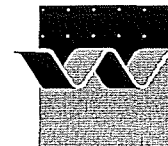


# Uitbreiding en verbetering Estmorf

P.M.C. Thoolen



**wl | delft hydraulics**



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------------|----|------------|---|
| OPDRACHTGEVER:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                | Directoraat Generaal Rijkswaterstaat<br>Rijksinstituut voor Kust en Zee<br>Middelburg                              |          |           |                 |    |            |   |
| TITEL:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                | Uitbreiding en verbetering Estmorf                                                                                 |          |           |                 |    |            |   |
| SAMENVATTING:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
| <p>Dit rapport bevat van een verslag van de studie 'uitbreiding en verbetering Estmorf'. Tijdens deze studie is onderzoek gedaan naar</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. de implementatie van kortsluitgeulen in Estmorf</li><li>2. het gebruik van Sobek en Implic, gekoppeld aan Estmorf</li><li>3. de Implic schematisatie van de monding van de Westerschelde</li><li>4. een nieuwe modelschematisatie van het Land van Saeftinge</li><li>5. de invloed van een initiële morfologische situatie op de morfologische Estmorf berekeningen</li></ol> <p>Ad. 1 De belangrijkste conclusie is dat kortsluitgeulen migreren 'door de Estmorf vakken heen'. Dit is een 2D verschijnsel waardoor Estmorf niet goed in staat is in detail de morfologische ontwikkeling van de kortsluitgeulen te simuleren. Het gedrag van de kortsluitgeulen heeft geen effect op het gesimuleerde morfologische gedrag van de hoofdgeulen, waardoor het Estmorf concept wel geschikt is voor het simuleren van grootschalige morfologische ontwikkelingen.</p> <p>Ad 2. Het Sobek waterbewegingsmodel, gekoppeld aan Estmorf, rekent trager dan Implic. Door reductie van de inspeeltijd, vergroten van de tijdstap en verlagen van het aantal roosterpunten kan de simulatieduur ingekort worden met een factor 3 tot 4. Het Sobek model is een stabiel model, maar er zal in Estmorf een toevoeging moeten worden aangebracht om ook na een morfologische tijdstap vakken de mogelijkheid te geven droog te vallen. Verschillen tussen de resultaten van Sobek en Implic zijn grotendeels te wijten aan verschillen in de profielen en het feit dat het Sobek Westerschelde model nog niet is afgeregeld.</p> <p>Ad 3. De Implic schematisatie van de monding van de Westerschelde die is ontstaan na calibratie van de monding is geschikt voor gebruik tijdens morfologische berekeningen.</p> <p>Ad 4. Modelresultaten van de waterstanden in de nieuwe Saeftinge schematisatie zijn vergelijkbaar en soms beter dan modelresultaten met de oude Saeftinge schematisatie. De representatie van de debieten is vergelijkbaar en soms iets slechter. Dit laatste is waarschijnlijk te wijten aan een discrepantie tussen de geschematiseerde bodem (van 1963) en de calibratieperiode (van 1971).</p> <p>Ad 5. Er is gebleken dat een vergelijking tussen de gemeten en voorspelde modelschematisatie van 1981 slechts beperkt mogelijk is, door grote verschillen in de vakkenschematisatie van het Implic model van 1981 en dat van 1968.</p> |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
| REFERENTIES:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
| VER.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | AUTEUR         | DATUM                                                                                                              | OPMERK.  | REVIEW    | GOEDKEURING     |    |            |   |
| 1.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | P.M.C. Thoolen | 10 oktober 2000                                                                                                    |          | Z.B. Wang | T. Schilperoort |    |            |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                                                                                                                    |          |           |                 |    |            |   |
| PROJECTNUMMER:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                | Z2934                                                                                                              |          |           |                 |    |            |   |
| TREFWOORDEN:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                | Estmorf, Implic, Sobek, kortsluitgeulen, morfologische ontwikkeling, Westerschelde, Verdronken Land van Saeftinge  |          |           |                 |    |            |   |
| INHOUD:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | TEKST          | 50                                                                                                                 | TABELLEN | 12        | FIGUREN         | 77 | APPENDICES | 4 |
| STATUS:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                | <input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF |          |           |                 |    |            |   |

# Inhoud

|          |                                                                                 |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                                          | <b>1-1</b> |
| <b>2</b> | <b>B1: Analyse kortsluitgeulen .....</b>                                        | <b>2-1</b> |
| 2.1      | Inleiding .....                                                                 | 2-1        |
| 2.2      | Morfologische ontwikkeling kortsluitgeulen.....                                 | 2-2        |
| 2.2.1    | Schaar van de Spijkerplaat (fig 2.1a-2.1e).....                                 | 2-2        |
| 2.2.2    | Springergeul en Thomaesgeul (figuren 2.2a-2.2e).....                            | 2-2        |
| 2.2.3    | Kortsluitgeulen over de Suikerplaat en de Zuid Everingen (fig 2.3a-2.3e).....   | 2-3        |
| 2.2.4    | Schaar van Everingen en straatje van Willem (fig 2.4a-2.4f).....                | 2-3        |
| 2.2.5    | Kortsluitgeul tussen de Molenplaat en de Rug van Baarland (fig 2.5a-2.5e) ..... | 2-3        |
| 2.2.6    | Schaar van Ossensisse .....                                                     | 2-4        |
| 2.2.7    | Schaar van Valkenisse (fig 2.6a-2.6e).....                                      | 2-4        |
| 2.2.8    | Zimmermangeul (ten noorden van de Schaar van Valkenisse) (fig 2.6a-2.6e) .....  | 2-4        |
| 2.2.9    | Schaar van de Noord (ten zuiden van de Plaat van Saeftinge) ....                | 2-4        |
| 2.3      | Analyse modellering kortsluitgeulen in Estmorf.....                             | 2-4        |
| 2.3.1    | Inleiding .....                                                                 | 2-4        |
| 2.3.2    | Macht $n$ voor de transportformule .....                                        | 2-5        |
| 2.3.3    | Overall-evenwichts concentratie $c_E$ .....                                     | 2-5        |
| 2.3.4    | Vastzetten van geul- en plaatontwikkeling .....                                 | 2-5        |
| 2.3.5    | Definitie van evenwichtsprofielen.....                                          | 2-5        |
| 2.3.6    | Gebruik van de dispersiecoëfficiënt in Estmorf simulaties .....                 | 2-9        |
| 2.4      | Conclusies.....                                                                 | 2-11       |
| 2.5      | Aanbevelingen .....                                                             | 2-12       |
| <b>3</b> | <b>B2: Gebruik Sobek en Implic huidige model .....</b>                          | <b>3-1</b> |
| 3.1      | Inleiding .....                                                                 | 3-1        |
| 3.2      | Reductie rekentijd .....                                                        | 3-1        |
| 3.2.1    | Inleiding .....                                                                 | 3-1        |
| 3.2.2    | Testsimulaties ter reductie van de rekentijd.....                               | 3-2        |

|          |                                                                         |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3      | Stabiliteits onderzoek Estmorf-Sobek .....                              | 3-2        |
| 3.4      | Onderzoek naar de advectionsterm en weerstandsterm in IMPLIC .....      | 3-3        |
| 3.4.1    | Inleiding .....                                                         | 3-3        |
| 3.4.2    | Modelcorrectie t.b.v. Froudesterm .....                                 | 3-4        |
| 3.4.3    | Correctiecoëfficiënt voor de advectionsterm .....                       | 3-5        |
| 3.4.4    | Overige verschillen tussen het Sobek- en Implic model .....             | 3-9        |
| 3.5      | Conclusies .....                                                        | 3-10       |
| 3.6      | Aanbevelingen .....                                                     | 3-11       |
| <b>4</b> | <b>B3: Controleren Implic schematisatie Westerschelde monding .....</b> | <b>4-1</b> |
| 4.1      | Inleiding .....                                                         | 4-1        |
| 4.2      | Vergelijking vakvolumes .....                                           | 4-1        |
| 4.3      | Effect Froudesterm op gemiddelde doorstroomprofielen .....              | 4-2        |
| 4.4      | Berekening hydraulische straal .....                                    | 4-4        |
| 4.5      | Conclusies .....                                                        | 4-7        |
| 4.6      | Aanbevelingen .....                                                     | 4-8        |
| <b>5</b> | <b>Schematisatie Land van Saeftinge .....</b>                           | <b>5-1</b> |
| 5.1      | Inleiding .....                                                         | 5-1        |
| 5.2      | Analyse data .....                                                      | 5-1        |
| 5.2.1    | Historische ontwikkeling Land van Saeftinge .....                       | 5-1        |
| 5.2.2    | Waterstanden, debieten en snelheden .....                               | 5-4        |
| 5.3      | Modelschematisatie .....                                                | 5-5        |
| 5.4      | Analyse calibratie/validatie runs .....                                 | 5-6        |
| 5.4.1    | waterstanden 1971 .....                                                 | 5-6        |
| 5.4.2    | debieten 1971 .....                                                     | 5-7        |
| 5.4.3    | Waterstanden en debieten 1992 .....                                     | 5-8        |
| 5.5      | Conclusies .....                                                        | 5-9        |
| <b>6</b> | <b>Morfologische controle Westerschelde .....</b>                       | <b>6-1</b> |
| 6.1      | Inleiding .....                                                         | 6-1        |
| 6.2      | Vergelijking modelschematisaties 1968 en 1981 .....                     | 6-1        |
| 6.3      | Analyse modelresultaten en 'metingen' 1981 .....                        | 6-2        |



|                   |                                                 |         |
|-------------------|-------------------------------------------------|---------|
| 6.4               | Analyse modelresultaten en ‘metingen’ 1993..... | 6-3     |
| 6.5               | Conclusies .....                                | 6-3     |
| 6.6               | Aanbevelingen .....                             | 6-4     |
| Referenties ..... |                                                 | Refs.-1 |

## Appendices

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Appendix A                                       | A-1 |
| Appendix B Hulpprogrammatuur                     | B-1 |
| Appendix C Implic modelinvoer Land van Saeftinge | C-1 |
| Appendix D Figuren                               | D-1 |

# I Inleiding

ESTMORF is het model dat gebruikt kan worden om de lange termijn morfologische ontwikkeling in estuaria ten gevolge van baggeren en storten te voorspellen. In 1992 is WL, in opdracht van het RIKZ, begonnen met de ontwikkeling en bouw van het ESTMORF model voor de Westerschelde. ESTMORF is in 1998 opgeleverd bij het RIKZ in Middelburg.

Op basis van de ervaringen met ESTMORF, opgedaan in verschillende onderzoeks- en adviesprojecten, is in 1999 besloten om ESTMORF te verbeteren. Ten eerste is de gebruiksvriendelijkheid verhoogd (Wang, 1999) door o.a. het maken van de ingrepenfile te vergemakkelijken, IMPLIC te vervangen door SOBEK en een geheel nieuwe postprocessing mogelijk te maken. Ten tweede is een eerste aanzet gemaakt voor de uitbreiding van ESTMORF met de monding van de Westerschelde (v.d. Weck, 1999) door een IMPLIC schematisatie van de monding te maken.

Sinds de afronding van de onderzoeken in 1999 staan er nog een aantal onderdelen open die onderzocht en verbeterd moeten worden voordat Estmorf definitief in verbeterde vorm aan RIKZ kan worden opgeleverd.

Het betreft de onderdelen:

- A) weergave intergetijdengebieden
- B) implementatie kortsluitgeulen (B1), gebruik van Sobek en Implic (B2), controle Implic schematisatie (B3), controle modellering vloedkommen zoals de platen van Valkenisse en Saeftinge (B4)
- C) onderzoek invloed initiële schematisatie op morfologie Westerschelde
- D) definitieve morfologische afregeling Estmorf model

In het huidig project worden de onderdelen B en C onderzocht en uitgewerkt. De resultaten staan in dit rapport beschreven.

## 2 BI: Analyse kortsluitgeulen

### 2.1 Inleiding

Het Westerschelde estuarium is een meergeulensysteem bestaande uit hoofd -en nevengeulen, vloed- en ebscharen, platen en hoog dynamische gebieden. In deze paragraaf wordt een korte beschrijving gegeven van de morfologische ontwikkeling van de kortsluitgeulen (vloed- en ebscharen) in het systeem. Hiervoor worden lodingskaarten uit 1964, 1970, 1974, 1984, 1994, 1996 en 1999 gebruikt. De beschreven kortsluitgeulen betreffen

- Schaar van de Spijkerplaat (globaal Estmorf vaknummers 13, 15, 16, 190)
- Springergeul en Thomaesgeul die het vaarwater langs de Hoofdplaat en langs de Paulinapolder verbinden met de Pas van Terneuzen (globaal Estmorf vaknummers 26, 27 en 28)
- Kortsluitgeulen over de Suikerplaat en de Zuid Everingen. Deze verbinden de Pas van Terneuzen met de Everingen (vaknummers 51, 52 en 53)
- Schaar van Everingen en straatje van Willem (vaknummers 46, 47 en 48)
- Kortsluitgeul tussen de Molenplaat en de Rug van Baarland (vaknummers 59 en 60)
- Schaar van Ossensisse (vaknummers 70, 71 en 72)
- Schaar van Valkenisse (vaknummers 83, 84, 85, 77, 79)
- Zimmerman geul (ten noorden van de Schaar van Valkenisse) (vaknummers 89, 90)
- Schaar van de Noord (ten zuiden van de Plaat van Saeftinge) (vaknummers 104, 105)

De historische ontwikkeling van de kortsluitgeulen wordt hier beschreven met als leidraad de vakindeling zoals gedefiniëerd in de Estmorf schematisatie van de Westerschelde, en zoals te zien in figuur 1.1. In het rapport 'Final version of the Estmorf model' (Fokkink, 1998), wordt de grootte van de gesimuleerde geulvolumes per vak vergeleken met gemeten geulvolumes per vak. Nadere beschouwing van de historische lodingskaarten en de gemeten geulontwikkeling per vak laat zien dat verschillende kortsluitgeulen zo dynamisch zijn dat ze over een periode van tientallen jaren door verschillende Estmorf vakken lopen.

In Estmorf worden geulvolumes en plaatarealen van hoge en lage platen gesimuleerd op basis van evenwichtsrelaties tussen getijvolume en doorstroomoppervlak (voor de geulen) en tussen getijamplitude en hoogte van de getijdeplaat (voor de platen). In de geulen vindt sedimenttransport in langsrichting plaats, en is er sedimentuitwisseling in dwarsrichting tussen de geulen en de lage platen. Op de lage en hoge platen vindt geen transport in langsrichting plaats, en is er alleen sedimentuitwisseling in dwarsrichting tussen de hoge- en lage platen en tussen de lage platen en de geulen. Dit modelconcept heeft tot gevolg dat migratie van geulen door Estmorf niet kan worden weergegeven, omdat dit een tweedimensionaal verschijnsel is.

## 2.2 Morfologische ontwikkeling kortsluitgeulen

### 2.2.1 Schaar van de Spijkerplaat (fig 2.1a-2.1e)

De Schaar van de Spijkerplaat bestaat uit vloed- en ebgeulen die lopen ten zuiden van de Honte, tussen de Spijkerplaat en de Hooge Platen.

In 1964 loopt een ebgeul vanuit Estmorf-vak 28 naar vak 16. Een vloedgeul loopt vanuit vak 11 naar vak 12 en vanuit vak 11 naar vakken 14 en 15. Tevens loopt er een vloedgeultje van vak 14 naar vak 17.

Van 1964-1974 degenereert de vloedgeul vanuit 11 naar 14 en 15 en degenereert het vloedgeultje in vak 17. De ebgeul ontwikkelt zich sterk en loopt vanaf vak 28, door 16, tot aan 14.

Van 1974-1984 ontwikkelt de ebgeul zich verder en verplaatst zich in noordelijke richting waardoor hij 'uit vak 16 loopt' en nu is gelegen in vakken 190 en 15. De vloedgeul in vak 15 verplaatst zich zuidwaarts en loopt nu van 14 in de richting van 16. Het vloedgeultje in vak 17 degenereert verder.

Van 1984-1994 ontwikkelt de vloedgeul in vak 14 zich verder richting vak 16, en verplaatst de ebgeul zich verder in noordelijke richting, tot vakken 13 en 12.

Van 1994-1999 verdwijnt de ebgeul als het ware in de Honte en ontwikkelt zich een nieuwe ebgeul in vak 16. Deze situatie lijkt weer op die van 1964.

In de meetdata (zie (Fokkink, 1998)) is het verplaatsen van de geulen (met name van de ebgeul) te zien in de ontwikkeling van de geulvolumes van de betreffende Estmorf vakken. Zo neemt het volume van vak 13 midden jaren 80 plotseling toe doordat de ebgeul zich verplaatst naar dit vak. Het volume van vak 14 blijft min of meer constant. Het volume van vak 15 neemt midden jaren 70 plotseling toe omdat de ebgeul in deze periode naar dit vak is gemigreerd. Het volume van vak 16 neemt eerst toe en vanaf eind jaren 70 weer af omdat de zich ontwikkelende ebgeul vanaf midden jaren 70 'uit vak 16 loopt'. Het volume van vak 190 heeft hetzelfde patroon als het volume van vak 15, weer door de migratie van de ebgeul.

Figuren 2.1a-2.1d illustreren de migratie van de geulen door bovengenoemde vakken. Figuur 2.1e laat per vak het gemeten geulvolume als functie van de tijd zien.

### 2.2.2 Springergeul en Thomaesgeul (figuren 2.2a-2.2e)

De Springergeul migreert van 1964 tot 1999 in noordelijke richting waardoor hij na 1984 'uit vak 26 loopt' richting vak 17. Het volume van de Thomaesgeul varieert weliswaar maar de geul blijft min of meer op dezelfde plaats, en bevindt zich dus ook in 1994 nog in vak 27. Vak 24 bestaat in 1964 uit 2 kleine geulen die langzaam transformeren tot een ééngeul systeem in 1994 (zie figuren 2.2a-2.2d).

In de data van het geulvolume van vak 26 (zie figuur 2.2e) zien we inderdaad na 1985 een afname van het geulvolume terwijl in vak 17 in dezelfde periode het geulvolume licht toeneemt. Uit de resultaten gepresenteerd in het calibratierapport (Fokkink, 1998) blijkt dat Estmorf tot 1985 goed in staat is het geulvolume van vak 26 te voorspellen. In vak 27 is de

Estmorf voorspelling van het geulvolume voor de hele periode vrij goed. In vak 24 simuleert Estmorf steeds een te groot volume, maar de trend is goed.

### 2.2.3 Kortsluitgeulen over de Suikerplaat en de Zuid Everingen (fig 2.3a-2.3e)

Er lopen twee kortsluitgeulen over de Suikerplaat: in vak 51 loopt de geul van de Suikerplaat, in vak 52 het Stoombootengat. In vak 53 bevindt zich de Zuid Everingen. De geul van de Suikerplaat en het Stoombootengat kenmerken zich door netto sedimentatie. Met name het Stoombootengat is na 1984 vrijwel dichtgelopen, maar ook de geul van de Suikerplaat is in 1999 nagenoeg verdwenen. De Zuid Everingen migreert in westelijke richting, waardoor hij na 1984 deels over de rand van vak 53 loopt richting vakken 35 en 36 (zie figuren 2.3a-2.3e). Uit de resultaten gepresenteerd in het calibratierapport (Fokkink, 1998) blijkt dat Estmorf de geulvolume ontwikkeling van vak 51 behoorlijk goed voorspelt. In vak 52 is de trend goed maar verloopt het proces van dichtlopen in de modelberekeningen te traag. De geulontwikkeling in vak 53 wordt tot eind jaren 80 uitstekend voorspeld door Estmorf. Daarna neemt het gemeten geulvolume in dit vak af doordat de geul 'het vak uitloopt'.

### 2.2.4 Schaar van Everingen en straatje van Willem (fig 2.4a-2.4f)

De schaar van Everingen en het Straatje van Willem worden gesimuleerd met vaknummers 46, 47 en 48. De vloedgeul van de schaar van Everingen komt uit in vak 46 en ontwikkelt zich sterk tot begin jaren tachtig. Daarna verzandt het deel van de vloedgeul in vak 46 snel doordat het zich afsplitst van de geul in vak 45 (zie figuren 2.4a-2.4d). Deze ontwikkeling is ook duidelijk te zien in de data van het geulvolume van vak 46 (zie figuren 2.4e en 2.4f). Estmorf kan de sterke groei en daarna de afname niet volgen, en heeft dus waarschijnlijk moeite met de afsplitsing en migratie.

De ebgeul bevindt zich in vak 48 en 47. De geul is dynamisch maar blijft toch min of meer in deze vakken aanwezig. Estmorf voorspelt deze geulontwikkeling redelijk goed.

De verbindingsgeul tussen de Pas van Terneuzen en het Middelgat is ook behoorlijk dynamisch. In 1964 is de verbinding open en bevindt de geul zich in vakken 39, 54 en 55. Tot halverwege de jaren tachtig vertoont de geul een neiging tot verzanding. Hierna migreert de geul naar het westen terwijl de verzanding doorgaat, en gaat hij deels door vak 46 lopen. Dit deel wordt met name onttrokken aan vak 39. Estmorf simuleert de afname van het geulvolume in vakken 54 en 55 uitstekend. In vak 39 blijft de voorspelde afname van het geulvolume achter op de waargenomen afname. Dit kan te maken hebben met de migratie van de geul.

### 2.2.5 Kortsluitgeul tussen de Molenplaat en de Rug van Baarland (fig 2.5a-2.5e)

Vak 59 omvat de hele rug van Baarland en de Molenplaat, inclusief de kortsluitgeul. Vak 60 bevat in 1964 eigenlijk alleen maar een deel van de getijplaat, maar door de migratie van de Overloop van Hansweert komt het vak deels in deze geul te liggen. De kortsluitgeul tussen Baarland en de Molenplaat verzandt in de loop der tijd (zie figuren 2.5a-2.5d). De lichte toename van het geulvolume in de data van vak 59 (zie figuur 2.5e) moet te wijten zijn aan de migratie van de Overloop van Hansweert. Hetzelfde geldt voor de toename van het

geulvolume in vak 60. Estmorf heeft, met name in vak 60, moeite met het reproduceren van de morfologische tijdschaal.

### 2.2.6 Schaar van Ossenissee

De Schaar van Ossenissee wordt gekarakteriseerd door verzanding, in Estmorf blijven de geulvolumes min of meer constant (zie figuren 2.5a-2.5d).

### 2.2.7 Schaar van Valkenisse (fig 2.6a-2.6e)

In vakken 83, 84 en 85 van de Schaar van Valkenisse gebeurt morfologisch gezien niet zoveel, behalve dat de vakken neigen tot verzanding. Interessanter zijn vakken 76, 77 en 78 waar zich in 1964 de vloedgeul bevindt. Deze lijkt zich in twee minder belangrijke vloedgeulen te splitsen waarvan de een zich bevindt in vakken 76, 77 en 78, en de ander in vakken 79 en 80. De eerste loopt langzaam dicht en de tweede migreert nog iets in zuidelijke richting, maar blijft wel binnen de vakgrenzen van vakken 79 en 80 (zie figuren 2.6a-2.6e). Kijkend naar de calibratieresultaten lijkt het erop dat Estmorf door het dynamische gedrag van de geulen moeite heeft met het reproduceren van de geulvolumes in de afzonderlijke vakken.

### 2.2.8 Zimmermangeul (ten noorden van de Schaar van Valkenisse) (fig 2.6a-2.6e)

De Zimmermangeul loopt in 1964 in vakken 78 en 90 maar migreert in de loop van de tijd naar vakken 78 en 89, waarna hij snel lijkt te verzanden (zie figuren 2.6a-2.6d). In de Estmorf simulatie zien we dat het volume van vak 78 goed wordt voorspeld, maar dat het voorspelde volume in vakken 89 en 90 te wensen over laat.

### 2.2.9 Schaar van de Noord (ten zuiden van de Plaat van Saeftinge)

De vloedgeul van de Schaar van de Noord bevindt zich eind jaren zestig in vak 103. De geul verzandt geleidelijk en migreert in noordelijke richting maar blijft in vak 103 aanwezig.

## 2.3 Analyse modellering kortsluitgeulen in Estmorf

### 2.3.1 Inleiding

Estmorf biedt een aantal mogelijkheden om de resultaten van de gesimuleerde morfologische ontwikkelingen te calibreren. Naast de 'standaard' calibratieparameters, zoals de grootte van de evenwichtsconstanten, de grootte van de dispersie coëfficiënt, de macht  $n$  van de sedimenttransport formule en de 'overall' evenwichtsconcentratie  $c_E$ , biedt Estmorf de mogelijkheid om per vak de geul en/of plaatontwikkeling gedurende de simulatieperiode vast te zetten. De 'standaard' calibratieparameters en het vastzetten van geul en/of plaatontwikkeling worden in onderstaande paragrafen beschreven, in relatie tot de keuzes die gemaakt zijn voor de modellering van de kortsluitgeulen in het afgeregelde Estmorf model.

### 2.3.2 Macht $n$ voor de transportformule

De toegepaste macht van de sedimenttransport formule is 4. Deze waarde is gedurende het calibratieproces niet gewijzigd en is gelijk aan de macht in de Engelund-Hansen transport formule.

### 2.3.3 Overall-evenwichts concentratie $c_E$

De overall-evenwichtsconcentratie beïnvloedt, samen met de dispersiecoëfficiënt, de morfologische tijdschaal. Tijdens de calibratieprocedure (Fokkink, 1998) zijn in diverse simulaties verschillende waarden voor de overall-evenwichtsconcentratie onderzocht in combinatie met verschillende waarden voor de dispersiecoëfficiënt. De testen zijn uitgevoerd met waarden voor de genoemde parameters die voor alle vakken in het model dezelfde zijn. D.w.z. er zijn geen bijzondere aanpassingen voor de kortsluitgeulen gemaakt. In de huidige studie is daarom geen aandacht besteedt aan de gekozen grootte van de overall-evenwichtsconcentratie. Deze bedraagt in alle simulaties  $5.0 \cdot 10^{-5}$ .

### 2.3.4 Vastzetten van geul- en plaatontwikkeling

In Estmorf is het mogelijk per vak de sedimentatie en erosie processen op de lage- en hoge platen en in de geul stil te zetten. Dit betekent dat deze vakken niet meer meedoen aan de morfologische berekening. In de calibratierun gepresenteerd in het calibratierapport (Fokkink, 1998) zijn wegens stabiliteitsproblemen voor een aantal vakken de sedimentatie- en erosieprocessen op de lage platen stilgezet (Estmorf vaknummers 1, 10, 32, 39, 41, 42, 48, 57, 73, 95, 97, 99, 102, 120-161) en in een aantal vakken ook in de geul en op de hoge platen (vaknummers 82-85, en 161-183). Omdat sinds het calibratieproces enkele verbeteringen in de software van Estmorf zijn aangebracht, is tijdens deze studie getoetst wat het resultaat is als we de betreffende vakken weer 'aanzetten'. Behalve in het Land van Saeftinge (vaknummers 95, 97 en 102), en in de Schelde bovenstrooms van de grens tussen België en Nederland (vaknummers 120-183), blijkt dat de simulatie probleemloos doorloopt en dat de resultaten marginaal verschillen met de uiteindelijke calibratieresultaten. Figuren 2.7a-2.7f tonen de resultaten van de calibratierun uitgezet tegen metingen en uitgezet tegen de bovengenoemde testrun waarin het vastzetten van de morfologische ontwikkeling in de meeste vakken weer ongedaan is gemaakt. In deze figuren zijn voor een aantal aansluitende vakken, die de kortsluitgeulen beschrijven, de volumes onder NAP gesommeerd. Het is duidelijk dat de grootste verschillen worden geconstateerd in vakken 82, 83, 84 en 85, waarvan de *geul*ontwikkeling in de calibratierun is vastgezet.

