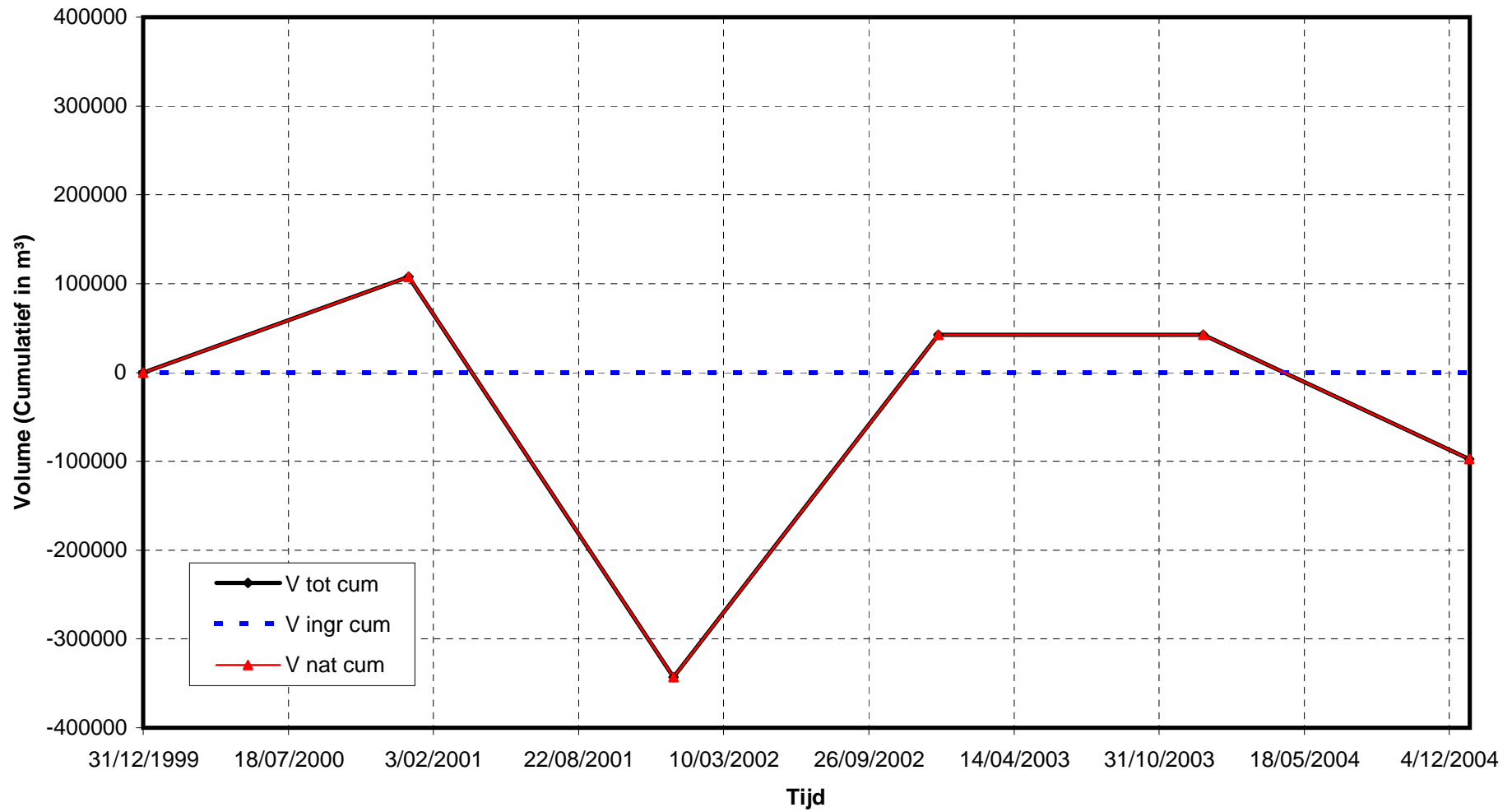
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 40