### 2.3.5 Definitie van evenwichtsprofielen

In estuaria bestaat er een balans tussen geulafmetingen en getijvolume. In Estmorf is het evenwichtsprofiel van een geul gerelateerd aan het getijvolume dat door de geul wordt getransporteerd. In eerdere versies van het Estmorf programma was het evenwichtsprofiel per Estmorf-vak via een evenwichtsparameter gekoppeld aan het getijvolume door dat vak. In de laatste versie is het mogelijk gemaakt het evenwichtsprofiel van een Estmorf-vak te relateren aan het getijvolume door een willekeurige raai in het estuarium. De achterliggende gedachte is dat op deze manier het getijvolume dat wordt getransporteerd door een cross-sectie minder varieert, waardoor Estmorf-berekeningen stabiel verlopen.

Gedurende het calibratieproces (Fokkink, 1998) zijn in eerste instantie evenwichtsconstanten bepaald door het selecteren van 9 representatieve raaien in de Westerschelde, en door het koppelen van alle vakken aan een van deze raaien. Hierbij is aangenomen dat de bodem schematisatie van 1968 in evenwicht is. Vervolgens is voor een aantal deelgebieden de evenwichtsparameter aangepast zodat Estmorf de natuurlijke ontwikkeling (sedimentatie dan wel erosie) simuleert. Daarna zijn de evenwichtsparameters van de vakken afzonderlijk nog aangepast daar waar te weinig sedimentatie en/of erosie door Estmorf voorspeld werd.

Dit heeft geresulteerd in de in tabel 2.1 weergegeven evenwichtsconstanten (= 'run21' uit (Fokkink, 1998)). Ter vergelijking zijn de oorspronkelijke evenwichtsconstanten (= 'org', vóór calibratie) toegevoegd.

De aanpassingen van de evenwichtsconstanten tijdens de calibratieprocedure leiden tot verbeterde modelresultaten. Uit een testsimulatie blijkt dat het toepassen van de oorspronkelijke evenwichtsconstanten (gebaseerd op de 9 representatieve raaien) niet leidt tot stabiliteitsproblemen in de kortsluitgeulen of elders in het model.

In tabel 2.1 zien we dat de aanpassing van de evenwichtsconstanten voor de hoge en lage platen niet zozeer per vak is uitgevoerd als wel per deelgebied. Uitzondering hierop vormen vakken 16 (Schaar van de Spijkerplaat), 32, 41, 42, (nabij Suikerplaat en kortsluitgeulen), en 74, 82, 84, 85 (Schaar van Valkenisse). Dit zijn juist vakken dichtbij kortsluitgeulen, en hier zijn de evenwichtsconstanten van de hoge plaat zodanig vergroot dat zij qua orde-grootte overeenkomen met de evenwichtsconstanten van omliggende vakken.

Tijdens de calibratie is de aanpassing van de evenwichtsconstanten voor de geulen wel per vak uitgevoerd. De grootste aanpassingen zijn gedaan in vaknummers 13, 15, 190 (Schaar van de Spijkerplaat), 49 (Schaar van Everingen), 51, 52 (Suikerplaat), 60, 65 (Molenplaat), en 81 (Valkenisse). In de 1968 bodemligging zijn dit hetzij ondiepe vakken hetzij vakken waar zich kortsluitgeulen bevinden.

Als we nu de aanpassingen in de evenwichtsconstanten van de bovengenoemde vakken (13, 15, 190, 49, 51, 52, 60, 65, en 81) ongedaan maken, dan zien we dat in ieder geval de simulatie stabiel blijft. Verder blijkt dat slechts de geulvolumes in de vakken die daadwerkelijk betrekking hebben op de veranderde evenwichtsconstanten significant veranderen. De omliggende geulvolumes ondergaan een verandering van hooguit 1 à 2 procent. Dit betekent dat de keuze van de evenwichtsconstanten voor de kortsluitgeulen, die gedaan zijn om de lokale morfologische ontwikkeling zoveel mogelijk in overeenstemming te krijgen met de meetdata, de morfologische ontwikkeling van de omliggende vakken nauwelijks beïnvloedt. Dit is geïllustreerd in figuur 2.8. In deze figuur zijn alle vakken van het model onderverdeeld in 18 groepen. Per groep zijn de geulvolumes gesommeerd. In de bovenste en onderste grafiek staat voor 9 groepen de verhouding tussen de volumes berekend door de gewijzigde run en de volumes berekend door de originele run uitgezet tegen de tijd. In deze figuur betekent 100% dus dat het geulvolume niet veranderd als de aanpassing van evenwichtsconstanten van vakken 13, 15, 190, 49, 51, 52, 60, 65 en 81 ongedaan wordt gemaakt.



|    | GEUL:<br>org | GEUL:<br>run 21 | %    | L.PLAAT:<br>org | L.PLAAT:<br>run 21 | %    | H. PLAAT:<br>org | H. PLAAT:<br>run 21 | %    |
|----|--------------|-----------------|------|-----------------|--------------------|------|------------------|---------------------|------|
| 1  | 3.03E-05     | 3.08E-05        | 102% | 0.76            | 0.82               | 108% | 0.15             | 0.17                | 115% |
| 2  | 1.97E-05     | 1.85E-05        | 94%  | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 3  | 2.12E-05     | 2.00E-05        | 95%  | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 4  | 2.82E-05     | 2.67E-05        | 95%  | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 5  | 4.20E-05     | 4.01E-05        | 95%  | 0.82            | 0.88               | 108% | 0.22             | 0.26                | 115% |
| 6  | 4.15E-05     | 4.22E-05        | 102% | 0.68            | 0.73               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |
| 7  | 1.18E-05     | 1.20E-05        | 102% | 0.7             | 0.76               | 108% | 0.26             | 0.3                 | 115% |
| 8  | 1.37E-05     | 1.39E-05        | 101% | 0.82            | 0.89               | 108% | 0.26             | 0.29                | 115% |
| 9  | 9.56E-06     | 9.72E-06        | 102% | 0.88            | 0.95               | 108% | 0.26             | 0.3                 | 115% |
| 10 | 5.36E-06     | 5.46E-06        | 102% | 0.73            | 0.79               | 108% | 0.36             | 0.42                | 115% |
| 11 | 3.25E-05     | 3.11E-05        | 96%  | 0.73            | 0.79               | 108% | 0.33             | 0.38                | 115% |
| 12 | 1.22E-05     | 1.15E-05        | 94%  | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 13 | 4.36E-06     | 8.00E-06        | 184% | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 14 | 1.89E-05     | 1.78E-05        | 94%  | 0.73            | 0.79               | 108% | 0.29             | 0.34                | 115% |
| 15 | 4.56E-06     | 1.44E-05        | 316% | 0.75            | 0.81               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 16 | 9.41E-06     | 1.04E-05        | 111% | 0.5             | 0.54               | 108% | 0.16             | 0.25                | 162% |
| 17 | 2.34E-06     | 2.12E-06        | 90%  | 0.74            | 0.8                | 108% | 0.28             | 0.33                | 115% |
| 19 | 9.26E-06     | 8.47E-06        | 91%  | 0.74            | 0.8                | 108% | 0.31             | 0.35                | 115% |
| 20 | 9.38E-06     | 8.59E-06        | 92%  | 0.65            | 0.71               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |
| 21 | 8.39E-06     | 7.68E-06        | 91%  | 0.68            | 0.74               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |
| 22 | 8.02E-06     | 7.34E-06        | 91%  | 0.62            | 0.67               | 108% | 0.17             | 0.19                | 115% |
| 23 | 6.50E-06     | 5.61E-06        | 86%  | 0.7             | 0.75               | 108% | 0.34             | 0.39                | 115% |
| 24 | 5.71E-06     | 6.29E-06        | 110% | 0.79            | 0.85               | 108% | 0.26             | 0.3                 | 115% |
| 26 | 3.88E-06     | 3.90E-06        | 100% | 0.6             | 0.65               | 108% | 0.31             | 0.36                | 115% |
| 27 | 2.84E-06     | 2.87E-06        | 101% | 0.58            | 0.63               | 108% | 0.3              | 0.34                | 115% |
| 28 | 2.21E-05     | 2.23E-05        | 101% | 0.54            | 0.58               | 108% | 0.34             | 0.39                | 115% |
| 29 | 2.56E-05     | 2.59E-05        | 101% | 0.6             | 0.64               | 108% | 0.23             | 0.26                | 115% |
| 30 | 2.57E-05     | 2.33E-05        | 91%  | 0.55            | 0.59               | 108% | 0.18             | 0.21                | 115% |
| 31 | 2.62E-05     | 2.65E-05        | 101% | 0.55            | 0.59               | 108% | 0.31             | 0.35                | 115% |
| 32 | 2.87E-05     | 2.90E-05        | 101% | 0.5             | 0.81               | 163% | 0.12             | 0.26                | 226% |
| 33 | 2.94E-05     | 2.82E-05        | 96%  | 0.66            | 0.72               | 108% | 0.32             | 0.37                | 115% |
| 34 | 2.91E-05     | 2.79E-05        | 96%  | 0.63            | 0.68               | 108% | 0.24             | 0.27                | 115% |
| 35 | 2.83E-05     | 2.71E-05        | 96%  | 0.64            | 0.69               | 108% | 0.24             | 0.27                | 115% |
| 36 | 3.16E-05     | 3.03E-05        | 96%  | 0.63            | 0.68               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |
| 37 | 3.24E-05     | 2.95E-05        | 91%  | 0.64            | 0.69               | 108% | 0.18             | 0.21                | 115% |
| 38 | 3.30E-05     | 3.54E-05        | 107% | 0.69            | 0.74               | 108% | 0.24             | 0.28                | 115% |
| 39 | 3.15E-05     | 3.08E-05        | 98%  | 0.71            | 0.77               | 108% | 0.24             | 0.28                | 115% |
| 40 | 4.81E-05     | 4.38E-05        | 91%  | 0.74            | 0.8                | 108% | 0.23             | 0.27                | 115% |
| 41 | 4.16E-05     | 3.78E-05        | 91%  | 0.5             | 0.56               | 113% | 0.14             | 0.28                | 203% |
| 42 | 3.31E-05     | 3.40E-05        | 103% | 0.5             | 0.56               | 113% | 0.19             | 0.32                | 169% |
| 43 | 3.24E-05     | 3.35E-05        | 103% | 0.61            | 0.66               | 108% | 0.31             | 0.35                | 115% |
| 44 | 2.84E-05     | 2.95E-05        | 104% | 0.73            | 0.78               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |
| 45 | 2.82E-05     | 2.96E-05        | 105% | 0.76            | 0.82               | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 46 | 1.07E-05     | 1.18E-05        | 110% | 0.64            | 0.69               | 108% | 0.23             | 0.27                | 115% |
| 47 | 1.23E-05     | 1.39E-05        | 113% | 0.64            | 0.69               | 108% | 0.3              | 0.34                | 115% |
| 48 | 1.36E-05     | 1.50E-05        | 111% | 0.76            | 0.82               | 108% | 0.12             | 0.13                | 115% |
| 49 | 3.06E-06     | 1.33E-06        | 44%  | 0.64            | 0.69               | 108% | 0.26             | 0.29                | 115% |
| 50 | 6.91E-06     | 6.29E-06        | 91%  | 0.75            | 0.8                | 108% | 0.25             | 0.29                | 115% |
| 51 | 4.03E-06     | 3.00E-06        | 74%  | 0.62            | 0.66               | 108% | 0.27             | 0.31                | 115% |

|    |          |          |      |      |      |      |      |      |      |
|----|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52 | 4.36E-06 | 2.62E-06 | 60%  | 0.6  | 0.65 | 108% | 0.31 | 0.35 | 115% |
| 53 | 9.13E-06 | 9.23E-06 | 101% | 0.61 | 0.66 | 108% | 0.28 | 0.32 | 115% |
| 54 | 1.82E-05 | 1.68E-05 | 92%  | 0.57 | 0.61 | 108% | 0.21 | 0.24 | 115% |
| 55 | 3.93E-05 | 3.34E-05 | 85%  | 0.71 | 0.77 | 108% | 0.27 | 0.31 | 115% |
| 56 | 3.47E-05 | 2.92E-05 | 84%  | 0.62 | 0.67 | 108% | 0.22 | 0.25 | 115% |
| 57 | 3.27E-05 | 2.80E-05 | 86%  | 0.61 | 0.66 | 108% | 0.28 | 0.32 | 115% |
| 58 | 3.26E-05 | 2.82E-05 | 86%  | 0.62 | 0.67 | 108% | 0.24 | 0.27 | 115% |
| 59 | 5.48E-06 | 4.68E-06 | 85%  | 0.6  | 0.65 | 108% | 0.26 | 0.3  | 115% |
| 60 | 2.69E-06 | 1.31E-05 | 487% | 0.54 | 0.58 | 108% | 0.22 | 0.26 | 115% |
| 61 | 4.83E-05 | 4.93E-05 | 102% | 0.67 | 0.73 | 108% | 0.31 | 0.35 | 115% |
| 62 | 2.83E-05 | 2.90E-05 | 103% | 0.63 | 0.68 | 108% | 0.28 | 0.33 | 115% |
| 63 | 3.02E-05 | 3.09E-05 | 102% | 0.65 | 0.7  | 108% | 0.27 | 0.31 | 115% |
| 64 | 3.27E-05 | 3.34E-05 | 102% | 0.66 | 0.71 | 108% | 0.18 | 0.21 | 115% |
| 65 | 1.84E-05 | 2.38E-05 | 129% | 0.65 | 0.7  | 108% | 0.32 | 0.37 | 115% |
| 66 | 2.08E-05 | 1.83E-05 | 88%  | 0.68 | 0.73 | 108% | 0.3  | 0.34 | 115% |
| 67 | 5.64E-05 | 5.42E-05 | 96%  | 0.75 | 0.82 | 108% | 0.26 | 0.3  | 115% |
| 68 | 4.98E-05 | 4.78E-05 | 96%  | 0.78 | 0.85 | 108% | 0.16 | 0.18 | 115% |
| 69 | 4.90E-05 | 4.95E-05 | 101% | 0.69 | 0.75 | 108% | 0.26 | 0.3  | 115% |
| 70 | 1.10E-05 | 1.01E-05 | 92%  | 0.73 | 0.79 | 108% | 0.26 | 0.3  | 115% |
| 71 | 1.28E-05 | 1.18E-05 | 92%  | 0.59 | 0.64 | 108% | 0.28 | 0.32 | 115% |
| 72 | 9.17E-06 | 8.44E-06 | 92%  | 0.66 | 0.71 | 108% | 0.28 | 0.32 | 115% |
| 73 | 2.93E-05 | 2.96E-05 | 101% | 0.5  | 0.54 | 108% | 0.19 | 0.22 | 115% |
| 74 | 3.54E-05 | 3.09E-05 | 87%  | 0.77 | 0.83 | 108% | 0.15 | 0.26 | 180% |
| 75 | 3.82E-05 | 3.16E-05 | 83%  | 0.61 | 0.67 | 110% | 0.24 | 0.3  | 125% |
| 76 | 2.72E-05 | 2.12E-05 | 78%  | 0.84 | 0.93 | 110% | 0.22 | 0.28 | 125% |
| 77 | 2.15E-05 | 1.90E-05 | 88%  | 0.86 | 0.94 | 110% | 0.23 | 0.28 | 125% |
| 78 | 1.07E-05 | 8.58E-06 | 80%  | 0.8  | 0.88 | 110% | 0.22 | 0.28 | 125% |
| 79 | 1.52E-05 | 1.45E-05 | 96%  | 0.65 | 0.71 | 110% | 0.32 | 0.4  | 125% |
| 80 | 1.13E-05 | 1.07E-05 | 95%  | 0.6  | 0.65 | 110% | 0.31 | 0.39 | 125% |
| 81 | 6.54E-06 | 3.52E-06 | 54%  | 0.52 | 0.58 | 110% | 0.22 | 0.28 | 125% |
| 82 | 5.20E-06 | 4.31E-06 | 83%  | 0.57 | 0.63 | 112% | 0.12 | 0.24 | 197% |
| 83 | 6.26E-06 | 5.19E-06 | 83%  | 0.56 | 0.61 | 110% | 0.21 | 0.26 | 125% |
| 84 | 3.21E-06 | 2.66E-06 | 83%  | 0.65 | 0.73 | 113% | 0.26 | 0.34 | 131% |
| 85 | 8.88E-07 | 7.37E-07 | 83%  | 0.64 | 0.72 | 113% | 0.29 | 0.38 | 132% |
| 88 | 6.07E-06 | 6.33E-06 | 104% | 0.53 | 0.58 | 110% | 0.22 | 0.28 | 125% |
| 89 | 6.49E-06 | 6.77E-06 | 104% | 0.58 | 0.64 | 110% | 0.22 | 0.27 | 125% |
| 90 | 6.18E-06 | 5.37E-06 | 87%  | 0.72 | 0.79 | 110% | 0.21 | 0.26 | 125% |
| 91 | 3.01E-05 | 3.62E-05 | 120% | 0.74 | 0.82 | 110% | 0.23 | 0.29 | 125% |
| 92 | 2.83E-05 | 2.92E-05 | 103% | 0.63 | 0.69 | 110% | 0.22 | 0.28 | 125% |
| 93 | 2.78E-05 | 2.86E-05 | 103% | 0.57 | 0.62 | 110% | 0.23 | 0.29 | 125% |
| 94 | 3.19E-05 | 3.32E-05 | 104% | 0.66 | 0.72 | 110% | 0.25 | 0.31 | 125% |
| 95 | 3.08E-06 | 3.21E-06 | 104% | 0.84 | 0.93 | 110% | 0.27 | 0.34 | 125% |
| 96 | 3.10E-05 | 3.73E-05 | 120% | 0.7  | 0.77 | 110% | 0.3  | 0.37 | 125% |
| 97 | 1.38E-06 | 1.38E-06 | 100% | 0.83 | 0.9  | 108% | 0.34 | 0.4  | 115% |

|     |          |          |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 98  | 3.58E-05 | 3.74E-05 | 104% | 0.79 | 0.85 | 108% | 0.26 | 0.3  | 115% |
| 99  | 2.43E-05 | 2.53E-05 | 104% | 0.55 | 0.6  | 108% | 0.14 | 0.16 | 115% |
| 100 | 4.16E-05 | 4.30E-05 | 103% | 0.71 | 0.76 | 108% | 0.34 | 0.39 | 115% |
| 101 | 3.92E-05 | 3.58E-05 | 91%  | 0.75 | 0.81 | 108% | 0.32 | 0.37 | 115% |
| 102 | 6.86E-07 | 6.91E-07 | 101% | 0.86 | 0.93 | 108% | 0.37 | 0.43 | 115% |
| 103 | 4.44E-05 | 4.18E-05 | 94%  | 0.71 | 0.77 | 108% | 0.29 | 0.33 | 115% |
| 104 | 1.82E-05 | 2.00E-05 | 110% | 0.52 | 0.56 | 108% | 0.14 | 0.16 | 115% |
| 105 | 9.79E-06 | 1.02E-05 | 104% | 0.88 | 0.95 | 108% | 0.21 | 0.25 | 115% |
| 106 | 3.21E-05 | 3.32E-05 | 104% | 0.62 | 0.67 | 108% | 0.29 | 0.33 | 115% |
| 107 | 2.87E-05 | 2.97E-05 | 103% | 0.75 | 0.81 | 108% | 0.2  | 0.23 | 115% |
| 108 | 2.02E-05 | 2.09E-05 | 103% | 0.7  | 0.75 | 108% | 0.22 | 0.26 | 115% |
| 109 | 8.87E-06 | 9.19E-06 | 104% | 0.58 | 0.63 | 108% | 0.3  | 0.34 | 115% |
| 110 | 1.35E-06 | 1.40E-06 | 104% | 0.77 | 0.83 | 108% | 0.32 | 0.37 | 115% |
| 115 | 3.34E-05 | 3.62E-05 | 108% | 0.54 | 0.58 | 108% | 0.21 | 0.24 | 115% |
| 116 | 3.55E-05 | 3.86E-05 | 109% | 0.62 | 0.67 | 108% | 0.34 | 0.39 | 115% |
| 117 | 3.28E-05 | 3.57E-05 | 109% | 0.84 | 0.9  | 108% | 0.29 | 0.34 | 115% |
| 118 | 4.14E-05 | 4.50E-05 | 109% | 0.87 | 0.94 | 108% | 0.27 | 0.31 | 115% |
| 119 | 5.41E-05 | 5.88E-05 | 109% | 0.76 | 0.82 | 108% | 0.28 | 0.32 | 115% |
| 120 | 3.91E-05 | 4.05E-05 | 104% | 0.75 | 0.81 | 108% | 0.23 | 0.27 | 115% |
| 184 | 2.94E-05 | 2.99E-05 | 102% | 0.76 | 0.82 | 108% | 0.17 | 0.19 | 115% |
| 187 | 6.90E-06 | 7.72E-06 | 112% | 0.75 | 0.81 | 108% | 0.25 | 0.29 | 115% |
| 190 | 4.56E-06 | 7.27E-06 | 159% | 0.75 | 0.81 | 108% | 0.25 | 0.29 | 115% |

Tabel 2.1 evenwichtsconstanten in het Estmorf model (bron (Fokkink, 1998))

### 2.3.6 Gebruik van de dispersiecoëfficiënt in Estmorf simulaties

De dispersiecoëfficiënt speelt een rol in de weergave van de morfologische tijdschaal. Een kleine dispersiecoëfficiënt betekent een lange morfologische tijdschaal. Als de dispersiecoëfficiënt van de geul naar de lage platen, of van de lage platen naar de hoge platen, op 0 staat, dan betekent dit dat er in het model geen sedimentuitwisseling tussen plaat en geul, of tussen de platen onderling, plaatsvindt. In de meeste vakken van het model is voor de dispersieve sedimentuitwisseling tussen geuldelen een dispersiecoëfficiënt van  $1250 \text{ m}^2/\text{s}$  gebruikt. Deze waarde is verkregen na intensieve testruns in de calibratiefase van Estmorf (Fokkink, 1998). Hetzelfde geldt voor de lage platen, waar de tijdschaal van de sedimentuitwisseling kleiner is dan in de geulen. Hier is een dispersiecoëfficiënt van  $20 \text{ m}^2/\text{s}$  toegepast. Op de hoge platen is de tijdschaal voor sedimentuitwisseling nog langer, en hier is een dispersiecoëfficiënt van  $5 \text{ m}^2/\text{s}$  gebruikt.

In enkele vakken echter (nummers 13, 15, 17, 38, 49, 51, 52, 53, 60, 65, 70 en 71) is van deze getallen afgeweken. Voor een groot deel zijn dit vakken waar ook een forse aanpassing in de evenwichtsconstante is gedaan (zie voorgaande paragraaf). Het betreft hier vakken waar zich kortsluitgeulen bevinden, of waar het vak eigenlijk alleen bestaat uit hoge of lage platen. In onderstaande tabel staan voor deze vakken de toegepaste dispersiecoëfficiënt:

| Vaknummer | Dispersiecoëfficiënt<br>geul | Dispersiecoëfficiënt<br>lage plaat | Dispersiecoëfficiënt<br>hoge plaat |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 13        | 1                            | 1                                  | 1                                  |
| 15        | 1                            | 1                                  | 1                                  |
| 17        | 1                            | 1                                  | 1                                  |
| 38        | 500                          | 20                                 | 5                                  |
| 49        | 5                            | 1                                  | 1                                  |
| 51        | 50                           | 1                                  | 1                                  |
| 52        | 5                            | 1                                  | 1                                  |
| 53        | 5                            | 1                                  | 1                                  |
| 60        | 1                            | 0                                  | 0                                  |
| 65        | 500                          | 20                                 | 5                                  |
| 70        | 500                          | 20                                 | 5                                  |
| 71        | 500                          | 20                                 | 5                                  |

De vakken met de dispersiecoëfficiënt in de geul op 1 of 5 hebben een zeer lange morfologische tijdschaal gekregen. In vak 60 is dit met name gedaan om het 'dichtlopen' van het vak in Estmorf te voorkomen. In werkelijkheid zal dit vak niet dichtlopen door noordwaartse migratie van de Overloop van Hansweert, waardoor een deel van deze geul door vak 60 gaat lopen. Vakken 13 en 15 gaan in werkelijkheid afwisselend dicht en weer open door migratie van de kortsluitgeul via quasi-cyclisch gedrag. Aangezien Estmorf dit 2D gedrag niet kan simuleren wordt, via de gekozen grootte van de dispersiecoëfficiënt in deze vakken voorkomen dat één of beide dichtloopt. Vak 17 is een vak dat in 1968 nauwelijks een geul bevat, en dat voor zijn morfologische ontwikkeling afhankelijk is van vakken 13, 15 en 16. Vakken 49 en 52 bevatten degenererende geulen. De vakken hebben een kleine dispersiecoëfficiënt gekregen omdat de oorspronkelijk door Estmorf gereprocuceerde morfologische tijdschaal te kort was. In vak 53 is sprake van een migrerende geul.

Als we nu de aanpassingen in de dispersiecoëfficiënt van de bovengenoemde vakken (13, 15, 17, 38, 49, 51, 52, 53, 60, 65, 70 en 71) ongedaan maken, dan wordt de berekening instabiel. Dit wordt veroorzaakt door vak 60, dat dichtloopt. Houden we de dispersiecoëfficiënten in vak 60 op de waarden genoemd in bovenstaande tabel, dan loopt de berekening wel gewoon door. Er blijkt dat slechts de geulvolumes in de vakken die daadwerkelijk betrekking hebben op de veranderde dispersiecoëfficiënten significant veranderen. De omliggende geulvolumes ondergaan een verandering van hooguit 1 à 2 procent. Dit betekent dat de keuze van de dispersiecoëfficiënt voor de kortsluitgeulen, die gedaan zijn om de lokale morfologische ontwikkeling zoveel mogelijk in overeenstemming te krijgen met de meetdata, de morfologische ontwikkeling van de omliggende vakken nauwelijks beïnvloedt. Dit is geïllustreerd in figuur 2.9 waarin voor verschillende groepen van vakken de verhouding tussen de geulontwikkeling berekend met de gewijzigde dispersiecoëfficiënt en berekend met de originele dispersiecoëfficiënt staat weergegeven

## 2.4 Conclusies

In dit hoofdstuk is de modellering van de kortsluitgeulen in het Estmorf model onderzocht. Uit de analyse van de historische lodingskaarten, de gekozen waarden van de evenwichtsconstanten en de dispersiecoëfficiënten voor met name de Estmorf vakken die betrekking hebben op kortsluitgeulen kan het volgende geconcludeerd worden:

- Het morfologisch gedrag van een aantal kortsluitgeulen (Schaar van de Spijkerplaat, Suikerplaat, Zuid Everingen, Schaar van Valkenisse) is quasi-cyclisch. Hierdoor migreren de geulen over een periode van een tiental jaren 'door een aantal Estmorf vakken heen'. Dit is twee-dimensionaal gedrag dat door Estmorf niet gesimuleerd kan worden.
- Om de morfologische tijd- en ruimteschaal van de vakken die betrekking hebben op kortsluitgeulen, met het Estmorf model zo goed mogelijk te kunnen simuleren, zijn per vak de evenwichtsconstanten en/of de grootte van de dispersiecoëfficiënt handmatig aangepast t.o.v. omliggende vakken. Uit gevoeligheidsruns, uitgevoerd als onderdeel van deze studie, is gebleken dat de aanpassingen van deze waarden voor de kortsluitgeulen geen belangrijk effect hebben op de gesimuleerde morfologische ontwikkeling van de omliggende (hoofd)geulen. Dit betekent dat de morfologische ontwikkeling van de kortsluitgeulen zoals gesimuleerd door Estmorf, niet van invloed is op het morfologisch gedrag van de hoofdgeulen in het estuarium. Het Estmorf concept is dus geschikt voor het simuleren van grootschalige morfologische ontwikkelingen.
- De morfologische ontwikkeling van de kortsluitgeulen is van invloed op het platenareaal. Het niet correct weergeven van de kortsluitgeulen door Estmorf is dus wel van invloed op de weergave van het plaatareaal door Estmorf. In (Wang, 2000) is de weergave van intergetijde gebieden met Estmorf bestudeerd. In de huidige studie is hier geen aandacht aan besteed.
- Tijdens de calibratieprocedure van het Estmorf model is in eerdere studies voor enkele vakken bovenstrooms van de grens tussen België en Nederland de morfologische ontwikkeling van de geul, de hoge plaat en/of lage plaat tijdens de simulaties 'uitgezet'. Door recente verbeteringen in de Estmorf-software is nu gebleken dat het 'uitzetten' van deze vakken geen consequenties heeft voor de morfologische calibratie-resultaten. Dit betekent dat deze ingrepen met de huidige Estmorf software niet meer hoeven worden aangebracht ten einde het model stabiel te houden.
- Tijdens de Estmorf calibratieprocedure zijn de waarden voor de empirische evenwichtsconstanten, de dispersiecoëfficiënten en de evenwichtskoncentratie per vak nauwkeurig op elkaar afgestemd om zo goed mogelijk de metingen te kunnen reproduceren. Aanpassen van deze waarden leidt niet tot verbeteringen, noch van de calibratieresultaten, noch van de stabiliteit van het model.
- Het Estmorf model van de Westerschelde reproduceert de morfologische ontwikkeling van de hoofdgeulen en van de kleinere geulen behoorlijk goed, zolang de geulontwikkeling zich gedurende de Estmorf looptijd in één vak afspeelt.

## 2.5 Aanbevelingen

Vanwege het 1D concept van Estmorf is het niet mogelijk het gedrag van de kortsluitgeulen precies te modelleren. Omdat uit het huidige onderzoek is gebleken dat dit geen grote consequenties heeft voor de modelberekeningen m.b.t. de grote geulen kunnen we de volgende aanbeveling doen:

- groepeer de vakken in het gebied waarbinnen de kortsluitgeulen een quasi-cyclisch gedrag vertonen tot één vak. Hierdoor worden de belangrijkste eigenschappen van de kortsluitgeulen gemodelleerd (zoals volumeontwikkeling) zonder het risico dat bijv. vakken dichtlopen t.g.v. het migreren van een geul van het ene naar het andere vak. Dit vergt een behoorlijke inspanning omdat er een nieuwe schematisatie moet worden gemaakt, en het model in principe opnieuw moet worden afgeregeld.
- De weergave van intergetijdegebieden door Estmorf, en de relatie tussen intergetijde gebieden en kortsluitgeulen, dient nader onderzocht te worden. Estmorf is op dit moment niet op vakniveau gecalibreerd voor de ontwikkeling van hoge en lage platen. In plaats daarvan is er tijdens het calibratieproces (Fokkink, 1998) gekeken naar de plaatontwikkeling van een groep van vakken in relatie tot veldmetingen. Hierdoor is er op dit moment geen verband te leggen tussen de dynamiek van de kortsluitgeulen en de door Estmorf voorspelde plaatontwikkeling op vakniveau. In (Wang, 2000) wordt aandacht besteed aan het verbeteren van de modellering van de intergetijde gebieden in Estmorf. Op het moment dat Estmorf opnieuw gecalibreerd zal worden voor de ontwikkeling van de platen, is het een relatief kleine inspanning de Estmorf voorspellingen tevens te toetsen aan de in dit rapport gepresenteerde data van de dynamiek van de kortsluitgeulen.

## 3 B2: Gebruik Sobek en Implic huidige model

### 3.1 Inleiding

In 1999 is de waterbewegingsmodule Implic in de Estmorf Software vervangen door Sobek. Dit is gedaan omdat Sobek volgens de afspraak het standaardmodel van Rijkswaterstaat is. Bovendien heeft Sobek, in tegenstelling tot Implic, een postprocessings routine waarmee hydraulische gegevens beter gegenereerd kunnen worden.

Estmorf-Sobek blijkt echter een lange rekentijd te hebben. Een simulatie van de ontwikkelingen in 50 jaar duurt met Sobek ongeveer 50 uur, en met Implic slechts drie kwartier (bron: RIKZ). In het kader van de huidige studie is onderzocht welke methoden leiden tot een reductie van de rekentijd van Sobek. Daarnaast is gekeken of het Sobek model, uitgebreid met de monding, robuust is, d.w.z. er is onderzocht bij welke instellingen Sobek al dan niet stabiel blijft.

Verder zijn er tussen de hydrodynamische resultaten van het huidige Sobek- en Implic model (zonder uitbreiding met de Westerschelde monding) verschillen geconstateerd. Uit het rapport 'verbetering Estmorf' (Wang, 1999) blijkt dat deze verschillen in de weergave van de waterstand 10-20 cm kunnen bedragen. Als onderdeel van de huidige studie is een klein onderzoek verricht naar de berekening van de advection term in Implic, met als doel uit te sluiten dan wel te bevestigen of de afhandeling van de advection term in Implic de verschillen in hydrodynamica tussen Implic en Sobek zou kunnen verklaren.

### 3.2 Reductie rekentijd

#### 3.2.1 Inleiding

Voor het sneller laten draaien van Estmorf gebaseerd op Sobek is een aantal mogelijkheden onderzocht. De gebruikte computer heeft de volgende specificaties :

Processor : Pentium-II, 450 Mhz

Geheugen : 196 Mb

De gebruikte Estmorf-Sobek versie is de versie die recentelijk aan RIKZ is geleverd. De simulatieperiode bedraagt in alle simulaties één jaar, waarbij een morfologische tijdstap van een maand is toegepast. De simulaties bevatten ook voorgeschreven ingrepen. De gemeten simulatieduur is geëxtrapoleerd naar een simulatieperiode van 50 jaar. Geschat wordt dat het Estmorf-Sobek model van de Westerschelde met bovengenoemde PC op dit moment ca 40 uur nodig heeft om een simulatieperiode van 50 jaar door te rekenen.

Ter reductie van de rekentijd zijn de volgende maatregelen onderzocht:

- reductie van de looptijd per Estmorf-stap
- vergroting van de tijdstap
- verlaging van het aantal roosterpunten per vak

### 3.2.2 Testsimulaties ter reductie van de rekentijd

#### *Reductie van de looptijd per Estmorf tijdstap*

Na iedere morfologische tijdstap wordt een nieuwe waterbeweging gesimuleerd. Voor de berekening van de waterbeweging is een inspeelperiode nodig om de (ongewenste) effecten van de initiële conditie te minimaliseren. In het huidige model worden na elke Estmorf tijdstap vier cyclische getijden doorgerekend, waarvan er drie bestemd zijn om het model in te laten spelen. Uit testsimulaties blijkt nu dat een inspeelperiode van één getij voldoende is. Dit resulteert ongeveer in een halvering van de simulatieduur.

#### *Vergroting van de Sobek-tijdstap*

De rekentijdstap in het huidige model bedraagt 5 minuten. Door vergroting van de tijdstap tot 7 minuten en 27 seconden (= cyclus van 745 min gedeeld door 100) wordt de rekentijd gereduceerd met ongeveer een factor 0,75.

#### *Verlaging van het aantal roosterpunten per vak*

In het huidige model worden vijf roosterpunten per Estmorf-vak gebruikt. In Sobek is drie het minimum aantal toegestane roosterpunten per vak. Toepassing van dit aantal roosterpunten levert eveneens een reductie van de rekentijd met ongeveer een factor 0,75.

#### *Analyse*

Bij analyse van de resultaten van bovengenoemde tests blijkt dat er zowel bij de weergave van de waterstanden, als ook de weergave van de debieten, voor het oog geen waarneembare verschillen zijn bij vergelijking met de resultaten van het aangepaste Sobek model met het huidige Sobek model. Dit betekent dat bovengenoemde ingrepen een goed middel zijn om de rekentijd van het Sobek-Estmorf model te reduceren. Toepassing van alle drie bovengenoemde maatregelen in één simulatie leidt tot een reductie van de rekentijd met een factor van ongeveer 0.3. Dit betekent dat een Estmorf-Sobek berekening voor een simulatieperiode van 50 jaar ca 12 uur in beslag neemt.

## 3.3 Stabiliteits onderzoek Estmorf-Sobek

Bij het gebruik van de Implic-Estmorf software kunnen gedurende lange termijn morfologische simulaties stabiliteitsproblemen ontstaan die worden veroorzaakt door morfologische veranderingen. Dit wordt met name veroorzaakt doordat Estmorf en Implic met verschillende profielbeschrijvingen werken waardoor het kan gebeuren dat Implic- en Estmorfprofielen gedurende de berekening niet meer consistent zijn: het profiel dreigt bijvoorbeeld naar boven toe nauwer te worden, of morfologische veranderingen in verticale richting zijn zo groot dat de diverse profiel niveaus elkaar 'trachten in te halen'. Falen van de run door de hydrodynamische Implic berekening komt echter niet veel voor.

Bij Estmorf gebaseerd op Sobek zijn problemen met inconsistente profielen, zoals boven beschreven, niet mogelijk omdat Estmorf en Sobek met dezelfde profielbeschrijvingen werken. Stabiliteitsproblemen treden echter wel op bij drooglopen van vakken. In de Sobek programmatuur wordt het drooglopen bij Sobek afgehandeld middels z.g. Preisman-sloten. Dit betekent dat er onder het profiel een klein kunstmatig geultje wordt aangebracht waar altijd water in blijft staan. Hierdoor kan het vak deel blijven nemen aan de



hydrodynamische berekening. Op dit moment wordt aan de profielen in vakken, die na enkele morfologische tijdstappen dichtlopen, geen Preisman-slotten toegevoegd. Dit betekent dat de Sobek berekening op dat moment stopt. Dit is een probleem dat op de korte termijn opgelost dient te worden.

### 3.4 Onderzoek naar de advectieterm en weerstandsterm in IMPLIC

#### 3.4.1 Inleiding

De één dimensionale impulsvergelijking wordt gegeven door

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha \frac{1}{gA} \frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{O}{gA\rho} \tau_b = 0 \quad (2.1)$$

met

$\alpha$  = correctieterm ter compensatie van een niet uniform snelheidsveld in de dwarsdoorsnede. Dit is een gevolg van de uitgevoerde integratieprocedure op de complete 3D vergelijking.

$g$  = versnelling van de zwaartekracht [ $m^2/s$ ]

$A$  = stroomvoerend oppervlak van een dwarsdoorsnede [ $m^2$ ]

$Q$  = debiet door een dwarsdoorsnede [ $m^3/s$ ]

$H$  = waterdiepte [ $m$ ]

$O$  = natte omtrek [ $m$ ]

$\rho$  = dichtheid water [ $kg/m^3$ ]

$\tau_b$  = bodemschuifspanning [ $Pa$ ]

De tweede term van het linkerlid van vergelijking (2.1) is de advectieve term. Deze term is te splitsen in twee delen:

$$\frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} = 2 \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \quad (2.2a)$$

De eerste term in het rechterlid van (2.2a) geeft de verandering in de snelheidshoogte door de debietverandering over een vak t.g.v. interne berging. De tweede term in het rechterlid geeft de verandering in de snelheidshoogte t.g.v. de doorsnede verandering over een vak. D.m.v. het invoeren van de dimensieloze grootheden

$$Q = HB U h' b' u'$$

$$A = HB h' b'$$

$$x = L x'$$

waarbij  $H$ ,  $B$ ,  $U$  en  $L$  karakteristieke waterdiepte, geulbreedte, snelheid en lengte, en  $h'$ ,  $b'$ ,  $u'$  en  $x'$  de dimensieloze grootheden representeren, kan vergelijking (2.2a) worden geschreven als

$$\frac{HU^2 B}{L} \frac{\partial(h'b'u^2)}{\partial x'} = \frac{HU^2 B}{L} \left( 2 \frac{\partial h'b'u^2}{\partial x'} - \frac{\partial h'b'u^2}{\partial x'} \right) \quad (2.2b)$$

Hieruit blijkt dat de eerste term in het rechterlid een factor twee groter is dan de tweede term in het rechterlid. Deze tweede term is de Froudeterm. Gediscrètiseerd ziet de Froudeterm er als volgt uit:

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{A_e - A_b}{\Delta x} \quad (2.3)$$

waarbij

$A_e$ =stroomvoerend oppervlak aan het eind van een vak, en

$A_b$ =stroomvoerend oppervlak aan het begin van een vak.

In de huidige Implic schematisatie van de Westerschelde geldt voor alle vakken dat de stroomvoerende oppervlakken aan het begin en eind van een vak gelijk zijn. Er is per vak dus maar één gemiddeld stroomvoerend oppervlak gegeven. Dit betekent dat in de huidige Implic berekeningen de Froudeterm impliciet wordt verwaarloosd. Het verwaarlozen van de Froudeterm in een berekening kan echter gecompenseerd worden door een aanpassing van de (gemodelleerde) bodemschuifspanning. Dit wordt uitgelegd in Appendix A.

### 3.4.2 Modelcorrectie t.b.v. Froudeterm

Met behulp van het programma froude.f (zie appendix B), geleverd door RIKZ, is globaal per vak een correctie uitgevoerd op de gemiddelde doorstroomprofielen aan het begin en eind van een vak. Hierdoor zijn de doorstroomprofielen aan begin en eind van de vakken niet meer aan elkaar gelijk, maar blijft het gemiddelde profiel van de vakken ongewijzigd. De correctie wordt als volgt uitgevoerd:

door de programma-gebruiker wordt het gehele modelgebied in deelgebieden verdeeld. Ieder deelgebied bestaat uit geleidelijk veranderende (afnemende dan wel toenemende) doorstroomprofielen. Op basis van de doorstroomprofielen aan het begin en eind van een deelgebied, en de lengte van het deelgebied, wordt de verandering van de doorstroomprofielen aan het begin en eind van een vak in het deelgebied berekend. Vervolgens worden de doorstroomprofielen met de verandering gecorrigeerd en ontstaat een nieuwe Implic 'model.inp' file. Met deze file kunnen Implic berekeningen worden uitgevoerd waarbij de Froude term dus wel wordt meegenomen. Nadeel van deze aanpak is dat van twee opeenvolgende vakken het eind-profiel van het ene vak niet gelijk hoeft te zijn aan het begin-profiel van het volgende vak. Dit betekent bij een plotselinge verbreding energieverlies, en bij een plotselinge versmalling zelfs genereren van energie. In dit laatste geval zou d.m.v. bodemwrijving deze extra energie gedissipeerd moeten worden om toenemende snelheden te voorkomen.

Voor de huidige studie zijn de deelgebieden die gebruikt zijn om de doorstroomprofielen in de 'model.inp' te wijzigen weergegeven in figuur 3.1. Bij de vakindeling is erop gelet dat de doorstroomoppervlakken in de opeenvolgende vakken van het gebied zoveel mogelijk een stijgende dan wel dalende gradiënt vertonen. Voor de vakken in de niet-gearceerde gebieden is geen correctie uitgevoerd. In de figuren 3.2a-3.2d zijn de debieten in een aantal vakken

weergegeven zoals berekend met het oorspronkelijke model, en zoals berekend met het model gecorrigeerd voor de Froude term zoals boven beschreven. Uit de figuren blijkt dat de grootste verschillen zich voordoen bij de debietverdeling tussen Everingen en de Pas van Terneuzen (dit is geïllustreerd door o.a. de vakken 31 en 43 in de figuren). In de Pas van Terneuzen wordt het debiet kleiner, ten gunste van het debiet door de Everingen. Dit patroon is anders dan het in (Wang 1999) geconstateerde verschil tussen de debieten berekend door Sobek en de debieten berekend door Implic. Daar zien we dat de amplitude van de Sobek debieten i.h.a wat groter is dan de amplitude van de Implic debieten. Dit betekent dat het op deze manier corrigeren van het Implic model voor het effect van de Froude-term niet zal leiden tot kleinere verschillen tussen Sobek en Implic.

De resultaten voor de waterstanden zijn hier niet gepresenteerd omdat de verschillen voor de waterstanden zo klein zijn dat dit niet op de figuren te zien is.

Opgemerkt wordt dat een andere keuze van de gebieden voor de correctie van de Froude-term (dan weergegeven in figuur 3.1) waarschijnlijk tot andere resultaten leidt. Dit is niet nader onderzocht. Wel is duidelijk dat het gebruik van het programma 'froude.f' met de nodige voorzichtigheid dient te gebeuren, met name omdat door de profielaanpassingen er grote verschillen kunnen gaan optreden tussen het eindprofiel van een vak en het beginprofiel van een naast gelegen vak. Daarnaast wordt opgemerkt dat het huidige Implic model is gecalibreerd met vak-gemiddelde profielen, dus met verwaarlozing van de Froude-term. Zodra de model-schematisatie wordt gecorrigeerd voor de Froude-term moet het model eigenlijk opnieuw gecalibreerd worden, omdat de gebruikte ruwheidsparemeter niet meer past bij de doorstroomprofielen in de vakken (zie ook Appendix A).

### 3.4.3 Correctiecoëfficiënt voor de advectieterm

In de advectieterm van vergelijking 2.1 staat een correctieterm  $\alpha$ . Deze dient ter compensatie van het niet uniform zijn van het snelheidsveld over de dwarsdoorsnede. Dit is een gevolg van de uitgevoerde integratieprocedure bij de afleiding van de één dimensionale impulsvergelijking.

De correctieterm  $\alpha$  kan voor ieder vak in het Implic model, en voor elk van de 20 niveau's in de doorstroomprofielen worden bepaald met behulp van het programma 'advec.f' (zie appendix B) afkomstig van RIKZ. In de huidige studie hebben we de correctieterm  $\alpha$  bepaald zowel voor de profielen in de oorspronkelijke 'model.inp' file (met de gemiddelde doorstroomprofielen), als ook voor de met de Froude-term gecorrigeerde profielen in de 'model.inp' file zoals beschreven in de vorige paragraaf. In tabellen 3.1a en 3.1b staan voor beide simulaties voor alle vakken waarvoor  $\alpha$  niet gelijk is aan 1, en op alle niveau's in het profiel, de berekende waarden van  $\alpha$ .

Het Implic programma heeft een optie om in alle vakken van het model de advectieterm te vermenigvuldigen met een constante factor. Op basis van de orde grootte van de (diepte- en vak-afhankelijke)  $\alpha$ 's in tabellen 3.1a en 3.1b zijn voor  $\alpha=1.1$  en  $\alpha=1.2$  simulaties uitgevoerd met de 'model.inp' file die is gecorrigeerd voor de Froude-term. Dit zijn vrij extreme correcties met als doel te onderzoeken hoe de model-performance van Implic hierdoor verandert. De berekende debieten staan voor enkele vakken en in figuren 3.3a-d en 3.4a-d uitgezet tegen de oorspronkelijke debieten (waar noch een correctie voor de Froude-term, noch een correctie voor de advectie-term is toegepast). De verschillen zijn vrijwel

identiek aan de verschillen weergegeven in figuren 3.2a-3.2d. Dit duidt erop dat het gebruik van de correctiefactor voor de advectionsterm in Implic nauwelijks effect heeft en dus ook niet zal leiden tot kleinere verschillen tussen Sobek en Implic.

[illegible]

Tabel 3.1a waarden voor  $\alpha$  voor de 'model.inp' file met gemiddelde doorstroomprofielen



|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Vak115 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 |
| Vak116 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak117 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 |
| Vak118 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| Vak119 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 |
| Vak120 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 |
| Vak121 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak122 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 |
| Vak123 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak124 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak125 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak126 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 |
| Vak127 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 |
| Vak128 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak129 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak130 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak131 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak132 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak133 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak134 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak135 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak136 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak137 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak138 | 1.00 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 |
| Vak139 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak140 | 1.00 | 1.04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 |
| Vak141 | 1.00 | 1.04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak142 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak143 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak144 | 1.00 | 1.02 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak145 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.04 |
| Vak146 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.03 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.03 | 1.03 |
| Vak147 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.04 |
| Vak148 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.05 | 1.09 | 1.11 | 1.12 | 1.12 | 1.11 | 1.11 | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.07 | 1.06 | 1.05 |
| Vak149 | 1.00 | 1.00 | 1.05 | 1.04 | 1.06 | 1.05 | 1.20 | 1.29 | 1.25 | 1.18 | 1.13 | 1.10 | 1.08 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.02 |
| Vak150 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.05 | 1.06 | 1.04 | 1.14 | 1.25 | 1.26 | 1.22 | 1.17 | 1.14 | 1.11 | 1.10 | 1.08 | 1.07 | 1.06 | 1.05 | 1.04 |
| Vak151 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.18 | 1.33 | 1.33 | 1.27 | 1.21 | 1.17 | 1.14 | 1.11 | 1.09 | 1.07 | 1.06 | 1.05 |
| Vak152 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.21 | 1.39 | 1.35 | 1.25 | 1.18 | 1.13 | 1.10 | 1.09 | 1.07 | 1.06 | 1.05 | 1.04 |
| Vak153 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 |
| Vak154 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| Vak155 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 |
| Vak156 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak157 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak158 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak159 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak160 | 1.00 | 1.04 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Vak161 | 1.00 | 1.04 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak162 | 1.00 | 1.05 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak163 | 1.00 | 1.00 | 1.23 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.01 |
| Vak164 | 1.00 | 1.00 | 1.23 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 |
| Vak165 | 1.00 | 1.00 | 1.23 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.01 |
| Vak166 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak167 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak168 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak169 | 1.00 | 1.05 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 |
| Vak170 | 1.00 | 1.06 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Vak171 | 1.00 | 1.00 | 1.23 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.02 |
| Vak172 | 1.00 | 1.00 | 1.23 | 1.06 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.03 |
| Vak173 | 1.00 | 1.00 | 1.21 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.03 | 1.03 |
| Vak174 | 1.00 | 1.00 | 1.19 | 1.06 | 1.03 | 1.03 | 1.06 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.08 | 1.08 | 1.07 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.03 |
| Vak175 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.08 | 1.23 | 1.29 | 1.26 | 1.23 | 1.21 | 1.18 | 1.15 | 1.13 | 1.11 | 1.09 | 1.07 | 1.06 |
| Vak177 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |

Tabel 3.1b waarden voor  $\alpha$  voor de 'model.inp' file met doorstroomprofielen gecorrigeerd voor de Froude term

### 3.4.4 Overige verschillen tussen het Sobek- en Implic model

Uit de vorige twee paragrafen is gebleken dat de verschillen tussen de hydrodynamische resultaten van het Sobek- en Implic Westerschelde model niet direct te verklaren zijn door de afhandeling van de advectieterm c.q. Froude-term in Implic. Bij het vergelijken van Sobek en Implic is het belangrijk te realiseren dat de definitie van de doorstroomprofielen in Sobek anders is dan in Implic. Het Sobek model is afgeleid uit de *Estmorf profielen* van het Implic model. De Implic- en Estmorf profielen zijn niet identiek. Dit betekent dat het omzetten van een gecalibreerd Implic model niet zomaar leidt tot een gecalibreerd Sobek model. Daarnaast zijn er numerieke verschillen tussen Implic en Sobek: zo rekent Sobek met minimaal drie roosterpunten per vak (Implic niet) en zijn er verschillen tussen de manier waarop met de ruwheidsparemeter wordt omgegaan: Implic rekent met een

reciproke Manning waarde, terwijl Sobek met een 'gewone' Chezy of Manning waarde rekent. Op dit moment is de reciproke Manning waarde uit de Implic schematisatie rechtstreeks overgezet naar de Sobek schematisatie. M.a.w. in het Sobek model zit dus op dit moment een andere ruwheid gemodelleerd!

Alles bij elkaar is het niet verwonderlijk dat er verschillen bestaan tussen de modelresultaten van Sobek en Implic. Het Sobek model dient eigenlijk eerst goed afgeregeld te worden voordat de modelresultaten mogen worden vergeleken.

### 3.5 Conclusies

- De rekentijd van het Estmorf-Sobek model van de Westerschelde kan gereduceerd worden met een factor 0.3 door toepassen van de volgende maatregelen:
  - reductie van de inspeeltijd van de waterbeweging per Estmorf-stap tot één getij
  - vergroting van de tijdstap van 5 min. (=745/149) naar 7 min. en 27 sec. (=745/100)
  - verlaging van het aantal roosterpunten per Estmorf-vak van 5 naar 3
- Het Sobek waterbewegingsmodel is een stabiel model. In combinatie met Estmorf kunnen echter stabiliteitsproblemen optreden bij dichtlopen van vakken na één of meerdere Estmorf-stappen. Dit heeft te maken met de geïmplementeerde droogvalprocedure in Sobek waarbij gebruik wordt gemaakt van Preismansloten. Deze Preismansloten worden na een Estmorf berekening niet aangebracht in het gewijzigde en eventueel drooggevalen profiel.
- M.b.v. het RIKZ programma 'froude.f' is het effect van het meenemen van de Froude-term in een Implic berekening onderzocht. De Froude-term kan de resultaten van met name de debieten significant beïnvloeden. De resultaten zijn echter wel afhankelijk van de gebiedskeuze bij het gebruik van het hulpprogramma, dus het gebruik van dit hulpprogramma dient met de nodige voorzichtigheid te gebeuren. Het is niet waarschijnlijk dat de geconstateerde verschillen tussen de Sobek en de Implic waterbeweging te wijten zijn aan het verwaarlozen van de Froude-term in de Implic berekening.
- M.b.v. het RIKZ programma 'advec.f' is per vak en per laag een correctiefactor voor de advection term berekend. Toepassing van een (voor alle vakken en alle lagen) constante correctieterm van dezelfde orde-grootte leidt niet tot zichtbare verandering in de weergave van de debieten en de waterstanden in Implic. Het is niet waarschijnlijk dat de geconstateerde verschillen tussen de Sobek en de Implic waterbeweging te wijten zijn aan een foutieve afhandeling van de advectionterm in de Implic berekening.
- Verschillen tussen de waterbeweging van Sobek en Implic zijn naar verwachting voor een belangrijk deel te wijten aan verschillen in de weergave van de doorstroomprofielen in beide modellen, en het niet.afgeregeld zijn van de ruwheidsparameter in de Sobek schematisatie.



### 3.6 Aanbevelingen

- De rekentijd van het Estmorf-Sobek model kan wellicht verder gereduceerd worden door het optimaliseren van de vaknummering. Dit heeft te maken met het algoritme voor ‘sparse matrices’ dat gebruikt wordt in de programma code. Gedurende deze studie is het optimaliseren van de vaknummering niet onderzocht omdat dit een behoorlijke inspanning vergt en de in paragraaf 3.5 genoemde maatregelen op dit moment voor voldoende reductie zorgen. In een toekomstige studie echter is het de moeite waard hier aandacht aan te besteden. Er moet met name onderzocht worden of een optimale vaknummering voor Implic ook optimaal is voor Sobek. De model schematisatie schijnt voor Implic zo te zijn opgezet dat de berekening zo min mogelijk tijd vergt. Indien het oplossingsalgoritme in Sobek hetzelfde is als in Implic, dan is de huidige model schematisatie dus al optimaal voor Sobek en kan hiermee geen (snelheids)verbetering verkregen worden.
- Er wordt aanbevolen een oplossing te zoeken voor de stabiliteitsproblemen die op kunnen treden bij Estmorf-Sobek op het moment dat een vak in de Estmorf-berekening dichtloopt. Hierbij kan gedacht worden aan een aanpassing van de Estmorf profielen met een Preisman slot, alvorens (na een morfologische berekening) een nieuwe Sobek berekening wordt ingegaan. Deze aanpassing moet aangebracht worden in de Estmorf software, en vergt naar verwachting een behoorlijke inspanning.
- Voor het vergelijken van de resultaten van het huidige Sobek model en het gecalibreerde Implic model is het noodzakelijk dat ook het Sobek model eerst gecalibreerd wordt.