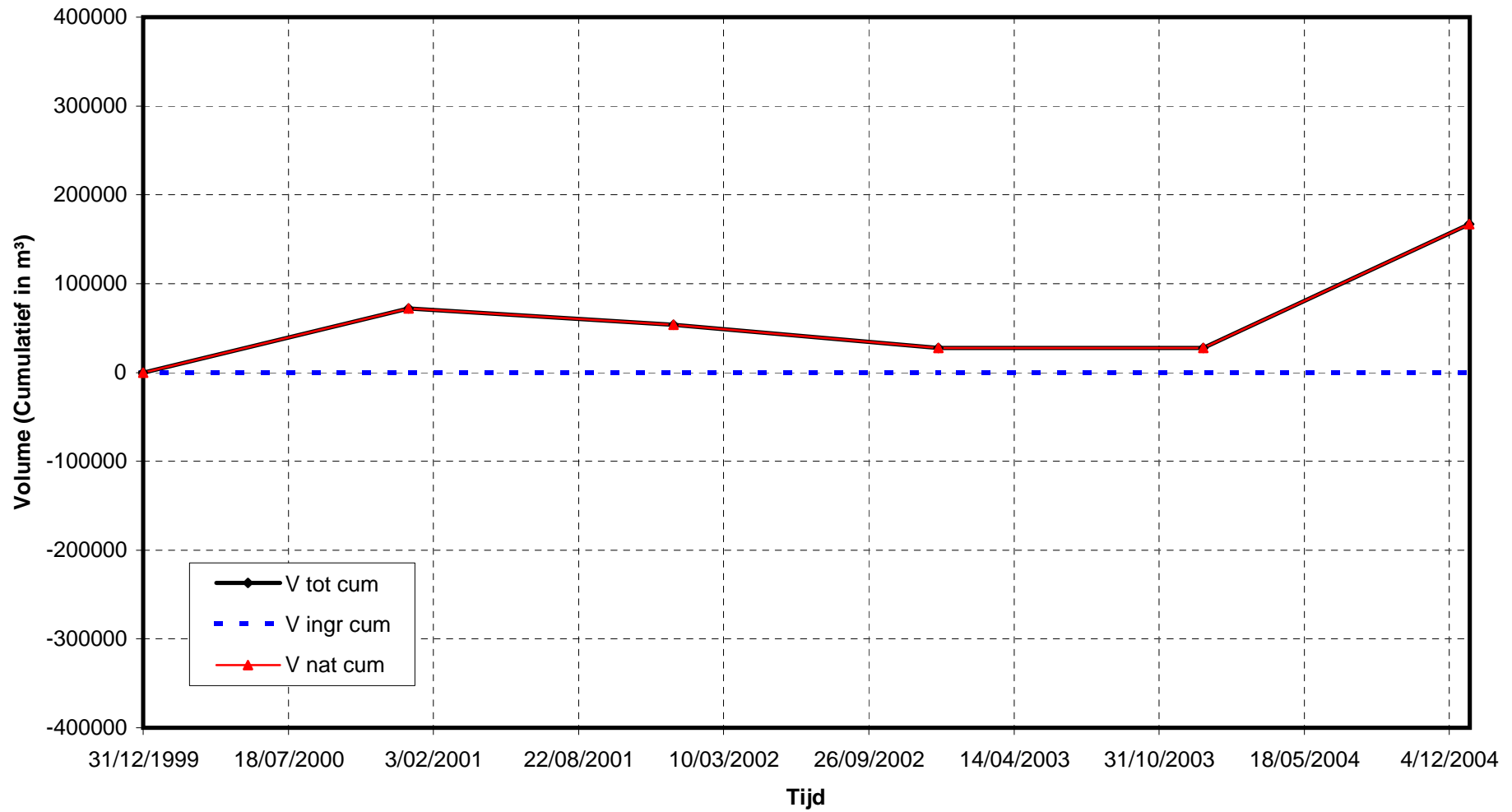
Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 41



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 42



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 43



Monding : Zandbalans 1972 - 2004  
Cumulatieve gegevens : Vak 44