## 4 B3: Controleren Implic schematisatie Westerschelde monding

### 4.1 Inleiding

In 1999 is het Estmorf Westerschelde model uitgebreid met de monding van de Westerschelde. Hiervoor zijn aan de oorspronkelijke Implic schematisatie 70 vakken toegevoegd. De bodemligging in de monding is geconstrueerd m.b.v. de GIS-applicatie EENDIMS, zodanig dat per modelvak de dwarsdoorsnede van de geul en de komberging zo goed mogelijk worden benaderd (Van der Male, 1999a). Bij afregeling van het uitgebreide model (v.d. Weck, 1999) viel op dat

- tussen het eindprofiel en het beginprofiel van twee opeenvolgende vakken grote verschillen voorkomen
- de toename van de hydraulische straal tussen de verschillende diepte-niveaus vaak veel groter is dan verwacht

In de huidige studie zijn daarom op basis van GIS bodemkaarten van 1968/1970 opnieuw de vakvolumes van de vakken in de monding bepaald. Deze zijn vergeleken met de vakvolumes in de Implic schematisatie van de monding. Daarnaast is, op basis van de Implic schematisatie met vakgemiddelde doorstroomprofielen, met het programma froude.f (zie vorige hoofdstuk) het effect van de Froude-term op de schematisatie bepaald. De aldus verkregen doorstroomprofielen zijn vergeleken met de doorstroomprofielen verkregen met EENDIMS. Als laatste is met een hulpprogramma van RIKZ op verschillende manieren de hydraulische straal uitgerekend en vergeleken met de hydraulische straal in de Implic schematisatie van de monding.

### 4.2 Vergelijking vakvolumes

De vakken in de monding hebben de vaknummers 300 - 370. Voor alle vakken zijn de vakvolumes onder de niveau's HW, MSL en LW met elkaar vergeleken. In figuur 4.1 staan alle volumes tegen elkaar uitgezet. In deze figuur betekent 'GIS' de door WL uit de GIS-bodemkaart geconstrueerde vakvolumes. 'Implic 2' staat voor het gecalibreerde Implic model waarin de doorstroomprofielen in de monding aan het begin en eind van ieder vak zijn gemiddeld, en 'Implic 1' staat voor het oorspronkelijk door RIKZ geleverde Implic model dat is gemaakt m.b.v. de GIS applicatie EENDIMS. Uit de figuur blijkt dat de vakvolumes van 'GIS' en 'Implic 1' vrijwel identiek zijn. 'Implic 2' verschilt van 'Implic 1' in vaknummers 302, 367 en 368. Vaknummers 367 en 368 hebben betrekking op de aangebrachte verandering bij de Wielingen/Sardijngeul zoals beschreven in het calibratierapport (Z2701). Tijdens de calibratie is het doorstroomoppervlak door de Sardijngeul verkleind en door de Wielingen vergroot. De correctie van de Sardijngeul lijkt terecht als we globaal de modelprofielen van vak 366 en 367 vergelijken met profiel 5, gepresenteerd in bijlage H5 van het rapport van van der Slikke (1997). Voor een check van de correctie van het doorstroomprofiel van de Wielingen zal in eer detail naar de resultaten van (van der Slikke, 1997) moeten worden gekeken.

Vak 302 is gelegen voor de haven van Zeebrugge. Blijkbaar is ook hier tijdens de calibratieprocedure een aanpassing aangebracht. Figuur 4.2 toont de Estmorf schematisatie van de monding en de bathymetry van 1968.

### 4.3 Effect Froudeterm op gemiddelde doorstroomprofielen

Tussen het eindprofiel en het beginprofiel van twee opeenvolgende vakken komen in de EENDIMS schematisatie van de monding grote verschillen voor. Dit betekent dat er bij de overgang tussen twee vakken geen behoud van impuls en energie is. Bij uitstroming in een verbreding treedt hierdoor energieverlies op, bij uitstroming van breed naar smal wordt hierdoor energie gegenereerd (tenzij voldoende gedissipeerd door bodemwrijving). Om deze problemen te voorkomen zijn tijdens calibratie van het uitgebreide model met de Westerschelde monding (project Z2701) de begin- en eindprofielen per vak gemiddeld. Nadeel hiervan is dat nu impliciet de Froude term wordt verwaarloosd (zie paragraaf 3.4.1). Dit kan echter weer gecompenseerd worden door calibratie van de ruwheidparameter (zie Appendix A). Deze laatste benadering is eigenlijk voor Implic-Estmorf of Sobek-Estmorf de beste aanpak, omdat binnen Estmorf ook met gemiddelde profielen wordt gerekend. Na een morfologische tijdstap past Estmorf alleen het gemiddelde profiel aan en geeft alleen dit gemiddelde profiel terug aan Implic c.q. Sobek. De ruwheidparameter in het model moet dus passen bij een vak met een gemiddeld profiel, en niet bij een vak waarvan begin- en eindprofiel verschillen.

Figuren 4.3a en 4.3b tonen de verhouding van de doorstroomprofielen aan het eind en het begin van twee of meer opeenvolgende vakken. De doorgetrokken lijn representeert de EENDIMS schematisatie. De tweede lijncode laten we nog even buiten beschouwing. Het is duidelijk dat met name bij de vakovergangen van 301 naar 302 en 306, van 303 naar 304, van 350 naar 351, van 358 naar 359, van 365 naar 366, van 360 en 324 naar 325, en van 367 en 368 naar 370 de verschillen tussen aansluitende eind- en begin-doorstroomprofielen groot is.

Vergelijken we de simulatieresultaten van het model met gemiddelde profielen met de resultaten van het model met de EENDIMS profielen dan zien we behoorlijke verschillen (zie figuren 4.4a-c). In deze vergelijkende simulaties zijn dezelfde randvoorwaarden en ruwheidsparementers toegepast zodat het verschil geheel te wijten is aan het verschil in doorstroomprofielen. In principe zien we hier het effect van de Froude term die in de EENDIMS schematisatie impliciet wordt meegenomen (en dus niet in de profiel-gemiddelde schematisatie). Het effect van de Froude-term op de hydrodynamica is groter, en dus ook de verschillen tussen beide berekeningen zijn groter, naarmate de verschillen tussen begin- en eindprofiel in een vak groter zijn.

Met het programma 'froude.f', gebruikt in hoofdstuk 2, kunnen we de profiel-gemiddelde schematisatie (die is afgeleid van de EENDIMS schematisatie) weer corrigeren voor de Froude term. Doel hiervan is om te checken of de profielen in de EENDIMS schematisatie correct zijn. Hiervoor verdelen we de monding van de Westerschelde in een aantal deelgebieden (conform hoofdstuk 3) op basis waarvan het programma froude.f de gemiddelde profielen corrigeert. De gekozen deelgebieden zijn globaal geselecteerd op toenemende of afnemende vakvolumes. De deelgebieden staan weergegeven in tabel 4.1.

| Deelgebied | vakken                                                                         | lengte deelgebied [m] |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1          | 302, 306, 317, 327, 330, 307, 318, 328, 331, 301, 316, 326, 329, 303, 308, 319 | 17237                 |
| 2          | 305, 310, 322, 311, 312, 323, 313, 324, 304, 309, 320, 321, 335, 314, 325      | 15766                 |
| 3          | 367, 368, 315, 366, 369, 370                                                   | 5381                  |
| 4          | 354, 355, 353, 356                                                             | 10157                 |
| 5          | 363, 364, 362, 365                                                             | 11955                 |
| 6          | 358, 359, 357, 360, 361                                                        | 10597                 |
| 7          | 333, 336, 332, 334, 337                                                        | 9755                  |
| 8          | 339, 346, 352, 340, 347, 338, 345, 351, 341                                    | 9267                  |
|            | 343, 349, 342, 348, 344, 350                                                   | 8727                  |

Tabel 4.1 definitie deelgebieden t.b.v. programma froude.f

In theorie zou de modelaanpassing moeten lijken op de EENDIMS schematisatie. Dit blijkt echter niet het geval. In figuren 4.3a en 4.3b staat een lijncode 'file met Froude correctie' aangegeven waarmee voor een aantal locaties de verhouding tussen opeenvolgende eind- en begin profielen van twee of meer naast elkaar gelegen vakken is gepresenteerd. We zien dat de verschillen tussen opeenvolgende eind- en begin profielen in de schematisatie gecorrigeerd met 'froude.f' soms nog groter zijn, en in ieder geval afwijken van, de verschillen die zich voordoen in de oorspronkelijke EENDIMS schematisatie.

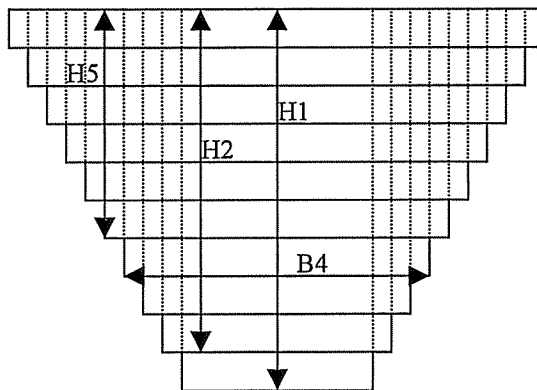
Omdat de uitkomsten van het programma 'froude.f' sterk gerelateerd zijn aan de gekozen deelgebieden, gaan we er op dit moment van uit dat de geconstateerde verschillen niet te wijten zijn aan de EENDIMS schematisatie. De conclusie is dat het programma 'froude.f' eigenlijk geen goed middel is om de begin- en eind doorstroomprofielen van de schematisatie te checken. In plaats daarvan is het beter na te gaan hoe de begin- en eindprofielen van de vakken in de EENDIMS schematisatie tot stand zijn gekomen. Op basis daarvan kan dan beoordeeld worden of de profielen de realiteit lokaal goed weergeven of niet. Indien de profielen correct zijn dan blijft het feit bestaan dat de grote 'sprongen' tussen aansluitende eind- en begin profielen tot minder nauwkeurige resultaten zouden kunnen leiden omdat er geen behoud van energie en impuls meer is.

#### 4.4 Berekening hydraulische straal

Met het programma 'hstraal.f' afkomstig van RIKZ is het mogelijk op drie verschillende manieren de hydraulische straal uit te rekenen:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{\sum_i dB_i H_i}{O} = \left( \frac{A}{O} \right) \\
 R_2 &= \left( \frac{\sum_i C_i dB_i H_i^{1.5}}{CA} \right)^{2.0} \\
 R_3 &= \left( \frac{\sum_i \frac{dB_i H_i^{5/3}}{n_i}}{\frac{1}{n} A} \right)^{1.5}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Hierbij wordt het profiel onderverdeeld in verticale kolommen:



en geldt

- $H_i$  = waterdiepte verticale kolom  $i$  in profiel
- $dB_i = B_{i+1} - B_i$  breedte verticale kolom  $i$  in profiel
- $A_i = dB_i \cdot H_i$ , doorstroomoppervlak kolom  $i$
- $C$  = Chezycoefficient totale profiel
- $C_i$  = Chezycoefficient verticale kolom  $i$
- $n$  = Manning coefficient totale profiel
- $n_i$  = Manning coefficient verticale kolom  $i$
- $O$  = natte omtrek totale profiel
- $A$  = doorstroomoppervlak totale profiel
- $R_k$  = Hydraulische straal,  $k = 1, 3$

De 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> vergelijking uit (4.1) zijn afgeleid uit de veronderstelling dat het doorstroomvermogen in de geul hetzelfde moet zijn als het doorstroomvermogen

geschematiseerd in het model. D.w.z. dat bijv. de hydraulische straal  $R_2$  wordt verkregen met behulp van de volgende afleiding:

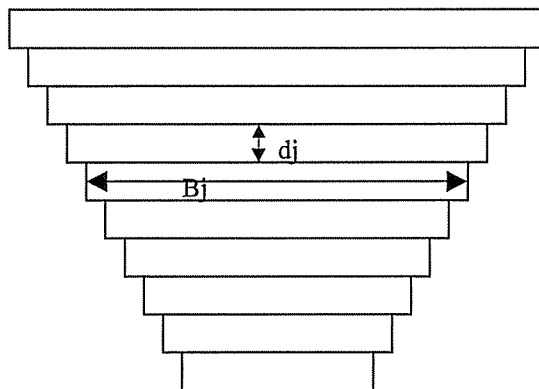
$$\begin{aligned}
 Q &= CA R_2^{1/2} \Rightarrow \\
 Q_i &= C_i A_i R_{i,2}^{1/2} = C_i d B_i H_i R_{i,2}^{1/2} \cong C_i d B_i H_i^{3/2} \Rightarrow \\
 Q &= CA R_2^{1/2} = \sum_i Q_i = \sum_i C_i d B_i H_i^{3/2} \Rightarrow \\
 R_2 &= \left( \frac{\sum_i C_i d B_i H_i^{3/2}}{CA} \right)^2
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Op dezelfde manier kan  $R_3$  afgeleid worden door  $C$  in bovenstaande vergelijking te vervangen door de diepte afhankelijke ruwheidsparemeter  $(R_3)^{1/6}/n$ .

De hydraulische straal die in de EENDIMS software wordt berekend gebruikt de volgende formule:

$$R_{EENDIMS} = \left( \frac{\sum_j \frac{A_j^{5/3}}{O_j^{2/3}}}{A} \right)^{3/2} \tag{4.3}$$

Hierbij wordt het profiel onderverdeeld in horizontale vlakken:



en geldt

$d_j$  = dikte van de  $j$ -de laag

$h_j$  = diepte van de  $j$ -de laag

$B_j$  = breedte van de  $j$ -de laag

$A_j = d_j \cdot B_j$  doorstroomoppervlak van de  $j$ -de laag

$$O_j = 2 \sqrt{\frac{(B_{j+1} - B_j)^2}{4} + d_j^2}$$

Vergelijking (4.3) is eveneens afgeleid uit de veronderstelling dat het doorstroomvermogen in de geul hetzelfde moet zijn als het doorstroomvermogen geschematiseerd in het model.

Echter, de afleiding is anders dan die voor  $R_2$  en  $R_3$  omdat nu het profiel is verdeeld in horizontale vlakken in plaats van verticale kolommen:

$$Q = \frac{R_{EENDIMS}^{1/6}}{n} A R_{EENDIMS}^{1/2}$$

op hoogte  $h_j$  geldt dan

$$Q_j = \frac{R_{j,EENDIMS}^{2/3}}{n_j} A_j = \sum_{k=1}^j \frac{A_k^{5/3}}{n_k O_k^{2/3}} \Rightarrow$$

$$R_{j,EENDIMS} = \left( \frac{\sum_{k=1}^j \frac{A_k^{5/3}}{n_k O_k^{2/3}}}{\frac{A_j}{n_j}} \right)^{1.5} \quad (4.4)$$

Als  $n_j = n$ , voor alle lagen  $j$ , dan is vergelijking (4.4) gelijk aan vergelijking (4.3). Wanneer we de bovengenoemde 4 methoden gebruiken om de hydraulische straal te berekenen van de EENDIMS schematisatie, dan krijgen we de resultaten gepresenteerd in figuur 4.5. In de bovenste grafiek van figuur 4.5 staat het verschil (in m) tussen de hydraulische straal berekend met  $R_1$  en de hydraulische straal van de EENDIMS schematisatie voor een aantal vakken weergegeven als functie van de diepte (x-as). In de figuur daaronder staat het verschil (in m) tussen  $R_2$  en  $R_{EENDIMS}$ . In de onderste figuur staat het verschil (in m) tussen  $R_3$  en  $R_{EENDIMS}$ . Bij de methoden voor  $R_2$  en  $R_3$  is als optie aan het programma meegegeven dat de breedte van de geul gewoon wordt overgenomen uit de profiel-invoer van de EENDIMS schematisatie, en dat de bodemwrijving in alle kolommen constant en gelijk is aan de bodemwrijving in de EENDIMS schematisatie. Wat opvalt is dat de verschillen tussen de plaatjes onderling marginaal zijn, terwijl er duidelijke verschillen zijn tussen  $R_{EENDIMS}$  en de drie andere hydraulische stralen. De verschillen zijn het grootst bovenin het doorstroomprofiel: hier is  $R_{EENDIMS}$  kleiner dan  $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_3$ .

De simulatieresultaten van het model met de hydraulische straal van EENDIMS kunnen we vergelijken met de simulatieresultaten van het model waarin de hydraulische straal in de monding is vervangen door  $R_1$ ,  $R_2$ , of  $R_3$  uit vergelijking (4.1). Hierbij gebruiken we dezelfde randvoorwaarden en ruwheidsparementers zodat het verschil geheel te wijten is aan het verschil in hydraulische straal. In figuren 4.6a-c, 4.7a-c en 4.8a-c zijn simulatieresultaten bij gebruik van verschillende hydraulische stralen voor een aantal vakken in de monding tegen elkaar uitgezet. In figuren 4.6a-c is de hydraulische straal berekend volgens  $R_1$  en  $R_{EENDIMS}$ . In figuren 4.7a-c is de hydraulische straal berekend volgens  $R_2$  en  $R_{EENDIMS}$  en in figuren 4.8a-c is de hydraulische straal berekend volgens  $R_3$  en  $R_{EENDIMS}$ . Uit de resultaten gepresenteerd in de figuren zien we dat  $R_{EENDIMS}$  significant andere resultaten geeft dan  $R_1$ ,  $R_2$  of  $R_3$ . De verschillen tussen de resultaten onderling bij gebruik van  $R_1$ ,  $R_2$  of  $R_3$  zijn nauwelijks zichtbaar.

De afwijkende resultaten bij gebruik van  $R_{EENDIMS}$  wordt veroorzaakt door het verschil tussen vergelijkingen (4.3) en de 3e vergelijking van (4.1) (waarbij  $n_i = n$ ,  $\forall i$ ):

$$\begin{aligned}
 R_{EENDIMS} - R_3 &= \left( \frac{\sum_j \frac{A_j^{5/3}}{O_j^{2/3}}}{A} \right)^{3/2} - \left( \frac{\sum_i dB_i H_i^{5/3}}{A} \right)^{3/2} \\
 &= \sum_j \frac{A_j^{5/3}}{O_j^{2/3}} - \sum_i dB_i H_i^{5/3}
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

Vergelijking (4.5) is niet verder te vereenvoudigen doordat de ene sommatie loopt over de kolommen in het profiel, en de ander over de rijen.

## 4.5 Conclusies

De volumes van de Estmorf vakken zoals berekend m.b.v. de EENDIMS applicatie komen goed overeen met de volumes die door WL direct uit de veldgegevens zijn bepaald middels het GIS pakket ARCVIEW.

Uit de studie is niet duidelijk geworden of de (niet-symmetrische) EENDIMS profielen aan het begin- en eind van een vak de realiteit goed weergeven. De profielen in hun huidige vorm kunnen echter tot problemen c.q. onnauwkeurigheden leiden bij gebruik in simulaties i.v.m. het niet behoudend zijn van energie en impuls bij een overgang tussen twee vakken.

Als wordt gerekend met vak-gemiddelde profielen is er wel behoud van energie en impuls, maar dan wordt de Froude-term impliciet verwaarloosd. Dit laatste kan gecompenseerd worden door aanpassing van de ruwheidsparameter in het model.

Het blijkt niet mogelijk met het programma 'froude.f' (bron RIKZ) de EENDIMS profielen aan het begin en eind van de vakken in de monding van de Westerschelde te reproduceren. Dit heeft mogelijk te maken met het feit dat de resultaten van het programma 'froude.f' erg afhankelijk zijn van de deelgebieden die een gebruiker definieert. Hierdoor is het programma 'froude.f' niet geschikt om te checken of de EENDIMS profielen aan begin- en eind van een vak correct zijn.

Het effect van de Froude-term op de gesimuleerde debieten is in een aantal vakken significant. Hiermee kan rekening worden gehouden bij calibratie van het model als vakgemiddelde profielen worden toegepast. Lokaal is dan de ruwheidsparameter een belangrijke calibratieparameter.

Met het programma 'h-straal.f' (bron RIKZ) kan op drie manieren de hydraulische straal van een doorstroomoppervak worden bepaald. Het blijkt niet mogelijk te zijn met dit programma de hydraulische straal berekend door EENDIMS in de monding van de Westerschelde, te reproduceren. Dit heeft te maken met de toegepaste formulering voor de hydraulische straal in EENDIMS die op zich correct is, maar wel anders dan de drie manieren in het hulpprogramma.



## 4.6 Aanbevelingen

- Op dit moment gebruikt Estmorf vakgemiddelde profielen. Dit betekent dat het initieel aanbieden van twee verschillende profielen per vak teniet wordt gedaan na één morfologische tijdstap en morfologische aanpassing van de profielen. Met de huidige Estmorf versie wordt dus niet méér nauwkeurigheid in de waterbeweging verkregen als in de monding van het model niet-vakgemiddelde profielen worden geschematiseerd. Bovendien kunnen grote sprongen in de eind- en begin profielen tussen twee aansluitende vakken problemen geven m.b.t. impuls- en energiebehoud. Daarom wordt aanbevolen om de monding van de Westerschelde te schematiseren met vakgemiddelde profielen, en de hierbij impliciet verwaarloosde Froudeterm te compenseren door aanpassing van de ruwheidsparameter. Deze aanbeveling is in principe al uitgevoerd bij de hydrodynamische calibratie van het uitgebreide Estmorf-Implic model (v.d. Weck, 1999), en vergt dus geen extra inspanning.
- M.b.t. de EENDIMS-applicatie wordt aanbevolen na te gaan hoe de begin- en eindprofielen binnen een vak worden bepaald. Dit is gezien de vorige aanbeveling minder relevant voor de ontwikkelingen binnen Estmorf, maar wel belangrijk voor de praktische bruikbaarheid van de EENDIMS applicatie.
- Er wordt aanbevolen na te gaan of de formule voor de hydraulische straal correct in de programma-source van EENDIMS is geïmplementeerd, omdat het niet mogelijk is gebleken met de hier gepresenteerde formuleringen de hydraulische straal in de IMPLIC schematisatie van de monding van de Westerschelde te reproduceren.

## 5 Schematisatie Land van Saeftinge

### 5.1 Inleiding

In het huidige Estmorf model van de Westerschelde is het Land van Saeftinge gepresenteerd met 3 prismatische kanalen met een zijdelings bergingsgebied. Dit heeft al regelmatig tot problemen geleid bij uitvoering van morfologische simulaties. Het Land van Saeftinge is een belangrijke buffer voor sediment. Bepaalde stortstrategieën kunnen er voor zorgen dat dit gebied dichtslibt. Bovendien kan, door het gering aantal vakken, geen onderzoek worden gedaan naar het morfologisch gedrag van het gebied terwijl dit van belang is voor de stabiliteit van het estuarium. Als onderdeel van deze studie is daarom een nieuwe schematisatie van het Land van Saeftinge gemaakt die eenzelfde resolutie heeft als de omliggende vakken in het model. Het model is vervolgens geanalyseerd op de weergave van waterstanden en debieten, en er is onderzocht of de gewijzigde schematisatie van het land van Saeftinge van invloed is op de overall modelresultaten.

### 5.2 Analyse data

#### 5.2.1 Historische ontwikkeling Land van Saeftinge

Uit diverse bronnen zijn bathymetrische data van het Land van Saeftinge beschikbaar:

1. uit een notitie van Borgerhout
2. via digitale DTM metingen van 1963 en 1992
3. uit het huidige ('oude') met IMPLIC gemodelleerde Land van Saeftinge

In onderstaand stukje worden deze dieptegegevens van het land van Saeftinge onderling met elkaar vergeleken ter validatie van de voor de schematisatie van het Land van Saeftinge gebruikte digitale bathymetrische kaarten van 1963 en 1992.

Uit de notitie van F. Cumps (Borgerhout, 1993) blijkt de volgende evolutie van de komberging van het land van Saeftinge:

| Hoogte t.o.v.<br>NAP | bergingscapaciteit in m <sup>3</sup> onder aangegeven niveau |          |          |          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                      | 1914                                                         | 1933     | 1961     | 1979     |
| -2.33                | 1028000                                                      | 420000   | 50000    | -        |
| -1.33                | 3048000                                                      | 1600000  | 450000   | 4000     |
| -0.33                | 7448000                                                      | 4220000  | 1925000  | 865000   |
| 0.67                 | 15868000                                                     | 9520000  | 5300000  | 3250000  |
| 1.67                 | 31534000                                                     | 20520000 | 12100000 | 8950000  |
| 2.67                 | 43078000                                                     | 29840000 | 18300000 | 13650000 |
| 3.67                 | 57228000                                                     | 43060000 | 28800000 | 20400000 |

Tabel 5.1 Volumes uit 'Borgerhout' dataset

Met behulp van de tabel kunnen we de volumes voor 1963 (voor welke periode de DTM kaart beschikbaar is) en voor 1971 (het jaar waarvoor hydrodynamische meetdata t.b.v. calibratie beschikbaar is) lineair interpoleren. We krijgen dan voor de respectievelijke jaren de volgende bergingscapaciteit:

| Hoogte t.o.v. NAP          | bergingscapaciteit in m <sup>3</sup> onder aangegeven niveau |                       |                       |                 |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
|                            | 1961                                                         | 1963 (geïnterpoleerd) | 1971 (geïnterpoleerd) | 1979            |
| <b>-2.33</b>               | <b>50000</b>                                                 | -                     | -                     | -               |
| <b>-2 (geïnterpoleerd)</b> | <b>183333</b>                                                | <b>163111</b>         | <b>82222</b>          | <b>1333</b>     |
| <b>-1.33</b>               | <b>450000</b>                                                | <b>400444</b>         | <b>202222</b>         | <b>4000</b>     |
| <b>-1 (geïnterpoleerd)</b> | <b>941667</b>                                                | <b>869371</b>         | <b>580185</b>         | <b>291000</b>   |
| <b>-0.33</b>               | <b>1925000</b>                                               | <b>1807222</b>        | <b>1336111</b>        | <b>865000</b>   |
| <b>0 (geïnterpoleerd)</b>  | <b>3050000</b>                                               | <b>2895556</b>        | <b>2277778</b>        | <b>1660000</b>  |
| <b>0.67</b>                | <b>5300000</b>                                               | <b>5072222</b>        | <b>4161111</b>        | <b>3250000</b>  |
| <b>1 (geïnterpoleerd)</b>  | <b>7566667</b>                                               | <b>7298148</b>        | <b>6224074</b>        | <b>5150000</b>  |
| <b>1.67</b>                | <b>12100000</b>                                              | <b>11750000</b>       | <b>10350000</b>       | <b>8950000</b>  |
| <b>2 (geïnterpoleerd)</b>  | <b>14166667</b>                                              | <b>13761111</b>       | <b>12138889</b>       | <b>10516667</b> |
| <b>2.67</b>                | <b>18300000</b>                                              | <b>17525000</b>       | <b>15716667</b>       | <b>13650000</b> |
| <b>3 (geïnterpoleerd)</b>  | <b>21800000</b>                                              | <b>21144444</b>       | <b>18522222</b>       | <b>15900000</b> |
| <b>3.67</b>                | <b>28800000</b>                                              | <b>27866667</b>       | <b>24133333</b>       | <b>20400000</b> |

Tabel 5.2 geïnterpoleerde volumes afgeleid van 'Borgerhout' dataset

De volumes berekend uit de *digitale* DTM data van 1963 en 1992 zijn gepresenteerd in tabel 5.3. Hierbij is het volume van vak 371 (zie figuur 5.2) niet meegenomen omdat dit voor het grootste deel niet hoort bij het Land van Saeftinge zoals gedefinieerd in het rapport van Borgerhout.

| Hoogte t.o.v. NAP | bergingscapaciteit in m <sup>3</sup> onder aangegeven niveau (gebied omvat 9 nieuwe vakken Land van Saeftinge, vak 371 is weggelaten, zie ook fig 5.2a/b) |                          |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                   | 1963<br>(uit DTM meting)                                                                                                                                  | 1992<br>(uit DTM meting) |
| <b>-3</b>         | -                                                                                                                                                         | -                        |
| <b>-2</b>         | 18734                                                                                                                                                     | 7076                     |
| <b>-1</b>         | 379776                                                                                                                                                    | 115172                   |
| <b>0.</b>         | 1861630                                                                                                                                                   | 692025                   |
| <b>1</b>          | 5431623                                                                                                                                                   | 2677394                  |
| <b>2</b>          | 12369143                                                                                                                                                  | 7456794                  |
| <b>3</b>          | 26740409                                                                                                                                                  | 17240551                 |

Tabel 5.3 Volumes uit DTM metingen

De volumes weergegeven in tabellen 5.2 en 5.3 zijn, voor het jaar 1963, tegen elkaar uitgezet in figuur 5.1a. Tot 2 m t.o.v. NAP ontlopen de bergende volumes elkaar niet veel.

I.h.a. zijn de volumes uit de DTM meting kleiner dan de (geïnterpoleerde) volumes uit de notitie van Borgerhout. Boven 2 m NAP neemt het volume van de DTM meting snel toe t.o.v. de data gepresenteerd in de notitie van Borgerhout. De verschillen worden waarschijnlijk grotendeels verklaard door het verschil in oppervlak van het Land van Saeftinge dat gebruikt is voor het bepalen van het bergend volume.

Uit de oude modelschematisatie van het land van Saeftinge kunnen we ook het bergend volume bepalen. Hierbij worden de volumes van vakken 371, 371 en 373 (zie figuur 5.2c) niet meegenomen omdat zij weer buiten de definitie van het land van Saeftinge vallen zoals toegepast in de notitie van Borgerhout. De dieptegegevens die gebruikt zijn voor de modelschematisatie van het oude model dateren van 1961/1962. Hiervoor zijn hoogtelijnen aangebracht op een lodingskaart van de Westerschelde en het geheel is gebruikt voor schematisatie van het oude IMPLIC model. De volumes (berekend door vermenigvuldiging van vaklengte en oppervlak) staan genoteerd in tabel 5.4.

| Hoogte t.o.v. NAP | bergingscapaciteit in m <sup>3</sup> onder aangegeven niveau (gebied omvat 27 oude vakken Land van Saeftinge, vakken 371, 372 en 373 zijn weggelaten) |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | 1961/1962<br>(uit oude modelschematisatie)                                                                                                            |
| -3                | -                                                                                                                                                     |
| -2                | 167030                                                                                                                                                |
| -1                | 694820                                                                                                                                                |
| 0.                | 2116340                                                                                                                                               |
| 1                 | 4743280                                                                                                                                               |
| 2                 | 8682440                                                                                                                                               |
| 3                 | 14119400                                                                                                                                              |

Tabel 5.4

In figuur 5.1b staan de data van 1961 en 1979 uit de notitie van Borgerhout, de 1963 DTM en de 1992 DTM meting en de volumes uit de oude Saeftinge schematisatie voor 1961/1962 nog eens bij elkaar. Na NAP+2 m zijn de volumes uit de DTM meting van 1963 groter dan de Borgerhout-volumes uit 1961, terwijl het kombergend vermogen van het land van Saeftinge in de loop der jaren alleen maar is afgenomen. Hetzelfde patroon zien we in de 1992 DTM data: hier zijn de volumes groter dan de 1979 volumes van Borgerhout, hetgeen eveneens indruist tegen de morfologische ontwikkeling van het Land van Saeftinge.

Na NAP+1 m zijn de volumes uit de oude model schematisatie merendeels kleiner dan de Borgerhout volumes uit 1979. Dit laatste wordt veroorzaakt door het feit dat de volumes in de oude schematisatie niet het gemeten bergend volume van het Land van Saeftinge weergeven maar een bewerking daarvan. In de oude schematisatie zijn de profielen zo geschematiseerd dat bij een stijgende waterspiegel de berging in het stroomvoerend deel pas toeneemt als de waterdiepte > 1 m. Dit is gedaan t.b.v. modelcalibratie, maar hierdoor zijn de geulen boven ca NAP te klein t.o.v. de ruwe data. Dit is ook te zien in figuur 5.1b.

Samenvattend kunnen we concluderen dat de digitale gegevens en de data van Borgerhout weliswaar verschillen vertonen maar dat dit waarschijnlijk grotendeels te verklaren is door

de grootte van het oppervlak dat gebruikt is om voor beide datasets het bergend volume te berekenen. Qua orde-grootte stemmen beide datasets in ieder geval overeen, wat ons voldoende vertrouwen geeft in het gebruik van de DTM gegevens voor de modelschematisatie van het Land van Saeftinge. Wel ontstaan er door het gebruik van de DTM gegevens behoorlijke verschillen tussen het bergend volume van de oude modelschematisatie en het bergend volume van de nieuwe modelschematisatie. Dit is geïllustreerd in tabel 5.5 waarin het bergend volume van het Land van Saeftinge wordt weergegeven zoals geschematiseerd in de oude modelschematisatie en in de nieuwe schematisatie (beschreven in paragraaf 5.3). Voor de berekening is in beide modellen exact hetzelfde gebied genomen.

| niveau | nieuw (1963 DTM) | oud (1961/1962) | verhouding oud/nieuw |
|--------|------------------|-----------------|----------------------|
| NAP    | 3739959          | 2612990         | 0.70                 |
| NAP+1  | 8421684          | 5697730         | 0.68                 |
| NAP+2  | 16791311         | 10277390        | 0.61                 |
| NAP+3  | 32862308         | 16524950        | 0.50                 |
| NAP+4  | 50671233         | 24919000        | 0.49                 |
| NAP+6  | 86293562         | 44911140        | 0.52                 |

Tabel 5.5 Bergend volume (m3) onder aangegeven niveau voor oude en nieuwe Saeftinge model

### 5.2.2 Waterstanden, debieten en snelheden

In de loop der jaren zijn er diverse debiet-, waterstands- en snelheidskrommen gemeten in en nabij het land van Saeftinge. Voor de modelanalyse van de nieuwe Saeftinge schematisatie zijn voor de zeerand van het Implic model (uitgebreid met de Westerschelde monding) randvoorwaarden beschikbaar voor de periode 11/12 mei 1971 en voor de periode 16/17 oktober 1992. Deze randvoorwaarden zijn gegenereerd met het 2DH hydrodynamisch kuststrook model van RIKZ. De Implic runs die in de huidige studie zijn uitgevoerd t.b.v. analyse van de nieuwe Saeftinge schematisatie betreffen dus bovengenoemde periodes in 1971 en 1992, en de modelresultaten kunnen alleen vergeleken worden met metingen die betrekking hebben op deze periodes.

Tabel 5.6 geeft een overzicht van de beschikbare meetgegevens. Hierin staat ook aangegeven welke data daadwerkelijk in de huidige studie zijn gebruikt.

|              | Meetperiode     | Bron                                                               | Locatie                                                       | Gebruikt: ja/nee                                              |
|--------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Waterstanden | 10-12 mei 1971  | DONAR                                                              | Bath<br>Hansweert                                             | ja<br>“                                                       |
|              | 11 mei 1971     | Studiedienst<br>Vlissingen,<br>Rijkswaterstaat<br>directie Zeeland | Bath<br>Vlissingen                                            | ja<br>“                                                       |
|              | 11-12 aug 1971  | Studiedienst<br>Vlissingen,<br>Rijkswaterstaat<br>directie Zeeland | Bath<br>Baalhoek<br>P1<br>P2<br>P3<br>P4<br>P5<br>P6          | nee<br>ja, omgezet naar<br>11/5/1971<br>“<br>“<br>“<br>“<br>“ |
|              | 17 okt 1992     | (Krijger, 1993)                                                    | Baalhoek<br>Speelmansgat<br>IJselder<br>Hondegat              | ja<br>“<br>“<br>“                                             |
| Debieten     | 1991<br>1994    | Directie<br>Zeeland,<br>Rijkswaterstaat                            | Debiet- en<br>sedimentmeting<br>raai 4, Land van<br>Saeftinge | nee                                                           |
| Debieten     | 11 en 12/8/1971 | Studiedienst<br>Vlissingen,<br>Rijkswaterstaat<br>directie Zeeland | Raai I<br>(Speelmansgat)                                      | ja, vertaald naar<br>11/5/71                                  |
|              | 11 en 12/8/1971 |                                                                    | Raai II<br>(IJselder)                                         | ja, vertaald naar<br>11/5/71                                  |
|              | 11 en 12/8/1971 |                                                                    | Raai III<br>(Hondegat)                                        | ja, vertaald naar<br>11/5/71                                  |
| Snelheden    | 11 en 12/8/1971 | Studiedienst<br>Vlissingen,<br>Rijkswaterstaat<br>directie Zeeland | diverse<br>meetpunten op<br>raaien I, II en III               | nee                                                           |

Tabel 5.6 beschikbare meetgegevens in de Westerschelde en nabij Land van Saeftinge

### 5.3 Modelschematisatie

De modelschematisatie is opgezet met als uitgangspunten de beschikbare bathymetry van 1963 en 1992, de morfologische ontwikkeling van het Land van Saeftinge die met deze data wordt beschreven, en de resolutie van de omliggende vakken in het model. Het gebied is onderverdeeld in 10 vakken, waarbij 4 vakken zijn gebruikt om het Speelmansgat te schematiseren (vaknummers 371, 372, 373 en 374), 3 vakken voor de IJselder (vaknummers 375, 376 en 377) en 3 vakken voor het Hondegat (vaknummers 378, 379 en 380). De modelschematisatie is weergegeven in figuren 5.2a en 5.2b. In beide figuren is respectievelijk de bathymetry van 1963 en de bathymetry van 1992 geplot.

Voor de modelcalibratie is zowel de bathymetry van 1963 gebruikt als die van 1992, omdat er modelrandvoorwaarden en waterstands- en/of debietmetingen voor de periode 11/12 mei 1971 en voor de periode 16/17 okt 1992 beschikbaar zijn (zie vorige paragraaf). De 1963 bathymetry past weliswaar niet exact bij de calibratieperiode van 1971, maar het is het beste dat op dit moment mogelijk is.

De ‘oude’ modelschematisatie van het Land van Saeftinge bestaat uit slechts 3 vakken (zie figuur 5.2c). Tijdens calibratie van het Implic model na uitbreiding met de monding (zie v.d.Weck, 1999, z2701) is echter de lengte van elk van de drie vakken in 10 gelijke stukken verdeeld waardoor per vak 10 identieke cellen zijn ontstaan. Bovendien is het model geoptimaliseerd t.b.v. de ‘bandmatrix solver’ in IMPLIC. Hierdoor rekent IMPLIC met een optimale snelheid, en is tegelijkertijd de mogelijkheid opengelaten om het Land van Saeftinge met max. 30 vakken te schematiseren. De resolutie van deze 30 vakken is veel fijner dan de omliggende vakken in de Westerschelde. Bovendien is bij deze onderverdeling geen rekening gehouden met de bathymetry en de morfologische ontwikkeling van het land van Saeftinge waardoor het niet geschikt is voor Estmorf berekeningen.

## 5.4 Analyse calibratie/validatie runs

### 5.4.1 waterstanden 1971

Tijdens de calibratie/validatie van het nieuw geschematiseerde Land van Saeftinge zijn de resultaten van het ‘oude’ model vergeleken met de resultaten van het nieuwe model. Hierbij is niet alleen gekeken naar stations in en nabij het Land van Saeftinge, maar ook verderop in de Westerschelde: de nieuwe schematisatie mag immers geen invloed hebben op de modelresultaten in de rest van het gebied.

Figuur 5.3 laat waterstandsberekeningen zien van het oude model, uitgezet tegen DONAR metingen (Hansweert en Bath) en uitgezet tegen metingen van de studiedienst van Vlissingen (Bath, Vlissingen en Baalhoek), voor de periode 10/5/1971 19:20 - 12/5/1971 1:20. De berekeningen passen goed op de metingen, zowel qua fasering als qua getijamplitude. Dit geldt ook voor de waterstandsberekeningen met het nieuwe model in dezelfde stations, gepresenteerd in figuur 5.4. Er zijn geen zichtbare verschillen tussen de waterstandsberekeningen van het oude- en het nieuwe model in deze stations.

Dezelfde vergelijking is gemaakt voor stations P1 (Speelmansgat), P2 (IJskelder), P3 (Hondegat), P4 (Hondegat), en P5 en P6 (beide gelegen in de ondiepe delen van het Land van Saeftinge). De locaties van deze meetpunten is weergegeven in figuur 5.5a. De waterstandsberekeningen met het oude en nieuwe model zijn uitgezet tegen de metingen in respectievelijke figuren 5.5b en 5.5c, en figuren 5.5d en 5.5e. Opgemerkt wordt dat de metingen in deze punten niet direct de periode 11/12 mei 1971 beslaan, maar de periode 11/12 aug 1971. De metingen zijn echter herleid tot de periode 11/12 mei 1971 op basis van metingen voor het getijstation Bath die voor beide periodes (11/12 mei 1971 en 11/12 aug 1971) beschikbaar was.

Omdat de meetpunten vaak middenin een Implic-vak liggen zijn voor enkele punten de rekenresultaten aan het begin en eind van het betreffende vak gepresenteerd. Voor de oude Saeftinge schematisatie is niet helemaal duidelijk hoe de dertig vakken precies geschematiseerd zijn, dus is er globaal gekeken welke vakken het beste passen bij welke meetpunten. Verder wordt opgemerkt dat de vaknummers genoemd in figuren 5.5b en 5.5c verwijzen naar de oude vaknummers gepresenteerd in figuur 5.2c, terwijl de vaknummers genoemd in figuren 5.5d en 5.5e verwijzen naar de nieuwe vaknummers gepresenteerd in figuur 5.2b. De extensie '.1' of '.2' van een vaknummer verwijst naar het begin ('.1') of eind ('.2') van het betreffende vak. Uit de figuren blijkt dat het nieuwe model de waterstanden in station P1 beter representeert dan het oude model. In de overige stations is de modelrepresentatie gelijkwaardig.

NB. De modelresultaten van het nieuwe model getoond in figuren 5.5d en 5.5e laten zien dat door de relatief grote vakken de afstroming bij eb in de ondiepe vakken iets onstabiel verloopt (zie de 'knik' in het waterstandsverloop van vakken 372.2, 375.2, 374.1 en 377.1). Door het gebruik van 2 verschillende profielen aan begin- en eind van ieder vak (in plaats van 1 gemiddeld profiel zoals hier toegepast) zullen de resultaten naar verwachting verbeteren (zie bijlage 3 van het rapport van v.d. Weck, 1994). Aangezien Estmorf steeds met gemiddelde profielen rekent is dit hier geen optie, omdat de verbetering dan alleen in de eerste morfologische tijdstap wordt toegepast. Een andere oplossing is een verdere verkleining van de resolutie (zie v.d. Weck, 1994) maar dit is ook i.v.m. de morfologische toepassing met Estmorf niet gewenst, omdat dit tot instabiliteiten tijdens de morfologische berekeningen kan leiden. Aangezien de schematisatie van het Land van Saeftinge in de huidige studie is gewijzigd met als belangrijkste doel het stabielere maken van toekomstige morfologische berekeningen, en aangezien de modelrepresentatie van de gewijzigde schematisatie acceptabel is t.o.v. de oude modelschematisatie, wordt de hier toegepaste resolutie als voldoende nauwkeurig beschouwd.

#### 5.4.2 debieten 1971

Voor drie raaien in resp. het Speelmansgat (raai I), de IJskelder (raai II) en het Hondegat (raai III) zijn voor de periode 11/12 mei 1971 ook debietmetingen beschikbaar. De exacte locaties van de raaien is weergegeven in figuur 5.5a, waarbij raai I loopt door de punten 1, 2, 3, 4 en 5, raai II door de punten 6, 7, 8, 9 en 10 en raai III door de punten 12, 13, 14 en 15.

Figuren 5.6 en 5.7 bevatten de resultaten van respectievelijk het oude en het nieuwe model in de drie raaien. Opgemerkt wordt dat het exact berekenen van de debieten door de raaien lastig is, omdat de vakindeling (van zowel het oude als het nieuwe model) niet overeenkomt met de exacte positie van de raaien. Uit de figuren blijkt dat het oude model door de kleinere vakken iets beter in staat is om de debieten te representeren dan het nieuwe model. De modelrepresentatie van beide modellen is echter in raaien I en II van gelijkwaardige kwaliteit. In raai III presteert het oude model beter dan het nieuwe model, met name wat betreft de fasering. Het is niet mogelijk gebleken de performance van het nieuwe model door aanpassing van bijv. de bodemruwheid te verbeteren. Verwacht wordt dat de oorzaak van de slechtere performance van het nieuwe model grotendeels wordt veroorzaakt door de bathymetry van 1963 die teveel afwijkt van de simulatieperiode van 1971. Hierdoor is



waarschijnlijk het kombergend volume van het Land van Saeftinge te groot geschematiseerd. Dit wordt ondersteund door het feit dat het kombergend volume van de oude schematisatie een stuk kleiner is dan die in de nieuwe schematisatie, zoals we eerder hebben geconstateerd in paragraaf 5.2. Verder zal ook de exacte ligging van de raai een rol spelen in de modelperformance, omdat het moeilijk is met de grote vakken zoals hier gebruikt het debiet door een willekeurige meetraai correct te berekenen.

Er is op dit moment niet voor gekozen om de bodemschematisatie aan te passen omdat de rest van het Westerschelde model de situatie van 1968 representeert, en de bathymetry van 1963 voor het Land van Saeftinge morfologisch gezien dichterbij 1968 ligt dan de bathymetry van 1971. Dit betekent dat er op dit moment geen reden is om de bathymetry zodanig aan te passen dat de resultaten zo goed mogelijk bij de meetdata passen.

#### 5.4.3 Waterstanden en debieten 1992

Met het model met de nieuwe Saeftinge schematisatie zijn ook waterstands- en debiet berekeningen uitgevoerd voor de simulatieperiode 16/17 oktober 1992. Hiervoor is de bodemschematisatie van 1992 in het Land van Saeftinge aangebracht. Weliswaar past deze bodem niet exact bij de bodemschematisatie in de rest van het model (=1968), maar voor de modelrepresentatie lokaal in het Land van Saeftinge is dit de eerlijkste manier om berekeningen met metingen te vergelijken. Figuur 5.8 toont de waterstandsberekeningen uitgezet tegen de metingen voor de periode 16/10/1992 23:20 - 18/10/1992 02:00. Behalve het moment van droogvallen worden de getijamplitude en fase goed gesimuleerd. Het droogvallen wordt niet goed gesimuleerd omdat het in een 1D model niet mogelijk is om op bepaalde hoogte het doorstroomoppervlak op 0 te zetten. Er zal altijd gerekend moeten worden met een soort Preisman-slot, wat betekent dat er onder het 'normale' profiel een klein gootje wordt gehangen. De waterstand kan dan als het ware beneden 'droogstand-niveau' zakken. Dit is echter kunstmatig en heeft geen invloed op de rekenresultaten.

Van de debieten zijn geen metingen beschikbaar voor deze periode. In figuur 5.9 is de voortplanting van het debiet in het Speelmansgat, de IJskelder en het Hondegat weergegeven. Ter vergelijking zijn in figuur 5.10 dezelfde debieten voor de 1963 bodem (met gebruikmaking van dezelfde randvoorwaarden) weergegeven. Het is duidelijk dat de afname van het bergend volume in het Land van Saeftinge van 1963 tot 1992 leidt tot een afname van het debiet in de getijgaten. Tabel 5.7 geeft de eb- en vloedvolumina voor 1963 en 1992 weer die door het model worden gesimuleerd in een raai aan het begin van de vakken 371, 375 en 379. Deze raaien geven de eb- en vloedvolumina weer van resp. het Speelmansgat, de IJskelder en het Hondegat.

| Volumina (m3) |       | 1963<br>schematisatie | 1992<br>schematisatie | verhouding<br>1992/1963 |
|---------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Speelmansgat  | vloed | 1.3E+07               | 1.0E+07               | 0.75                    |
|               | eb    | -1.3E+07              | -9.5E+06              | 0.70                    |
| IJskelder     | vloed | 1.1E+07               | 8.2E+06               | 0.72                    |
|               | eb    | -1.0E+07              | -6976743              | 0.67                    |
| Hondegat      | vloed | 4.9E+06               | 4.1E+06               | 0.84                    |
|               | eb    | -4.4E+06              | -3681040              | 0.84                    |
| Totaal        | vloed | 3.0E+07               | 2.2E+07               | 1.19                    |
|               | eb    | -2.8E+07              | -2.0E+07              | 1.35                    |

Tabel 5.7 Getijvolumina gesimuleerd door IMPLIC met nieuwe Saeftinge schematisatie

Er blijkt dat de ebvolumes in het Speelmansgat van 1963 tot 1992 ca 30% zijn afgenomen, in de IJskelder ca. 33% en in het Hondegat ca 16%. De vloedvolumes zijn in het Speelmansgat ca 25%, in de IJskelder ca 28% en in het Hondegat ca 16% afgenomen. Deze percentages zijn vergelijkbaar met de percentages gepresenteerd in (Krijger, 1993).

## 5.5 Conclusies

- Aanpassing van de schematisatie van het Land van Saeftinge in het Westerschelde model (uitgebreid met de monding) leidt naar verwachting tot betere resultaten bij morfologische berekeningen, omdat bij de modellering rekening is gehouden met de migratie van de geulen en de bathymetry nu is geschematiseerd met eenzelfde resolutie als de omliggende vakken.
- Aanpassing van de schematisatie van het Land van Saeftinge in het Westerschelde model geeft in calibratiestations Vlissingen, Bath, Hansweert en Baalhoek dezelfde kwaliteit waterstandsresultaten als het oorspronkelijke model. In de monding van het verbeteren de waterstandsresultaten door de nieuwe modelschematisatie.
- De debieten in het Speelmansgat en de IJskelder worden door het oude en nieuwe model met eenzelfde nauwkeurigheid gesimuleerd. In het Hondegat presteert het oude model beter. Dit is te wijten aan veel kleinere kombergings in de oude modelschematisatie t.o.v. de nieuwe modelschematisatie, waardoor de oude modelschematisatie beter bij de calibratieperiode van 1971 past.
- De nieuwe schematisatie van het Land van Saeftinge maakt gebruik van de bodemschematisatie van 1963, maar is vergeleken met waterstands- en debietmetingen van 1971. Dit geeft een discrepantie waardoor het niet goed mogelijk is het model af te regelen zonder ook de bathymetry aan te moeten passen. Hier is niet voor gekozen omdat de bathymetry in de rest van de Westerschelde de situatie van 1968 weergeeft, en 1963 morfologisch gezien (voor het Land van Saeftinge) dichtbij 1968 ligt dan 1971.
- De nieuwe modelschematisatie is gevalideerd door in plaats van de 1963 bathymetry de 1992 bathymetry in het model te schematiseren. De waterstandsberekeningen die met dit

model voor een periode in 1992 zijn uitgevoerd in stations Baalhoek, Speelmansgat, IJskelder en Hondegat zien er uitstekend uit en zijn van eenzelfde kwaliteit als de waterstandrepresentatie in de rest van het model.

## 6 Morfologische controle Westerschelde

### 6.1 Inleiding

Het huidige Estmorf model van de Westerschelde is afgeregeld op basis van gemeten morfologische veranderingen over de periode 1968 t/m 1993. De schematisatie van 1968 is gebaseerd op veldgegevens en met de hand gemaakt. De vraag is in hoeverre een in de tijd bepaalde schematisatie afwijkt van de werkelijkheid en hoeveel invloed dit heeft op het eindresultaat. Tijdens dit onderdeel zullen daarom, indien mogelijk, de volgende activiteiten worden uitgevoerd:

- er wordt een morfologische simulatie gedraaid met het gecalibreerde model van 1968 t/m 1981
- de berekende schematisatie van 1981 wordt vergeleken met de 'gemeten' schematisatie van de Westerschelde van 1981 door vergelijken van vakvolumes van overeenkomstige vakken
- voor zover mogelijk worden zoveel mogelijk vak-schematisaties in de berekende model.inp file van 1981 vervangen door vakschematisaties van de 'gemeten' schematisatie van 1981
- er wordt een doorstart met de nieuwe modelschematisatie gemaakt en er wordt een morfologische run gedaan tot en met 1993
- het eindresultaat voor 1993 wordt vergeleken met het eindresultaat van het oorspronkelijke model (geul- en plaatvolumes)
- met de 2 gesimuleerde modelschematisaties voor 1993 worden waterstanden en debieten berekend en onderling met elkaar vergeleken.

### 6.2 Vergelijking modelschematisaties 1968 en 1981

De modelschematisaties van 1968 en 1981 blijken behoorlijk te verschillen. Behalve het aantal vakken (178 in het 1981 model, en 180 in het 1968 model) zijn ook de vorm van een groot aantal vakken, en de lengte van de meeste vakken verschillend. In figuur 6.1 is aangegeven in welke gebieden in ieder geval de vorm en de verdeling van het aantal vakken behoorlijk verschilt. Dit zijn juist gebieden die bij de morfologische afregeling van het (1968) Estmorf model moeilijkheden gaven.

In figuur 6.2 is de verhouding tussen de vaklengtes van het 1981 model en het 1968 model weergegeven voor 85 vakken die qua vorm min of meer overeenkomen. De verschillen liggen in het algemeen in de range van -20% tot +20%.

Behalve de vakschematisatie en de vaklengte zijn er verder verschillen in de toegepaste reciproke Manningwaarden in beide modellen. In de 1981 schematisatie zijn in het algemeen 10-20 keer grotere waarden toegepast.

### 6.3 Analyse modelresultaten en 'metingen' 1981

Met het 1968 model is een morfologische simulatie uitgevoerd van 1968 tot 1981. De berekende modelschematisatie is vervolgens zo goed mogelijk vergeleken met de modelschematisatie van 1981 door het bergend volume onder MLW, MSL en MHW van beide modellen per vak en/of per deelgebied met elkaar te vergelijken.

In figuur 6.3 is voor de vakken die min of meer met elkaar te vergelijken zijn per vak het bergend volume van het door Estmorf gesimuleerde 1981 model uitgezet tegen het bergend volume van het (voor FLOW) gecalibreerde en op metingen gebaseerde 1981 model. Hieruit blijkt dat per vak de verschillen behoorlijk groot kunnen zijn. Kijken we niet naar de individuele vakken maar naar groepen van vakken waarvan we zeker weten dat ze in beide modellen hetzelfde gebiedsoppervlak beslaan dan blijkt dat de verschillen tussen beide modellen veel kleiner zijn. Hiertoe verdelen we de Westerschelde in 7 gebieden. In tabel 6.1 staat aangegeven welke vakken tot welke gebieden horen.

| Gebied | Vaknummers 1968-model                      | Vaknummers 1981- model                |
|--------|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1      | 1-22, 28, 40, 184, 187, 190                | 2-10, 12-14, 16-18, 20-22, 27, 38, 39 |
| 2      | 23, 24, 26, 27, 29, 30-34, 41-43, 50-52    | 23-26, 28-32, 40-42, 48, 50           |
| 3      | 35-39, 44-49, 53-55, 61, 62                | 33-37, 43-47, 51-54, 61, 62           |
| 4      | 56-60, 63-65, 67-74                        | 55-60, 63-73, 81, 82                  |
| 5      | 75-79, 82-85, 91-94                        | 74-77, 83-86, 88-90, 93, 94           |
| 6      | 80, 81, 88-90, 95-99, 101, 102             | 78-80, 87, 91, 92, 95-100, 108        |
| 7      | 100, 103, 106-109, 115, 116, 118, 119, 185 | 101-107, 109-116                      |

Tabel 6.1: gebiedsdefinitie voor vergelijking bergend volume

In figuur 6.4 is voor de zeven gebieden uit tabel 6.1 de verhouding en het verschil tussen het bergend volume van beide modellen weergegeven. Er blijkt dat in gebieden 1, 2 en 3 de absolute verschillen tussen de (gebieds)volumes van beide modellen het grootst is, terwijl dit orde 10% bedraagt van het totale (gebieds)volumen, zowel voor de niveau's MLW, MSL als MHW. Verder is duidelijk dat in het 1981 model gebaseerd op metingen het volume kleiner is dan in het voor 1981 gesimuleerde model. In gebieden 4, 5, 6 en 7 is het absolute verschil tussen de volumes van beide modellen kleiner. De volumes voor het 1981 model gebaseerd op metingen zijn nu groter dan voor het gesimuleerde model van 1981. De grootste verschillen treden op (met name voor de volumes onder MLW) in gebied zes dat bestaat uit de Schaar van de Noord en het land van Saeftinge. Het is niet onwaarschijnlijk dat de Estmorf simulatie hier het minst nauwkeurig is t.o.v. de rest van het model.

Opgemerkt wordt dat het Estmorf model is gecalibreerd op morfologische *veranderingen* van 1968 tot 1993, en niet op basis van absolute volumes. De initiële bodemschematisatie van 1968 vertoont in absolute zin al behoorlijke verschillen met de gemeten bodemschematisatie. Dit is te zien in het calibratie rapport van (Fokkink, 1998, z2262). Het vergelijken van absolute gemeten en berekende volumes voor het jaar 1981 zegt dus niet zoveel over de rekennauwkeurigheid van Estmorf, omdat een fout die al in de initiële schematisatie zit naar verwachting nog steeds effect heeft op de absolute resultaten van 1981.

## 6.4 Analyse modelresultaten en 'metingen' 1993

Door de grote verschillen tussen de 1968 modelschematisatie en de 1981 modelschematisatie blijkt het niet mogelijk een morfologische simulatie uit te voeren met de 1981 schematisatie die direct te vergelijken is met een morfologische simulatie die start vanuit de 1968 schematisatie. Dit heeft met name te maken met de vereiste evenwichtsconstanten voor de geul en voor de hoge en lage platen, en de dispersiecoëfficiënt die per vak wordt opgegeven. Zowel de evenwichtsconstanten als de dispersiecoëfficiënten zijn calibratieparameters van het model. Als de modelschematisatie van 1968 en 1981 identiek zouden zijn geweest, dan zouden per vak deze parameters kunnen worden overgezet van het 1968 model naar het 1981 model. Omdat de modellen niet identiek zijn is geprobeerd om in ieder geval voor de vakken die zoveel mogelijk overeenkomen de evenwichtsconstanten en de dispersiecoëfficiënt te kopiëren. Daarna is geprobeerd voor de overige vakken waarden te vinden die zoveel mogelijk lijken op waarden in het 1968 model. Dit is noodzakelijk omdat de morfologische ontwikkeling gestuurd wordt door de evenwichtsconstanten en de dispersiecoëfficiënten. Bij toepassing van verschillende evenwichtsconstanten en/of dispersiecoëfficiënten zouden verschillen in de gesimuleerde morfologische ontwikkeling niet meer terug te voeren zijn op verschillen in de modelschematisatie.

Ondanks diverse pogingen is het echter niet mogelijk gebleken een stabiele morfologische run voor het 1981 model uit te voeren. Dit werd grotendeels veroorzaakt door het feit dat als randvoorwaarde gold dat de evenwichtsconstanten en dispersiecoëfficiënten niet te veel veranderd mochten worden, omdat anders de modellen teveel gingen verschillen. Het betekent dus niet dat er met het 1981 model helemaal geen morfologische run gedaan kan worden, maar wel dat het 1981 model eigenlijk afzonderlijk voor morfologische berekeningen gecalibreerd dient te worden. De problemen deden zich vooral voor in de vakken op de Platen van Valkenisse en in het Verdrongen Land van Saeftinge. Geconcludeerd moet worden dat de grote verschillen tussen het 1968 model en het 1981 model het helaas niet toelaten een vergelijkbare morfologische simulatie uit te voeren.

## 6.5 Conclusies

- De hier vergeleken Implic modellen van 1968 en 1981 vertonen grote verschillen wat betreft:
  - vakindeling
  - vaklengte
  - reciproke Manningcoëfficiënt
- Met het 1968 model is een morfologische simulatie gedaan voor de periode 1968-1981. De resulterende 1981 schematisatie is vergeleken met de op metingen gebaseerde 1981 schematisatie. Een vergelijking per vak geeft behoorlijke verschillen te zien die hoofdzakelijk worden veroorzaakt door de bovengenoemde verschillen in vakindeling en vaklengte. Een vergelijking per deelgebied laat verschillen in bergend volume zien die i.h.a. variëren van -10% tot +10%. Van de zeerand tot ca. de plaat van Ossensisse heeft het 1981 model gebaseerd op metingen bergende volumes die ca 10% kleiner zijn dan de door Estmorf voorspelde volumes. Vanaf de plaat van Ossensisse tot ca de grens Ossensisse heeft het 1981 model gebaseerd op metingen bergende volumes die ca 10% groter zijn

dan de door Estmorf voorspelde volumes. Tot 20% grotere verschillen worden aangetroffen in het gebied dat grotendeels betrekking heeft op het Land van Saeftinge.

- Het is belangrijk te realiseren dat het Estmorf model is gecalibreerd op meerjarige morfologische veranderingen en niet op absolute geul- of plaatvolumes. De geconstateerde absolute (grote) verschillen tussen de gemeten en berekende volumes in de 7 deelgebieden in de Westerschelde voor 1981 zijn dus geen teken dat Estmorf het 'slecht' doet. Van belang hierin is met name het effect van de initiële bathymetrische schematisatie en de afwijking hiervan t.o.v. metingen.
- Het is niet mogelijk gebleken een morfologische run uit te voeren met het 1981 model gebaseerd op metingen door het ontbreken van evenwichtsconstanten en dispersiecoëfficiënten die vergelijkbaar zijn met de waarden toegepast in het (gecalibreerde) 1968 model.

## 6.6 Aanbevelingen

- Een onderzoek naar het effect van de initiële bathymetrische schematisatie op de morfologische berekeningen van Estmorf is hier eigenlijk niet uitgevoerd door ontbreken van onderling goed te vergelijken modellen. Er wordt aanbevolen om uit te gaan van een bathymetrische kaart van een willekeurig jaar en dit om te zetten naar de huidige Estmorf schematisatie. In dat geval kunnen de morfologische runs, die voor dit project waren gepland om uitgevoerd te worden met de 1981 schematisatie, alsnog gedaan worden. Belangrijk is dan echter wel dat onderzocht wordt hoe groot precies de verschillen zijn tussen de gemeten bathymetry van 1968 en de in Estmorf geschematiseerde initiële bathymetry van 1968, omdat dit van invloed is op de nauwkeurigheid waarmee Estmorf de absolute bathymetry van het geselecteerde jaar goed kan voorspellen. Deze aanbeveling vergt nog een behoorlijke inspanning omdat het eigenlijk betekent dat er nieuwe flow-model wordt gemaakt, dat ook gecalibreerd dient te worden, voordat er Estmorf berekeningen mee gedaan kunnen worden.
- Bij de calibratie van Estmorf (Fokkink 1998, Z2662) zijn berekende vakvolumes vergeleken met gemeten volumes. Hierbij is echter geen rekening gehouden met het feit dat de volumes in de Implic schematisatie niet exact de gemeten volumes weergeven. Dit heeft te maken met de geschematiseerde doorstroomprofielen die t.o.v. de data zodanig zijn aangepast dat bij een stijgende waterspiegel de berging in het stroomvoerend deel pas toeneemt als de waterdiepte groter is dan 1 m. Er wordt aanbevolen om de vergelijking van de Estmorf berekeningen en de gemeten volumes te verbeteren door de volumes van het 1968 model te schalen naar de data van 1968 en vervolgens opnieuw de morfologische ontwikkelingen te vergelijken met de metingen.

## Referenties

- Bollenbakker, G.P., 1985. IJking en verificatie van het één-dimensionaal mathematisch model IMPLIC voor het Scheldebekken met bodemligging 1981. Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren, nota WWWKZ-85.V006.
- Cumps, F., 1993. Evolutie verondieping Verdrongen Land van Saefinge, juni 1993. Het tijverzichtsmodel Westerschelde 500-1. Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, Antwerpen
- Karssen B, and Wang, Z.B, 1991. Morphological modelling in estuaries and tidal inlets, part I, literature survey. WL/Delft Hydraulics rapport Z473.
- Karssen B, and Wang, Z.B, 1992. A dynamic empirical model for the long-term morphological development of estuaries, part I, physical relations. WL/Delft Hydraulics rapport Z622.
- Allersma, E., 1993. Geulen in Estuaria, 1D modellering van evenwijdige geulen, WL/Delft Hydraulics rapport H1828/H1970.
- Karssen, B., 1994. A dynamic empirical model for the long term morphological development of estuaries, development of the model. WL/Delft Hydraulics rapport Z715.
- Karssen, B., 1995. Evaluation of Estmorf. WL/Delft Hydraulics rapport Z891.
- Fokkink, R.J., 1996. An evaluation of the Estmorf model.. WL/Delft Hydraulics rapport Z667.
- Fokkink, R.J., 1996. An new evaluation of Estmorf. WL/Delft Hydraulics rapport Z930
- Fokkink, R.J., 1997. Analyses of the Estmorf model. WL/Delft Hydraulics rapport Z2039.
- Fokkink, R.J., 1998. Morphodynamic network simulations of the Westerschelde. WL/Delft Hydraulics rapport Z919.
- Fokkink, R.J., 1998. Final Version of the Estmorf model. WL/Delft Hydraulics rapport Z2262.
- Krijger, G.M., 1993. Het Verdrongen Land van Saefinge komt weer boven water. Werkdocument GWWS-93.838x, afstudeerverslag, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg, juni 1993.
- Slikke, M.J. van der., 1997. Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993). Een inventarisatie van de dieptegegevens (1800-1996). IMAU rapport R97-18. November 1997.
- Slikke, M.J. van der., 1998. Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969-1993). IMAU rapport R98-05.
- Weck, A.J. v.d., 1994. Hydraulisch model Friese Zeegat, IMAU rapport R 95-12, Utrecht.
- Weck, A.J. v.d., 1999. Vooronderzoek uitbreiding Estmorf Schematisatie Westerschelde. WL/Delft Hydraulics rapport Z2590.
- Weck, A.J. v.d., 1999. Uitbreiding Estmorf model Westerschelde. WL/Delft Hydraulics rapport Z2701.
- Wang, Z.B., 1999. Verbetering Estmorf. WL/Delft Hydraulics rapport Z2760.
- Wang, Z.B., Jeuken M.C.J.L., 2000, Morfologische ontwikkeling van intergetijde-gebieden en modellering met ESTMORF, Evaluatie modelresultaten, WL/Delft Hydraulics rapport Z2776 I
- Wang, Z.B., Jeuken M.C.J.L., 2000, Morfologische ontwikkeling van intergetijde-gebieden en modellering met ESTMORF, literatuurstudie, WL/Delft Hydraulics rapport Z2776 II



# Appendix A

De laatste term van het linker lid van vergelijking (2.1) is de weerstandsterm, die kan worden geschreven als

$$\frac{O}{gA\rho} \tau_b = \frac{Ou^2}{AC^2} = \frac{OQ^2}{A^3C^2}$$

met

$C$  = Chezy coëfficiënt

$u$  = snelheid

$Q$  = debiet

$O$  = natte omtrek

$A$  = doorstroomoppervlak

Verwaarlozing van de Froude-term kun je compenseren in de weerstandsterm door zodanige aanpassing van de Chezycoëfficiënt dat geldt:

$$\frac{OQ^2}{A^3C_n^2} = \frac{OQ^2}{A^3C_o^2} - \frac{1}{gA} \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{Q^2}{A^3} \left( \frac{O}{C_o^2} - \frac{1}{g} \frac{\partial A}{\partial x} \right)$$

ofwel

$$\frac{O}{C_n^2} = \left( \frac{O}{C_o^2} - \frac{1}{g} \frac{\partial A}{\partial x} \right) \Leftrightarrow$$

$$C_o = \sqrt{\frac{\Delta x g C_n^2 O}{\Delta x g O + C_n^2 \Delta A}}$$

met

$C_n$  = Chezy coëfficiënt voor waterbeweging incl. Froude term

$C_o$  = Chezy coëfficiënt voor waterbeweging excl. Froude term

Als 1e voorbeeld nemen we vak 354 uit het (uitgebreide) Implic Westerschelde model, met:

$$\Delta A = A_2 - A_1 = 2266 \text{ m}^2,$$

$$\Delta x = 2777 \text{ m},$$

$$A_2 = \text{oppervlak aan eind van het vak (36587 m}^2 \text{ en } R = 7.7),$$

$$A_1 = \text{oppervlak aan begin van het vak (34321 m}^2 \text{ en } R = 7.7),$$

$$1/n_n = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}, \text{ en}$$

$$O = \text{natte omtrek} = 4685 \text{ m}.$$

$$\text{Dan volgt dat } C_n = R^{1/6}/n_n = 49.2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}, \text{ en dus}$$

$$C_o = 48.2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}, \text{ ofwel } 1/n_o = 34.3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

2e voorbeeld uit het (uitgebreide) Implic Westerschelde model: vak 313.

$$\Delta A = A_2 - A_1 = 6020 \text{ m}^2,$$

$$\Delta x = 3249 \text{ m},$$

$$A_2 = \text{oppervlak aan eind van het vak (53143 m}^2 \text{ en } R = 13.4),$$

$$A_1 = \text{oppervlak aan begin van het vak (47123 m}^2 \text{ en } R = 13.4),$$

$$1/n_n = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}, \text{ en}$$

$$O = \text{natte omtrek} = 4073 \text{ m}.$$

$$\text{Dan volgt dat } C_n = R^{1/6}/n_n = 53.9 \text{ m}^{1/2}/\text{s}, \text{ en dus}$$

$$C_o = 50.6 \text{ m}^{1/2}/\text{s}, \text{ ofwel } 1/n_o = 32.8 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

De conclusie die we uit bovenstaande voorbeelden kunnen trekken is dat met een relatief kleine aanpassing van de bodemruwheid het ontbreken van de Froude term in de modelschematisatie kan worden gecompenseerd.

# Appendix B Hulpprogrammatuur

## Programma hstraal.f

```

C *****
C *
C * PROGRAMMA VOOR HET HERBEREKENEN VAN DE HYDRAULISCHE *
C * STRAAL UITGAANDE VAN EEN BESTAANDE SCHEMATISATIE *
C *
C *****
C
C
C OO TOELICHTING
C DE LITERATUUR GEEFT VERSCHILLENDE METHODEN VOOR HET
C BEREKENEN VAN DE HYDRAULISCHE STRAAL.
C HET ONDERSTAANDE PROGRAMMA GEEFT DE MOGELIJKHEID OM TE EXPI-
C RIMENTEREN MET DE DIVERSE BESTAANDE BEREKENINGSMETHODEN.
C IN HET PROGRAMMA ZIJN DRIE METHODEN OPGENOMEN VOOR HET HER-
C BEREKENEN VAN DE HYDRAULISCHE STRAAL NL. :
C KEUS=1 : DE HYDRAULISCHE STRAAL WORDT BEREKEND OP BASIS
C VAN NATTE OPPERVLAKTE / NATTE OMTREK.
C KEUS=2 : DE HYDRAULISCHE STRAAL WORDT BEREKEND UITGAANDE
C VAN HET DOORSTROOMVERMOGEN VAN DE GEUL.
C EERST WORDT DOOR INTEGRATIE VAN  $C \cdot H^{3/2}$  OVER DE
C GEULBREEDTE HET DOORSTROOMVERMOGEN BEPAALD. DAARNA
C WORDT HIERUIT DE HYDRAULISCHE STRAAL BEPAALD DOOR
C TE STELLEN DAT VOOR ELKE DIEPTE HET DOORSTROOMVER-
C MOGEN VAN DE GEUL MOET OVEREENSTEMMEN MET HET VER-
C VERMOGEN IN HET MODEL ( $C \cdot A \cdot R^{1/2} = \text{INT}(C \cdot H^{3/2})$ ).
C KEUS=3 : IDEM ALS 2 MAAR NU IS DE C-WAARDE NIET KONSTANT
C ALS BIJ 2 MAAR VARIEERT DEZE MET  $H^{1/6}$  ( $C = K \cdot H^{1/6}$ ).
C
C OO OPGELOSTE VERGELIJKINGEN
C KEUS=1 :  $\text{RTOT} = \text{INT}(H) / \text{OMT}$ 
C KEUS=2 :  $\text{RTOT} = (\text{INT}(K \cdot H^{1.500}) / K \cdot \text{INT}(H))^{0.500}$ 
C KEUS=3 :  $\text{RTOT} = (\text{INT}(K \cdot H^{1.667}) / K \cdot \text{INT}(H))^{0.667}$ 
C
C WAARIN : RTOT: DE HYDRAULISCHE STRAAL VAN DE GEUL
C INT : DE INTEGRAAL OVER DE BREEDTE VAN DE GEUL
C K : DE CHEZY-WAARDE OF DE RECIPROKE
C MANNING-WAARDE(AFHANKELIJK VAN
C KEUS 2 OF 3)
C H : WATERDIEPTE
C OMT : OMTREK
C
C OO VERDERE MOGELIJKHEDEN
C DIEPTE : VIA DE PARAMETER DIEPTE KAN OPgegeven WORDEN
C TOT WELKE DIEPTE DE BREEDTE VAN HET STROOM-
C VOEREND DEEL VAN DE GEUL MET DE DIEPTE BLIJFT
C TOENEMEN (DIEPTE OPGEVEN TOV NAP EN DIEPTE
C AFRONDEN OP HALVE METERS). DE HYDRAULISCHE
C STRAAL WORDT DAN BEREKEND OVER HET OPgegeven
C GEBIED.(DEZELFDE DIEPTE GELDT VOOR ALLE VAKKEN ]]])

```

```

C      DNV,FAC: VIA DE PARAMETERS FAC(FACTOR) EN DNV(NIVEAU)
C      KAN DE RUWHEID VAN GEBIEDEN MET EEN HOOGTE >=
C      DNV EEN ANDERE RUWHEID GEGEVEN WORDEN BIJ
C      HET BEREKENEN VAN HET DOORSTROOMVERMOGEN VAN DE
C      GEUL (RUWHEID = FAC*RUWHEID).
C
C      00INVOER
C      DE INVOER BESTAAT UIT EEN FILE MET DE IMPLIC-SCHEMATISATIE
C      EN EEN ELEMENT MET START-EN STUUIOPDRACHTEN VOOR DE UIT-
C      VOERING VAN HET PROGRAMMA.
C      VOOR EEN BESCHRIJVING VAN DE SCHEMATISATIE WORDT VERWEZEN
C      NAAR DE DOKUMENTATIE VAN IMPLIC. NIET ALLE IN DE DOKUMEN-
C      TATIE OPGEGEVEN MOGELIJKHEDEN ZIJN TOEGELATEN(ZIE VOORBEELD):
C      1.DE SCHEMATISATIE DIEN TEGEVEN TE WORDEN MET TWEE OPPER-
C      VLAKTEN PER VAK (A1 EN A2 IN DE DOKUMENTATIE).
C      2.DE TEKSTKAARTEN AAN HET BEGIN VAN DE SCHEMATISATIE DIE-
C      NEN WEGGELATEN TE WORDEN, EVENALS TRIGGERS EN DE C-KAARTEN
C      3.DE VERVALSEKTIES AAN HET EIND VAN DE SCHEMATISATIE DIENEN
C      WEGGELATEN TE WORDEN.
C
C      DE OPDRACHTEN VOOR DE UITVOERING HEBBEN DE VOLGENDE VORM :
C      REGEL 1 : @ASG,UP "NAAM UITVOERFILE"
C      2 : @USE 12,"NAAM INVOERFILE"
C      3 : @USE 16,"NAAM UITVOERFILE"
C      4 : @XQT "NAAM PROGRAMMA"
C      5 : PARAMETER KEUS MET I-FORMAT
C      6 : PARAMETER DIEPTE MET F-FORMAT
C      7 : PARAMETERS FAC EN DNV MET F-FORMAT
C
C      OO VOORBEELD SCHEMATISATIE
CSR-10 81      1      1      2 2670 -3.00 -3.00 38.00 38.00
CW      65.00 3.60
CA1  512. 591. 673. 758. 847. 940. 1034. 1133. 1248. 1410.
C  1644. 1916. 2192. 2468. 2746. 3024. 3304. 3584. 3865. 4147.
CA2  554. 645. 741. 842. 947. 1060. 1180. 1309. 1460. 1666.
C  1950. 2276. 2606. 2938. 3270. 3604. 3938. 4274. 4611. 4949.
CBB  167. 174. 181. 190. 200. 209. 219. 239. 293. 443.
C  593. 604. 607. 609. 611. 613. 615. 617. 619. 619.
CR   3.19 3.55 3.90 4.24 4.57 4.93 5.29 5.55 6.03 6.24
C   6.13 6.10 6.22 6.42 6.69 6.99 7.31 7.66 8.02 8.40
C
C      OO WAARSCHUWING
C      1.UIT DE LITTERATUUR BLIJKT DAT DE HYDRAULISCHE STRAAL BIJ
C      DE METHODE VOLGENS KEUS 2 OF 3 EN PLOTSELINGE VERWIJNING
C      NIET MEER CONTINUE TOENEMEND KAN ZIJN. DIT IS OPZICH JUIST
C      OMDAT BLIJKT DAT HET DOORLAATVERMOGEN BIJ DEZE SITUATIES
C      WEL CONTINUE BLIJFT TOENEMEN MET TOENEMENDE DIEPTE.
C      2.DE STROOMVOERENDE DOORSNEDEN WORDEN DOOR HET PROGRAMMA
IVM
C      DE PARAMETER DIEPTE HERBEREKEND. DE INGEVOERDE EN UITGEVOERDE
C      NATTE DOORSNEDEN ZULLEN DAARDOOR NIET ALTIJD OVEREENSTEMMEN.
C
C
C
C
C*****PROGRAMMATEKST*****
C
C      -STEL DIMENSIES ARRAYS MET IN- EN UITVOERPARAMETERS VAST

```

```

      CHARACTER*74 WIND,BLANK
      character*69 vak
      DIMENSION  A1(20),A2(20),BB(20),R(20), Rnew(20)
C
C      -STEL DIMENSIES INTERN ARRAY VAST
      DIMENSION DB(20)  !,A
C

      open (unit=12, file='model.inp', status='old', iostat = iost)
      if ( iost .NE. 0 ) STOP 'File = model.inp, niet gevonden'

      OPEN( 16, FILE = 'model.out')

      open (unit=17, file='h-straal.rpt')

C      -LEES PARAMETERS KEUS-, DIEPTE, DNV EN FAC
      write(*,*) ' Geef keuze'
      READ (*,*) KEUS
      write(*,*) ' Geef diepte'
      READ (*,*) DIEPTE
      write(*,*) ' Geef dnv en fac'
      READ (*,*) DNV,FAC

      WRITE(17,90)KEUS
      WRITE(17,100)DIEPTE
      WRITE(17,110)DNV,FAC

C      write(17,'(A)')
C      +' vaknr lengte aloud alnieuw//'
C      +' len*oud len*nieuw verschil'

C
C      -TESTEN OP KEUS, DIEPTE EN DNV (BEVEILIGINGEN)
C      -KEUS GEEN 1,2 OF 3
      IF (KEUS .NE. 1 .AND. KEUS .NE. 2 .AND. KEUS .NE. 3) GOTO 180

C      -DIEPTE GEEN VEELVOUD 0.50 M
      TDIEP=(DIEPTE+3.00)/0.50 ! + 1.
      IDIEP=NINT(TDIEP)
      IF (ABS(TDIEP-IDIEP) .GT. 1.E-6) GOTO 180

C      -DIEPTE NIET TUSSEN -3 EN +6.5M.
      IF (IDIEP .LT. 1 .OR. IDIEP .GT. 20) GOTO 180

C      -NIVEAU GEEN VEELVOUD 0.50 M
      TNV =(DNV +3.00)/0.50 ! + 1.
      INV =NINT(TNV)
      IF (ABS(TNV -INV) .GT. 1.E-6) GOTO 180

C      -NIVEAU NIET TUSSEN -3 EN +6.5M.
      IF (INV .LT. 1 .OR. INV .GT. 20) GOTO 180
C
C      -KIES DE MACHTEN BEHOREND BIJ KEUS 2 OF 3
      IF (KEUS .EQ. 2) THEN
        A=1.500
      ENDIF
      IF (KEUS .EQ. 3) THEN
        A=1.667

```

```

ENDIF

READ( 12, '(A)') blank
DO WHILE( blank(:1) .EQ. '*' )
  READ( 12, '(A)') blank
ENDDO
BACKSPACE( 12)

DO 170,I=1,300                                LUS1
C
C   -LEES SCHEMATISATIE IMPLIC
  READ(12,'(A)',END=999) VAK
  READ( vak(33:), '(F7.0)') vlengte
  READ( vak(40:), '(F7.2)') wlv1

  READ(12,40)WIND
  READ(12,50)(A1(J),J=1,20)
  READ(12,50)(A2(J),J=1,20)
  READ(12,50)(BB(J),J=1,20)
  READ(12,60)(R(J) ,J=1,20)
  READ(12,40)BLANK
30  format(a32,F7.0)
40  FORMAT(A74)
50  FORMAT(4X,10F7.0)
60  FORMAT(4X,10F7.2)
*
*  Parkeren van A1-waarde op NAP (index=6)
*
  A1NAPoud = A1(6)
*
  WRITE( 17, '(A)')
+ 'Als A1 en A2 verschillen van Agem dan//'
+ ' worden dezelfde verschillen'
  WRITE( 17, '(A)')
+ 'opnieuw toegepast op de nieuwe Agem.'

  WRITE( 17,'(A,A,A,F8.0)')
+ 'Vak =', vak(6:8), ', Lengte =', vlengte

  IF ( KEUS .EQ. 1 ) THEN
    WRITE( 17, '(A)')
    + ' 3 Laag Hoogte Som-Agem Breedte Diepte//'
    + ' R-oud R-nieuw Som-Agem'
C    WRITE( 17, '(A)')
C    + ' 3 Laag Hoogte Som-A Diepte Breedte//'
C    + ' (( DSV1 + DSV2 ) / Tot-A)**2 = R'
    ELSEIF ( KEUS .EQ. 2 ) THEN
      WRITE( 17, '(A)')
      + ' 3 Laag Hoogte Som-Agem Breedte Diepte//'
      + ' R-oud R-nieuw Som-Agem'
      ELSEIF ( KEUS .EQ. 3 ) THEN
        WRITE( 17, '(A)')
        + ' 3 Laag Hoogte Som-Agem Breedte Diepte//'
        + ' R-oud R-nieuw Som-Agem'
      ENDIF

      AGEM1=(A1(1)+A2(1))/2.

```

```

WRITE( 17, '(A,I4,F9.2,2F10.1,F8.3)' '3', 1,
+   Wlvl, AGEM1, BB(1), R(1)

DO 80,J=2,20
C
C   -INITIALISEER SOMMATIEVARIABLEN VOOR EEN VAK
SOMH =0.0
SUMOMT=0.0
SUMH =0.0
SOMOMT=0.0
SOMHMA=0.0
C
C   -STEL OPPERVLAKE EN DIEPTE EERSTE STROOK VAN GEUL VAST
OPP1 =AGEM1+BB(1)*(J-1)*0.50
HGT1=R(1)+(J-1)*0.50
wlv1 = wlv1 + 0.50
C
C   -STEL VERSCHIL TUSSEN TWEE OPEENVOLGENDE BREEDTEN VAST
DB(J)=BB(J)-BB(J-1)
IF (DB(J) .LE. 0.0) DB(J)=0.0000001
C
C   -TEST OP EVT BREEDTEBEGRENZING
IF (J .GT. IDIEP) THEN
  DB(J)=0.
  BB(J)=BB(IDIEP)
ENDIF
C
C   -SOMMEER OVER DE GEULBREEDTE
DO 70,K=2,J                               LUS3
C
C   -BEREKEN DE OPPERVLAKE VAN DE GEUL BUITEN DE EERSTE STROOK
SOMH =SOMH +((BB(K)+BB(K-1))*0.5-BB(1))*0.50
C
C   -BEREKEN DE TOTALE OPPERVLAKE VAN DE GEUL
TAGEM=OPP1+SOMH
C
C   -BEREKEN DE OMTREK VAN DE GEUL VOOR KEUS 1
IF (KEUS .EQ. 1) THEN
  SOMOMT=SOMOMT+SQRT(DB(K)**2.+0.50**2.)
C
C   -BEREKEN VOOR KEUS 1 DE OMTR. EN OPP. EVT. DEEL MET HOGERE RUWHEID
C   IF ( k .GT. inv .AND. ABS(fact-1) .LT. 0.0001) THEN

  IF ( k .GT. inv .AND. ABS(fac - 1.) .LT. 0.0001) THEN
    SUMH = SUMH + ((BB(K)+BB(K-1))*0.5-BB(INV))*0.50
    SUMOMT= SUMOMT+ SQRT(DB(K)**2.+0.50**2.)
  else
    sumh = 0
    sumomt = 0
  ENDIF
ENDIF
C
C   -BEREKEN SOMMATIES OVER DE GEUL VOOR KEUS 2 EN 3
IF (KEUS .EQ. 2 .OR. KEUS .EQ. 3) THEN
C   -TEST OP HET BESTAAN VAN RUWHEIDSVARIATIE OVER DE BREEDTE
IF ((J-(K-2)) .GT. INV) THEN
  FACT=FAC

```

```

ELSE
  FACT=1.00
ENDIF
SOMHMA=SOMHMA+FACT*DB(J-(K-2))*((K-1)*0.50-0.25)**A
ENDIF
70 CONTINUE                                LUS3
C
C   -BEREKEN HYDRAULISCHE STRAAL VOOR KEUS 1
IF (KEUS .EQ. 1) THEN
  if (sumomt .eq. 0.) then
    dsv2 = 0
C   -DOORSTROOMVERMOGEN DEELGEBIED 2
    else
      DSV2=FAC*SUMH*SQRT(SUMH/SUMOMT)
    endif
C   -DOORSTROOMVERMOGEN DEELGEBIED 1
    SUMH=SOMH-SUMH
    SUMOMT=SOMOMT-SUMOMT
    DSV1=1.0*SUMH*SQRT(SUMH/SUMOMT)+OPP1*SQRT(HGT1)
C   -BEREKENING HYDRAULISCHE STRAAL
    Rnew(J)=((DSV1+DSV2)/TAGEM)**2.

  ENDIF
C
C   -BEREKEN HYDRAULISCHE STRAAL VOOR KEUS 2 EN 3
IF (KEUS .EQ. 2 .OR. KEUS .EQ. 3) THEN
  SOMHMA=SOMHMA+OPP1*HGT1**(A-1.000)
  B=1./(A-1.000)
  Rnew(J)=(SOMHMA/TAGEM)**B

ENDIF
C
C   -BEREKEN OPPERVLAKE A1 EN A2 VAN GEUL
DA=A1(J)-A2(J)
A1(J)=TAGEM+0.5*DA
A2(J)=TAGEM-0.5*DA

IF ( KEUS .EQ. 1 ) THEN

  WRITE( 17, '(A,I4,F9.2,2F10.1,3F8.3,F10.1)')
+ ' ', j, wlv1, OPP1, BB(j), HGT1, R(j), Rnew(j), TAGEM

C   WRITE( 17, '(A,I4,F9.2,F10.1,F8.3,4F10.1,F8.3)')
C + ' ', j, wlv1, OPP1, HGT1, BB(j),
C + DSV1, DSV2, TAGEM, R(J)

ELSEIF ( KEUS .EQ. 2 ) THEN

  WRITE( 17, '(A,I4,F9.2,2F10.1,3F8.3,F10.1)')
+ ' ', j, wlv1, OPP1, BB(j), HGT1, R(j), Rnew(j), TAGEM

ELSEIF ( KEUS .EQ. 3 ) THEN

  WRITE( 17, '(A,I4,F9.2,2F10.1,3F8.3,F10.1)')
+ ' ', j, wlv1, OPP1, BB(j), HGT1, R(j), Rnew(j), TAGEM

ENDIF

```



```
C
80 CONTINUE

C  val1 = vlengte*a1(6)
C  val2 = vlengte*a1napoud
C  write(17,'(A,F10.1,5f12.1)') vak(:8), vlengte,a1napoud,a1(6),
C  *          val2,val1,val1-val2

C
C  -SCHRIJF UITVOER PER VAK NAAR DEVICE NR. 16
WRITE(16,'(A)') VAK
WRITE(16,120)WIND
WRITE(16,130)(A1(K),K=1,20)
WRITE(16,140)(A2(K),K=1,20)
WRITE(16,150)(BB(K),K=1,20)
WRITE(16,160)(Rnew(K),K=1,20)
WRITE(16,'(A)') ''
*
90 FORMAT('HYDRAULISCHE STRAAL BEREKEND VOLGENS KEUS',I2)
100 FORMAT('BREEDTE KONSTANT GEHOUDEN VANAF NAP + ',F5.2,' METER')
110 FORMAT('RUWHEID VANAF NAP + ',F5.2,' METER ',F5.2,' MAAL GROTER')
120 FORMAT(A74)
130 FORMAT('A1',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
140 FORMAT('A2',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
150 FORMAT('BB',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
160 FORMAT('R ',2X,10F7.2/4X,10F7.2)
170 CONTINUE                                LUS1
      GOTO 999
180 PRINT*,'PARAMETERS  KEUS,DIEPTE,DNV OF FAC ZIJN FOUT'
999 STOP
      END
```

## Programma froude.f

### PROGRAM FROUDE

```

C *****
C *
C *   PROGRAMMA VOOR HET GLOBAAL INVOEREN VAN DE FROUDE-TERM   *
C *
C *****
C
C OO TOELICHTING
C   IN DE BEWEGINGSVERGELIJKING VOOR EEN IMPLIC MODEL KOMT
C   EEN TERM VOOR DIE DE VERANDERING VAN DE SNELHEIDSHOOGTE
C   OVER EEN VAK BESCHRIJFT. DEZE ZGN. ADVEKTIEVE TERM VALT
C   IN EEN TWEETAL DEELTERMEN UITEEN:
C   1. EEN TERM VOOR DE VERANDERING IN DE SNELHEIDSHOOGTE DOOR
C   DE DEBIETVERANDERING OVER EEN VAK DOOR INTERNE BERGING
C   2. EEN TERM VOOR DE VERANDERING IN DE SNELHEIDSHOOGTE DOOR
C   DE DOORSNEDE VERANDERING OVER EEN VAK. VOOR DEZE TERM,
C   DE ZGN. FROUDE-TERM, IS HET NODIG AAN EEN OPPERVLAKE TE
C   GEVEN AAN HET BEGIN EN EIND VAN HET VAK
C
C   DEZE LAATSTE TERM WORDT VAAK TEN ONRECHTE VERWAARLOOSD.
C   IN DE MEESTE MODELLEN WORDT ALLEEN DE GEMIDDELDE OPPER-
C   VLAKTE PER VAK OPGEGEVEN, MET ALS GEVOLG DAT DE TWEEDE TERM
C   IN FEITE VERWAARLOOSD WORDT. HET HIERGEGEVEN PROGRAMMA BE-
C   REKENT GLOBAAL DE VERANDERING VAN DE OPPERVLAKE OVER DE
C   GEUL (DA) EN DAARUIT VIA HET GEMIDDELD OPPERVLAKE (AGEM) HET
C   OPPERVLAKE EN AAN BEGIN (AB) EN EIND VAN DE GEUL (AE)
C   WAARBIJ  $AB=AGEM-0.5*DA$  EN  $AE=AGEM+0.5*DA$ .
C
C   N.B.
C   DOOR UIT TE GAAN VAN HET GEMIDDELD OPPERVLAKE BIJ DE BE-
C   REKENING VAN AB EN AE WORDT BEREIKT DAT IN ALLE TERMEN
C   BEHALVE DE FROUDE-TERM HET GEMIDDELDE OPPERVLAKE GEBRUIKT
C   WORDT. DE IN DE ANDERE TERMEN GEBRUIKTE  $(AB+AE)/2$  IS DOOR
C   DOOR DE GEBRUIKTE DEFINITIE VAN AB EN AE EFFECTIEF AGEM.
C   AAN HET MODEL WORDT OP DEZE WIJZE DE FROUDE TERM TOE-
C   GEVOEGD ZONDER DE OVERIGE TERMEN IN HET MODEL TE WIJZIGEN.
C
C OO WERKWIJZE PROGRAMMA
C   HET PROGRAMMA VALT IN TWEE DELEN UITEEN:
C   -IN HET EERSTE DEEL WORDT OVER EEN GEBIED VAN HET ESTU-
C   ARIUM DE DIVERGENTIE BEREKEND ( $OPPVL.VERAND./LENGTE*OPPVL$ )
C   HIERTOE WORDEN DE DOORSNEDEN VAN DE VAKKEN DIE OP EEN GE-
C   BIEDSGRENS LIGGEN OPGETELD. VERVOLGENS WORDT HIERUIT DE OP-
C   PERVERLAKEVERANDERING OVER HET GEBIED BEPAALD. UIT DE OP-
C   GEGEVEN LENGTE VAN HET GEBIED EN UIT DE GEMIDDELDE DOORSNEDE
C   WORDT ALS LAATSTE DE OPPERVLAKEVERANDERING PER LENGTE-
C   EENHEID
C   EN PER DOORSNEDE-EENHEID,DE ZGN DIVERGENTIE, BEPAALD.
C   -IN HET TWEEDE DEEL WORDT UITGAANDE VAN DE DIVERGENTIE
C   VOOR ALLE VAKKEN IN HET GEBIED DE OPPERVLAKEVERANDERING
C   BEREKEND
C
C OO DE INVOERGEGEVENS
C   DE INVOER BESTAAT UIT EEN FILE MET DE IMPLIC-SCHEMATISATIE

```

```

C      EN EEN ELEMENT MET START-EN STUUIOPDRACHTEN VOOR DE UIT-
C      VOERING VAN HET PROGRAMMA.
C      VOOR EEN BESCHRIJVING VAN DE SCHEMATISATIE WORDT VERWEZEN
C      NAAR DE DOKUMENTATIE VAN IMPLIC. NIET ALLE IN DE DOKUMEN-
C      TATIE OPGEGEVEN MOGELIJKHEDEN ZIJN TOEGELATEN(ZIE VOORBEELD):
C      -DE TEKSTKAARTEN AAN HET BEGIN VAN DE SCHEMATISATIE DIE-
C      NEN WEGGELATEN TE WORDEN, EVENALS TRIGGERS EN DE C-KAARTEN
C
C      DE OPDRACHTEN VOOR DE UITVOERING HEBBEN DE VOLGENDE VORM :
C      REGEL 1 : @ASG,UP "NAAM UITVOERFILE"
C          2 : @USE 12,"NAAM INVOERFILE"
C          3 : @USE 16,"NAAM UITVOERFILE"
C          4 : @XQT "NAAM PROGRAMMA"
C          5 : LENGTE VAN HET EERSTE GEBIED IN I-FORMAT
C      REGEL 6 : NUMMERS VAN DE VAKKEN OP DE GRENS VAN HET EERSTE GEBIED
C          T/M WAARUIT DE BEGINDOORSNEDE VAN HET GEBIED BEPAALD WORDT.
C          M : NUMMERS HEBBEN I-FORMAT MET EEN NUMMER PER REGEL.
C      REG M+1 : 5555(AFSLUITER VAKNUMMERS BEGINDOORSNEDE)
C      REG M+2 : NUMMERS VAN DE VAKKEN OP DE GRENS VAN HET GEBIED
C          T/M : WAARUIT DE EINDDOORSNEDE VAN HET GEBIED BEPAALD WORDT
C          N : VOOR FORMAT ZIE VOORGAAND
C      REG N+1 6666(AFSLUITER VAKNUMMERS EINDDOORSNEDE).
C      REG O+1 : NUMMERS VAN DE VAKKEN BINNEN HET EERSTE GEBIED
C          T/M WAARVOOR IVM DE FROUDETERM EEN AB EN AE,GEMAAKT
C          P MOET WORDEN
C      REG P+1 : 777 (AFSLUITER VAKNUMMERS BINNEN GEBIED)
C      ***** REGEL 6 T/M P+1 ZOVEEL MAAL HERHALEN ALS ER GE- *****
C      ***** BIEDEN ZIJN *****
C      REGEL Q : 8888(AFSLUITER VAN ALLE INVOER)
C
C      OO VOORBEELD SCHEMATISATIE
CSTEENB. 129 145 5 2670 -3.00 -3.00 42.00 42.00
CW      65.00 3.60
CA      533. 618. 706. 798. 893. 992. 1093. 1197. 1305. 1455.
C      1687. 1956. 2222. 2489. 2756. 3024. 3292. 3561. 3830. 4100.
CBB      167. 174. 181. 190. 200. 209. 219. 239. 293. 443.
C      593. 604. 607. 609. 611. 613. 615. 617. 619. 619.
CR      3.19 3.55 3.90 4.24 4.57 4.93 5.29 5.55 6.03 6.24
C      6.13 6.10 6.22 6.42 6.69 6.99 7.31 7.66 8.02 8.40
C
C      OO WAARSCHUWING
C      HET PROGRAMMA IS MOMENTEEL ZO OPGEZET DAT HET MAXIMAAL 30
C      GEBIEDEN EN MAXIMAAL 200 VAKKEN AANKAN. IS EEN GROTER AAN-
C      TAL GEWENST DAN MOET HET PROGRAMMA AANGEPAST WORDEN OP DE
C      LOKATIES,DIE IN HET KOMMENTAAR BIJ DE PROGRAMMATEKST AAN-
C      GEGEVEN ZIJN.
C
C      CHARACTER string *78
C
C      *****PROGRAMMATEKST GEMEENSCHAPPELIJK DEEL*****
C
C      -STEL DE DIMENSIES ARRAYS MET IN- EN UITVOERPARAMETERS VAST
C      DIMENSION A(20),A1(20),A2(20),BB(2),R(2)
C
C      -STEL DIMENSIES INTERNE ARRAYS EN STEL BOVENGRENS DO-LOOPS VAST

```

```

DIMENSION VAKG(30,400),FAC(30,20),VAKB(400),VAKE(400)
DIMENSION SOMAB(20),SOMAE(20)
C   **** LET OP  AANTAL GEBIEDEN >30 EN OF AANTAL VAKKEN >200 DAN
C       BEHOEVEN DEZE DIMENSIES AANPASSING EVENALS HET DATASTATE
C
C   -DECLARATIE VARIABELEN IN-EN UITVOER
*
* Maximum aantal vakken en gebieden in parameter-statement.
*
PARAMETER (MAXVAK=400,MAXGEB=30)

CHARACTER*15 TEKST1,TEKST2
CHARACTER*33 TEKST3
CHARACTER*74 WIND,BB,R,BLANK
CHARACTER CFIL(3)*64,CFILE*64

INTEGER VAK
REAL LENGTE,A,A1,A2,VAKLEN
C
C   -DECLARATIE INTERNE VARIABELEN
INTEGER VAKB,VAKE,VAKG,VLAG,GEBIED
REAL SOMAB,SOMAE,FAC
*
* Invoeren Invoer en Uitvoer-files
*
WRITE (*,*)
WRITE (*,*) 'Invoerfile (Oude schematisatie)   : _'
READ (*,'(A)') CFIL(1)
WRITE (*,*) 'Invoerfile met Vakgegevens        : _'
READ (*,'(A)') CFIL(2)
WRITE (*,*) 'Uitvoerfile (Nieuwe schematisatie) : _'
READ (*,'(A)') CFIL(3)
*
* Openen files
*
CFILE=CFIL(1)
OPEN (12,STATUS='OLD',IOSTAT=IOS,FILE=CFILE)
IF (IOS .NE. 0) GOTO 9000

CFILE=CFIL(2)
OPEN (21,STATUS='OLD',IOSTAT=IOS,FILE=CFILE)
IF (IOS .NE. 0) GOTO 9000

CFILE=CFIL(3)
OPEN (16,STATUS='UNKnown',IOSTAT=IOS,FILE=CFILE)
IF (IOS .NE. 0) GOTO 9000

OPEN( 20, FILE = 'froude.rpt')

WRITE (*,*) 'Eerste deel programma.'

C*****PROGRAMMATEKST EERSTE DEEL VAN HET
PROGRAMMA*****

nofgebied = 0

DO 130, GEBIED=1,MAXGEB
C

```

```

C      -STEL DE HULPARRAYS VAKB EN VAKE VOOR ELK GEBIED OPNIEUW OP NUL
C
      DO 20,I=1,MAXVAK                                LUS1
        VAKB(I)=0
        VAKE(I)=0
      20 CONTINUE                                LUS1
C
C      -LEES VOOR EEN GEBIED DE LENGTE IN
      READ (21,*) LENGTE

C      -SPRONGOPDRACHT BIJ EINDE TERMINAL INVOER
      IF (NINT(LENGTE) .EQ. 8888) GOTO 140

      nofgebied = nofgebied + 1
      WRITE (*,*) 'Gebied : ',GEBIED
      WRITE (*,*) 'Lengte = ',LENGTE
C
C      -LEES VOOR EEN GEBIED DE VAKNUMMERS IN EN PLAATS ZE AFHANKELIJK
C      VAN DE WAARDE VAN VLAG IN VAKB OF VAKE OF VAKG
C      begin-, eind- of gebiedvak
      VLAG=0
      40 READ (21,*) VAK
        IF (VAK .EQ. 5555) THEN
          VLAG=1
          GOTO 40
        ENDIF
        IF (VAK .EQ. 6666) THEN
          VLAG=2
          GOTO 40
        ENDIF
        IF (VAK .NE. 7777) THEN
          IF (VLAG .EQ. 0) VAKB(VAK)=VAK
          IF (VLAG .EQ. 1) VAKE(VAK)=VAK
          IF (VLAG .EQ. 2) VAKG(GEBIED,VAK)=VAK
          GOTO 40
        ENDIF
C
C      -ZET DE SOMMATIE VARIABELEN OP NUL
      WRITE(*,*) 'Zet sommatie arrays op nul.'
      DO 50 I=1,20                                LUS2
        SOMAB(I)=0.0
        SOMAE(I)=0.0
      50 CONTINUE                                LUS2
C
      WRITE (*,*) 'Lezen schematisatie.'

      READ( 12, '(A)') string
      DO WHILE( string(:1) .EQ. '*')
        READ( 12, '(A)') string
      ENDDO
      BACKSPACE( 12)

      DO 100 I=1,MAXVAK                                LUS3
C
C      -LEES DE SCHEMATISATIE

      READ(12,60,END=110)TEKST1,VAK
      READ(12,70)WIND

```

```

      READ(12,80)(A(J),J=1,20)
      READ(12,80)(A(J),J=1,20)
      READ(12,70)(BB(J),J=1,2)
      READ(12,70)(R (J),J=1,2)
      READ(12,70)BLANK
C
C      -TEL PER DIEPTE VAKKEN GEMERKT IN VAKB EN VAKE BIJ SOMAE EN SOMAB
C      sommeer begin- en eindvakken per laag
      DO 90,J=1,20                                LUS4
        IF (VAKB(VAK) .EQ. VAK) SOMAB(J)=SOMAB(J)+A(J)
        IF (VAKE(VAK) .EQ. VAK) SOMAE(J)=SOMAE(J)+A(J)
      90  CONTINUE                                LUS4
C
      100 CONTINUE                                LUS3

      110 REWIND 12
      WRITE (*,*) 'Einde schematisatie bereikt'

C
C      -BEREKEN DIVERGENTIE VOOR EEN GEBIED PER DIEPTE
C      WRITE ( 20, '(A,I4)' ) 'Divergentie GEBIED : ', GEBIED

      DO 120, I=1, 20                                LUS5
        FAC(GEBIED, I)=
      1  (SOMAE(I)-SOMAB(I))/(LENGTE*(SOMAE(I)+SOMAB(I))/2)
      120 CONTINUE                                LUS5

C      WRITE( 20, '(A)' )
C      + '3 Laag  A-begin  A-einde  Divergentie'
C      DO i = 1, 20
C        WRITE ( 20, '(A,I4,2F12.1,E14.6)' ) '3', i,
C      +  SOMAB( i), SOMAE( i), FAC(GEBIED,i)
C      ENDDO

      WRITE (*,*) 'Gebied verwerkt in deel 1.'
      130 CONTINUE                                LUS0
C
C*****PROGRAMMATEKST TWEEDE DEEL VAN HET
PROGRAMMA*****
      140 WRITE (*,*) 'Programma deel 2 -- Omrekenen schematisatie.'

      READ( 12, '(A)' ) string
      DO WHILE( string(:1) .EQ. '*' )
        READ( 12, '(A)' ) string
      ENDDO
      BACKSPACE( 12)

      DO 250, I=1, MAXVAK                                LUS6
C
C      -LEES DE SCHEMATISATIE OPNIEUW IN

      READ(12,150,END=999)TEKST1,VAK,TEKST2,VAKLEN,TEKST3
      READ(12,160)WIND
      READ(12,170)(A(J),J=1,20)
      READ(12,170)(A(J),J=1,20)
      READ(12,160)(BB(J),J=1,2)
      READ(12,160)(R (J),J=1,2)
      READ(12,160)BLANK

```

```

C
C   -BEREKEN DE AB EN AE PER VAK
C
      VLAG=0
      DO 240 GEBIED=1, nofgebied ! MAXGEB                      LUS
        IF (VAK .EQ. VAKG(GEBIED,VAK)) THEN
          WRITE( 20, '(2(A,I4),A,F8.1)')
+       'Gebied =', gebied, ', Vak =', vak, ', Lengte =', VAKLEN
          WRITE( 20, '(A)') '3 Laag A-begin  A-gem'//
+       ' A-einde Divergentie Ae - Ab'
          VLAG=1
          DO 180,J=1,20                      LUS
            DA=FAC(GEBIED,J)*VAKLEN*A(J)
            A1(J)=A(J)-0.5*DA
            A2(J)=A(J)+0.5*DA
            WRITE ( 20, '(A,I4,3F10.1,E14.6,F10.1)') '3', J,
+            A1(J), A(J), A2(J), FAC(GEBIED,J),DA
180      CONTINUE                      LUS
          END IF
240    CONTINUE
C
C   -SCHRIJF DE RESULTATEN WEG
C
      WRITE(16,190)TEKST1,VAK,TEKST2,NINT(VAKLEN),TEKST3
      WRITE(16,200)WIND
      IF (VLAG .EQ. 1) THEN
CC      WRITE (*,*) 'Wegschrijven vak : ',VAK
          WRITE(16,210)(A1(J),J=1,20)
          WRITE(16,220)(A2(J),J=1,20)
        ELSE
          WRITE(16,210)(A(J),J=1,20)
          WRITE(16,220)(A(J),J=1,20)
        END IF
          WRITE(16,200)(BB(J),J=1,2)
          WRITE(16,200)(R (J),J=1,2)
          WRITE(16,200)BLANK
250    CONTINUE                      LUS6
      GOTO 999
*
* Formats
*
      60 FORMAT(A15,I3)
      70 FORMAT(A74)
      80 FORMAT(4X,10F7.0)
      150 FORMAT(A15,I3,A15,F6.0,A33)
      160 FORMAT(A74)
      170 FORMAT(4X,10F7.0)
      190 FORMAT(A15,I3,A15,I6,A33)
      200 FORMAT(A74)
      210 FORMAT('A1',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
      220 FORMAT('A2',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
      230 FORMAT('A ',2X,10F7.0/4X,10F7.0)
*
* Foutmeldingen.
*
9000 WRITE (*,*) 'Fout bij openen file ',CFILE
      WRITE (*,*) 'IOSTAT =',IOS
      STOP

```

```
*  
* Einde programma.  
*  
999 CLOSE (21)  
    CLOSE (22)  
    CLOSE (23)  
    CLOSE (20)  
*  
    WRITE (*,*) 'Programma klaar.'  
*  
    END
```



## Programma advec.f

```

PROGRAM ADVEC
C *****
C *
C *   PROGRAMMA VOOR HET BEREKENEN VAN DE CORRECTIECOEFFICIENT *
C *   IN DE ADVECTIEVE TERM VAN EEN 1-DIMENSIONAAL GETIJMODEL *
C *
C *****
C
C   OO TOELICHTING
C   DE ADVECTIE BEREKEND UIT OVER HET DWARSPROFIEL GEMIDDEL-
C   DE STROOMSNELHEDEN BLIJKT KLEINER TE ZIJN DAN DE ADVEKTIE
C   BEREKEND DOOR INTEGRATIE OVER DE DOORSNEDE VAN DE LOKALE
C   ADVECTIE.
C   VOOR DE ADVEKTIEVE TERM BLIJKT EEN CORRECTIECOEFFICIENT
C   ALPHA (ZIE ONDERSTAANDE FORMULE) GEPLAATST TE MOETEN WOR-
C   DEN, DIE DE ADVECTIEVE TERM CORRIGEERT VOOR HET NIET-UNI-
C   FORM ZIJN VAN DE STROMING OVER DE BREEDTE EN DIEPTE VAN
C   DE GEUL.
C   HET HIERGEGEVEN PROGRAMMA BEREKENT EEN DEEL VAN DE ALPHA NL.
C   ALPHA ALS GEVOLG VAN HET NIET-UNIFORM ZIJN VAN DE STROOM-
C   SNELHEDEN OVER DE BREEDTE VAN DE GEUL
C
C       0-0-0 FORMULE 0-0-0
C
C       ADVEC=ALPHA*D(Q*V)/DX
C
C   WAARIN:  Q: DEBIET
C            V: GEMIDDELDE SNELHEID OVER HET DWARSPROFIEL.
C            X: LENGTEAS
C            ALPHA: CORRECTIECOEFFICIENT
C
C   OO KEUZE PARAMETER
C   IN HET PROGRAMMA WORDT UITGAANDE VAN DE STROOMVERDELING
C   DWARS OP DE GEUL EEN WAARDE VOOR ALPHA BEREKEND.
C   IN HET PROGRAMMA IS EEN KEUZE-PARAMETER INGEBOUWD DIE AAN-
C   GEEFT OF BIJ HET BEPALEN VAN DE STROOMVERDELING UITGEGAAN
C   WORDT VAN EEN UNIFORME OF DIEPTEAFHANKELIJKE CHEZY-WAARDE.
C   BIJ KEUZE 0 WORDT UITGEGAAN VAN EEN WEERSTAND DIE UNIFORM
C   IS OVER DE DWARSDOORSNEDE EN BIJ KEUZE 1 VAN EEN WEER-
C   STAND DIE AFHANKELIJK IS VAN DE WATERDIEPTE VOLGENS DE
C   FORMULE VAN MANNING (CHEZY-WAARDE EVENREDIG MET H**1.667).
C   AFHANKELIJK VAN DE PARAMETER KEUZE WORDEN DE VOLGENDE
C   FORMULES OPGELOST:
C
C   KEUZE= 0:  ALPHA = INT(H)*INT(H**2.000)/INT(H**1.500)**2
C
C   KEUZE= 1:  ALPHA = INT(H)*INT(H**2.333)/INT(H**1.667)**2
C
C   WAARIN:  INT: DE INTEGRAAL OVER DE BREEDTE VAN DE GEUL
C
C   OO INVOERGEGEVENS
C   REGEL 1 ; KEUZE-PARAMETER MET FORMAT I2
C   REGEL 2 ; INVOER VOLGENS FORMAT VAN IMPLIC-PROGRAMMABE-
C   EN      SCHRIJVING MET DAARBIJ DE VOLGENDE BEPERKINGEN:

```

```

C      VOLGEND 1. DE SCHEMATISATIE WORDT GEGEVEN MET TWEE OPPER-
C      VLAKTEN PER VAK (A1 EN A2 IN HET INVOERBOEK)
C      2. TEKSTKAARTEN AAN HET BEGIN VAN DE SCHEMATI-
C      SATIE WORDEN WEGGELATEN.
C      3. VERVALSEKTIES WORDEN WEGGELATEN
C
C      OO VOORBEELD SCHEMATISATIE
CSR-10 81      1      1      2 2670 -3.00 -3.00 38.00 38.00
CW      65.00 3.60
CA1  512. 591. 673. 758. 847. 940. 1034. 1133. 1248. 1410.
C  1644. 1916. 2192. 2468. 2746. 3024. 3304. 3584. 3865. 4147.
CA2  554. 645. 741. 842. 947. 1060. 1180. 1309. 1460. 1666.
C  1950. 2276. 2606. 2938. 3270. 3604. 3938. 4274. 4611. 4949.
CBB  167. 174. 181. 190. 200. 209. 219. 239. 293. 443.
C  593. 604. 607. 609. 611. 613. 615. 617. 619. 619.
CR   3.19 3.55 3.90 4.24 4.57 4.93 5.29 5.55 6.03 6.24
C   6.13 6.10 6.22 6.42 6.69 6.99 7.31 7.66 8.02 8.40
C
C      OO WAARSCHUWING
C      IN HET PROGRAMMA WORDT ER VAN UITGEGAAN DAT BERGENDE- EN
C      STROOM-VOERENDE BREEDTE GELIJK ZIJN. DE OPGEGEVEN
C      WAARDEN VOOR DE BERGENDE BREEDTE WORDEN IN DE BEREKENING
C      VAN ALPHA GEBRUIKT ALS WAARDEN VOOR DE STROOMVOERENDE
BREEDTE
C
C
C
C
C*****PROGRAMMATEKST*****
C
C      -STEL DIMENSIES ARRAYS MET IN- EN UITVOER PARAMETERS VAST
CHARACTER*8 VAK,WIND,BLANK
DIMENSION A1(20),A2(20),BB(20),R(20)
DIMENSION ALPHA(20)
CHARACTER CFILE1*64 , CFILE2*64
C
C      -STEL DIMENSIES INTERN ARRAY VAST
DIMENSION DB(20)
*
*      -INVOEREN EN OPENEN IN- EN UITVOERFILE
*
WRITE (*,*)
WRITE (*,*) 'Invoerfile : _'
READ (*, '(A)') CFILE1
*
OPEN (12,STATUS='OLD',IOSTAT=IOS,FILE=CFILE1)
IF (IOS .NE. 0) THEN
  WRITE (*,*) 'Fout bij openen file : ',CFILE1
  WRITE (*,*) 'IOSTAT = ',IOS
  STOP
END IF
*
WRITE (*,*)
WRITE (*,*) 'Uitvoerfile : _'
READ (*, '(A)') CFILE2

OPEN (16,STATUS='NEW',IOSTAT=IOS,FILE=CFILE2)

```

```

IF (IOS .NE. 0) THEN
  WRITE (*,*) 'Fout bij openen file : ',CFILE2
  WRITE (*,*) 'IOSTAT = ',IOS
  STOP
END IF

C
C   -LEES PARAMETER KEUS VAN DEVICE 12

  WRITE (*,*) 'Geef keuze (1 of 2) '
  READ(*,*)KEUS
10 FORMAT(I2)
C
C   -KIES DE MACHTEN BEHOREND BIJ KEUS 0 OF 1
  IF (KEUS .EQ. 1) THEN
    A=2.000
    B=1.500
  ENDIF
  IF (KEUS .EQ. 2) THEN
    A=2.333
    B=1.667
  ENDIF
  IF (KEUS .NE. 1 .AND. KEUS .NE. 2) THEN
    PRINT*, 'KEUS IS NIET GELIJK AAN 1 OF 2'
    GOTO 999
  ENDIF

C
  DO 100,I=1,300                                LUS1
C
C   -LEES SCHEMATISATIE VAN IMPLIC VOOR EEN VAK VAN DEVICE 12
500 READ(12,20,END=999)VAK
  if (vak(1:1) .eq. '*') goto 500
  READ(12,20)WIND
  READ(12,30)(A1(M),M=1,20)
  READ(12,30)(A2(M),M=1,20)
  READ(12,30)(BB(M),M=1,20)
  READ(12,40)(R(M),M=1,20)
  READ(12,20)BLANK
20 FORMAT(A8)
30 FORMAT(4X,10F7.0)
40 FORMAT(4X,10F7.2)
C
C   -INITIALISEER-ALPHA(1) VOOR EEN VAK
  ALPHA(1)=1.
C
  DO 60,J=2,20                                LUS2
C
C   -INITIALISEER SOMMATIEVARIABELEN VOOR EEN VAK
  SOMH =0.0
  SOMHMA=0.0
  SOMHMB=0.0
C
C   -STEL,OPPPERVLAKTE EN DIEPTE EERSTE STROOK VAN DE GEUL VAST
  AGEM1=(A1(1)+A2(1))*0.5
  OPP1=AGEM1+BB(1)*(J-1)*0.50
  DPT1=R(1)+(J-1)*0.50
C

```

C -STEL VERSCHIL TUSSEN TWEE OPEENVOLGENDE BREEDTES VAN DE GEUL  
VAST

DB(J)=BB(J)-BB(J-1)  
IF (DB(J) .LE. 0.0) DB(J)=0.0

C

C -SOMMEER OVER DE BREEDTE VAN DE GEUL

DO 50,K=2,J LUS3  
SOMH =SOMH +(BB(K)+BB(K-1))\*0.5\*0.50  
SOMHMA=SOMHMA+(DB(J-(K-2))\*((K-1)\*0.50-0.25)\*\*A)  
SOMHMB=SOMHMB+(DB(J-(K-2))\*((K-1)\*0.50-0.25)\*\*B)  
50 CONTINUE LUS3  
SOMH =SOMH +AGEM1  
SOMHMA=SOMHMA+OPP1\*DPT1\*\*(A-1.000)  
SOMHMB=SOMHMB+OPP1\*DPT1\*\*(B-1.000)

C

C -BEREKEN DE WAARDE VAN ALPHA IN EEN VAK VOOR ALLE WATERSTANDEN

ALPHA(J)=SOMH\*SOMHMA/SOMHMB\*\*2.  
60 CONTINUE LUS2

C

C -SCHRIJF UITVOER (ALPHA) VOOR EEN VAK NAAR DEVICE NR. 16

WRITE(16,70)VAK  
WRITE(16,80)(ALPHA(M),M= 1,10)  
WRITE(16,80)(ALPHA(M),M=11,20)  
WRITE(16,90)BLANK

70 FORMAT('VAK :',A8)  
80 FORMAT('ALPHA :',10F7.2)  
90 FORMAT(A8)  
100 CONTINUE LUS1

999 WRITE(16,110)BLANK  
WRITE(16,120)KEUS  
110 FORMAT(A8)  
120 FORMAT('KEUS : ',I2,' 1/2 : C KONSTANT/VARIABEL MET DIEPTE')

\*

\* Einde programma

\*

CLOSE (12)  
CLOSE (16)

\*

WRITE (\*,\*) 'Nieuwe file gereed : ',CFILE2  
WRITE (\*,\*) 'Programma klaar.'

\*

END

# Appendix C Implic modelinvoer Land van Saeftinge

## Schematisatie 1963

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| SECT 371 | 371   | 174   | 62    | 1593  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |        |        |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |        |        |
| A1       | 101.  | 211.  | 384.  | 612.  | 879.  | 1177. | 1507. | 1877. | 2297.  | 2776.  |
|          | 3300. | 3843. | 4386. | 4929. | 5472. | 6015. | 6558. | 7101. | 7643.  | 8186.  |
| A2       | 101.  | 211.  | 384.  | 612.  | 879.  | 1177. | 1507. | 1877. | 2297.  | 2776.  |
|          | 3300. | 3843. | 4386. | 4929. | 5472. | 6015. | 6558. | 7101. | 7643.  | 8186.  |
| BB       | 159.  | 281.  | 410.  | 502.  | 565.  | 627.  | 695.  | 782.  | 901.   | 1012.  |
|          | 1086. | 1147. | 1147. | 1147. | 1147. | 1147. | 1147. | 1147. | 1147.  | 1147.  |
| R        | 0.60  | 0.73  | 0.91  | 1.20  | 1.54  | 1.86  | 2.15  | 2.38  | 2.54   | 2.73   |
|          | 3.02  | 3.52  | 4.02  | 4.52  | 5.01  | 5.51  | 6.01  | 6.50  | 7.00   | 7.50   |
| SECT 372 | 372   | 62    | 169   | 1852  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |        |        |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |        |        |
| A1       | 1.    | 8.    | 39.   | 123.  | 267.  | 463.  | 707.  | 1017. | 1413.  | 1906.  |
|          | 2512. | 3180. | 3848. | 4515. | 5183. | 5851. | 6519. | 7186. | 7854.  | 8522.  |
| A2       | 1.    | 8.    | 39.   | 123.  | 267.  | 463.  | 707.  | 1017. | 1413.  | 1906.  |
|          | 2512. | 3180. | 3848. | 4515. | 5183. | 5851. | 6519. | 7186. | 7854.  | 8522.  |
| BB       | 3.    | 25.   | 101.  | 232.  | 346.  | 435.  | 543.  | 698.  | 884.   | 1089.  |
|          | 1335. | 1601. | 1601. | 1601. | 1601. | 1601. | 1601. | 1601. | 1601.  | 1601.  |
| R        | 0.12  | 0.26  | 0.36  | 0.50  | 0.75  | 1.05  | 1.29  | 1.45  | 1.59   | 1.74   |
|          | 1.87  | 2.37  | 2.86  | 3.36  | 3.86  | 4.35  | 4.84  | 5.34  | 5.83   | 6.33   |
| SECT 373 | 373   | 169   | 66    | 1281  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |        |        |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |        |        |
| A1       | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 38.   | 98.   | 198.  | 341.  | 526.   | 763.   |
|          | 1131. | 1599. | 2068. | 2536. | 3004. | 3472. | 3941. | 4409. | 4877.  | 5345.  |
| A2       | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 38.   | 98.   | 198.  | 341.  | 526.   | 763.   |
|          | 1131. | 1599. | 2068. | 2536. | 3004. | 3472. | 3941. | 4409. | 4877.  | 5345.  |
| BB       | 1.    | 1.    | 6.    | 28.   | 82.   | 159.  | 243.  | 329.  | 411.   | 536.   |
|          | 937.  | 1562. | 1562. | 1562. | 1562. | 1562. | 1562. | 1562. | 1562.  | 1562.  |
| R        | 0.01  | 0.08  | 0.22  | 0.32  | 0.42  | 0.58  | 0.79  | 1.02  | 1.26   | 1.42   |
|          | 1.26  | 1.78  | 2.30  | 2.83  | 3.35  | 3.87  | 4.39  | 4.90  | 5.43   | 5.95   |
| SECT 374 | 374   | 66    | 164   | 1558  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |        |        |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |        |        |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 32.   | 77.    | 158.   |
|          | 346.  | 620.  | 893.  | 1167. | 1441. | 1715. | 1988. | 2262. | 2536.  | 2810.  |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 32.   | 77.    | 158.   |
|          | 346.  | 620.  | 893.  | 1167. | 1441. | 1715. | 1988. | 2262. | 2536.  | 2810.  |
| BB       | 5.    | 5.    | 5.    | 5.    | 5.    | 7.    | 26.   | 62.   | 118.   | 205.   |
|          | 548.  | 1129. | 1129. | 1129. | 1129. | 1129. | 1129. | 1129. | 1129.  | 1129.  |
| R        | 0.01  | 0.02  | 0.03  | 0.04  | 0.05  | 0.17  | 0.33  | 0.48  | 0.62   | 0.75   |
|          | 0.69  | 1.24  | 1.79  | 2.33  | 2.88  | 3.43  | 3.97  | 4.51  | 5.05   | 5.60   |
| SECT 375 | 375   | 61    | 70    | 1306  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |        |        |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |        |        |
| A1       | 1.    | 3.    | 26.   | 101.  | 252.  | 487.  | 803.  | 1206. | 1704.  | 2337.  |
|          | 3177. | 4138. | 5098. | 6059. | 7020. | 7981. | 8942. | 9903. | 10863. | 11824. |
| A2       | 1.    | 3.    | 26.   | 101.  | 252.  | 487.  | 803.  | 1206. | 1704.  | 2337.  |
|          | 3177. | 4138. | 5098. | 6059. | 7020. | 7981. | 8942. | 9903. | 10863. | 11824. |
| BB       | 5.    | 12.   | 81.   | 218.  | 387.  | 552.  | 713.  | 897.  | 1095.  | 1437.  |
|          | 1922. | 2409. | 2409. | 2409. | 2409. | 2409. | 2409. | 2409. | 2409.  | 2409.  |
| R        | 0.03  | 0.16  | 0.29  | 0.43  | 0.63  | 0.86  | 1.11  | 1.33  | 1.54   | 1.63   |
|          | 1.65  | 2.14  | 2.64  | 3.14  | 3.64  | 4.13  | 4.63  | 5.13  | 5.62   | 6.12   |

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SECT 376 | 376   | 70    | 159   | 1552  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 2.    | 14.   | 62.   | 189.  | 429.  | 795.  | 1294. |       |
|          | 2006. | 2863. | 3720. | 4576. | 5433. | 6290. | 7147. | 8003. | 8860. | 9717. |
| A2       | 1.    | 1.    | 2.    | 14.   | 62.   | 189.  | 429.  | 795.  | 1294. |       |
|          | 2006. | 2863. | 3720. | 4576. | 5433. | 6290. | 7147. | 8003. | 8860. | 9717. |
| BB       | 1.    | 1.    | 5.    | 41.   | 154.  | 352.  | 609.  | 856.  | 1137. |       |
|          | 1713. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. | 2519. |
| R        | 0.02  | 0.04  | 0.15  | 0.28  | 0.33  | 0.37  | 0.51  | 0.68  | 0.91  | 1.12  |
|          | 1.18  | 1.68  | 2.18  | 2.68  | 3.18  | 3.68  | 4.18  | 4.68  | 5.18  | 5.68  |
| SECT 377 | 377   | 159   | 75    | 1486  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 3.    | 11.   | 32.   | 80.   |       |
|          | 280.  | 614.  | 948.  | 1282. | 1616. | 1950. | 2284. | 2618. | 2952. | 3286. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 3.    | 11.   | 32.   | 80.   |       |
|          | 280.  | 614.  | 948.  | 1282. | 1616. | 1950. | 2284. | 2618. | 2952. | 3286. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 8.    | 24.   | 60.   | 132.  |       |
|          | 668.  | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. | 1648. |
| R        | 0.06  | 0.07  | 0.08  | 0.09  | 0.10  | 0.11  | 0.27  | 0.40  | 0.52  | 0.59  |
|          | 0.51  | 1.12  | 1.72  | 2.33  | 2.93  | 3.53  | 4.13  | 4.73  | 5.33  | 5.93  |
| SECT 378 | 378   | 159   | 154   | 1882  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 4.    | 24.   | 89.   | 233.  |       |
|          | 589.  | 1110. | 1632. | 2153. | 2675. | 3196. | 3717. | 4239. | 4760. | 5282. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 4.    | 24.   | 89.   | 233.  |       |
|          | 589.  | 1110. | 1632. | 2153. | 2675. | 3196. | 3717. | 4239. | 4760. | 5282. |
| BB       | 5.    | 5.    | 5.    | 5.    | 5.    | 14.   | 69.   | 191.  | 382.  |       |
|          | 1043. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. | 2144. |
| R        | 0.01  | 0.02  | 0.03  | 0.04  | 0.05  | 0.06  | 0.19  | 0.32  | 0.44  | 0.58  |
|          | 0.60  | 1.13  | 1.66  | 2.19  | 2.71  | 3.24  | 3.76  | 4.29  | 4.81  | 5.34  |
| SECT 379 | 379   | 64    | 80    | 2080  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 2.    | 16.   | 68.   | 179.  | 351.  | 582.  | 889.  |       |
|          | 1366. | 1968. | 2569. | 3171. | 3772. | 4374. | 4975. | 5577. | 6178. | 6780. |
| A2       | 1.    | 1.    | 2.    | 16.   | 68.   | 179.  | 351.  | 582.  | 889.  |       |
|          | 1366. | 1968. | 2569. | 3171. | 3772. | 4374. | 4975. | 5577. | 6178. | 6780. |
| BB       | 5.    | 5.    | 6.    | 52.   | 158.  | 285.  | 404.  | 520.  | 706.  |       |
|          | 1203. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. | 1938. |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.13  | 0.27  | 0.39  | 0.60  | 0.85  | 1.10  | 1.25  |
|          | 1.17  | 1.68  | 2.19  | 2.71  | 3.22  | 3.73  | 4.24  | 4.75  | 5.27  | 5.78  |
| SECT 380 | 380   | 80    | 149   | 1814  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 16.   | 39.   | 82.   |       |
|          | 237.  | 493.  | 749.  | 1005. | 1260. | 1516. | 1772. | 2028. | 2283. | 2539. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 16.   | 39.   | 82.   |       |
|          | 237.  | 493.  | 749.  | 1005. | 1260. | 1516. | 1772. | 2028. | 2283. | 2539. |
| BB       | 3.    | 3.    | 3.    | 3.    | 3.    | 13.   | 32.   | 62.   | 109.  |       |
|          | 512.  | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. | 1259. |
| R        | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.13  | 0.29  | 0.45  | 0.61  | 0.73  |
|          | 0.60  | 1.24  | 1.89  | 2.54  | 3.18  | 3.82  | 4.45  | 5.08  | 5.71  | 6.33  |

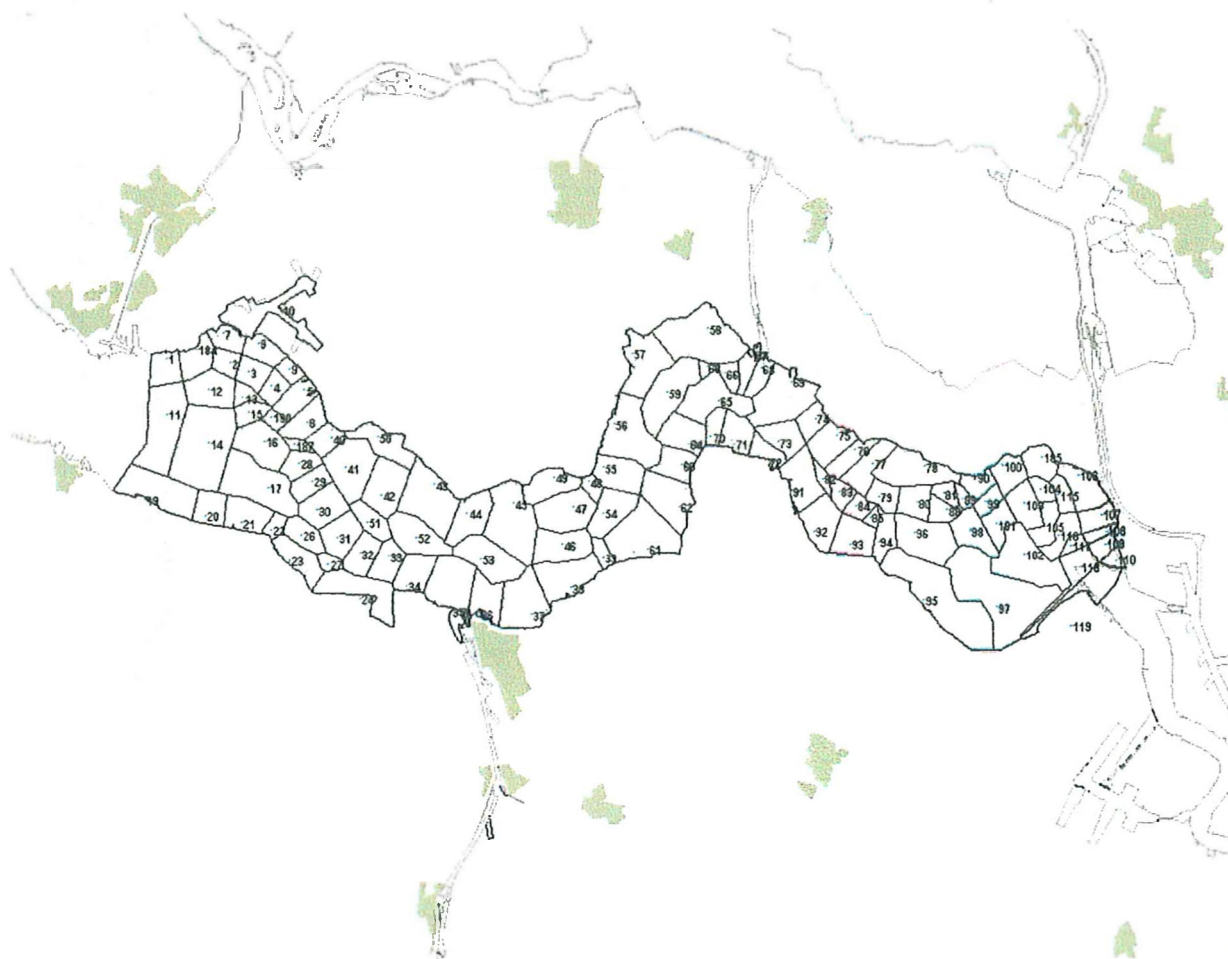
## Schematisatie 1992

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SECT 371 | 371   | 174   | 62    | 1593  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1133. | 1205. | 1302. | 1432. | 1599. | 1813. | 2073. | 2371. | 2701. | 3077. |
|          | 3518. | 3997. | 4476. | 4955. | 5434. | 5913. | 6392. | 6871. | 7350. | 7829. |
| A2       | 1133. | 1205. | 1302. | 1432. | 1599. | 1813. | 2073. | 2371. | 2701. | 3077. |
|          | 3518. | 3997. | 4476. | 4955. | 5434. | 5913. | 6392. | 6871. | 7350. | 7829. |
| BB       | 125.  | 163.  | 225.  | 294.  | 376.  | 478.  | 564.  | 626.  | 696.  | 806.  |
|          | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  | 958.  |
| R        | 9.02  | 7.58  | 5.84  | 4.90  | 4.27  | 3.81  | 3.66  | 3.78  | 3.87  | 3.82  |
|          | 3.67  | 4.17  | 4.67  | 5.17  | 5.67  | 6.17  | 6.67  | 7.16  | 7.66  | 8.16  |
| SECT 372 | 372   | 62    | 169   | 1852  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.0   | 1.    | 9.    | 35.   | 89.   | 173.  | 287.  | 440.  | 649.  | 945.  |
|          | 1387. | 1921. | 2455. | 2989. | 3523. | 4057. | 4591. | 5125. | 5659. | 6193. |
| A2       | 1.0   | 1.    | 9.    | 35.   | 89.   | 173.  | 287.  | 440.  | 649.  | 945.  |
|          | 1387. | 1921. | 2455. | 2989. | 3523. | 4057. | 4591. | 5125. | 5659. | 6193. |
| BB       | 1.    | 4.    | 28.   | 77.   | 138.  | 198.  | 261.  | 350.  | 485.  | 700.  |
|          | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. | 1068. |
| R        | 0.01  | 0.11  | 0.27  | 0.41  | 0.62  | 0.85  | 1.08  | 1.24  | 1.33  | 1.35  |
|          | 1.30  | 1.81  | 2.31  | 2.81  | 3.31  | 3.81  | 4.30  | 4.80  | 5.29  | 5.79  |
| SECT 373 | 373   | 169   | 66    | 1281  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 33.   | 85.   | 182.  | 331.  | 524.  |
|          | 816.  | 1183. | 1551. | 1918. | 2286. | 2653. | 3021. | 3388. | 3756. | 4123. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 10.   | 33.   | 85.   | 182.  | 331.  | 524.  |
|          | 816.  | 1183. | 1551. | 1918. | 2286. | 2653. | 3021. | 3388. | 3756. | 4123. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 6.    | 26.   | 66.   | 141.  | 249.  | 345.  | 430.  |
|          | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  | 735.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.04  | 0.16  | 0.32  | 0.45  | 0.57  | 0.71  | 0.94  | 1.20  |
|          | 1.16  | 1.68  | 2.21  | 2.73  | 3.25  | 3.76  | 4.28  | 4.79  | 5.30  | 5.82  |
| SECT 374 | 374   | 66    | 164   | 1558  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 9.    | 30.   | 67.   | 120.  |
|          | 209.  | 327.  | 445.  | 564.  | 682.  | 800.  | 918.  | 1037. | 1155. | 1273. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 9.    | 30.   | 67.   | 120.  |
|          | 209.  | 327.  | 445.  | 564.  | 682.  | 800.  | 918.  | 1037. | 1155. | 1273. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 24.   | 59.   | 91.   | 120.  |
|          | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  | 236.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.07  | 0.20  | 0.31  | 0.46  | 0.70  | 0.97  |
|          | 0.95  | 1.48  | 2.01  | 2.53  | 3.06  | 3.59  | 4.12  | 4.65  | 5.18  | 5.68  |
| SECT 375 | 375   | 61    | 70    | 1306  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 4.    | 14.   | 35.   | 82.   | 175.  | 341.  | 617.  | 1006. | 1489. |
|          | 2124. | 2867. | 3610. | 4354. | 5097. | 5840. | 6584. | 7327. | 8070. | 8814. |
| A2       | 1.    | 4.    | 14.   | 35.   | 82.   | 175.  | 341.  | 617.  | 1006. | 1489. |
|          | 2124. | 2867. | 3610. | 4354. | 5097. | 5840. | 6584. | 7327. | 8070. | 8814. |
| BB       | 3.    | 11.   | 26.   | 59.   | 129.  | 241.  | 425.  | 677.  | 881.  | 1051. |
|          | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. | 1487. |
| R        | 0.15  | 0.33  | 0.49  | 0.58  | 0.62  | 0.71  | 0.79  | 0.89  | 1.13  | 1.41  |
|          | 1.45  | 1.95  | 2.46  | 2.96  | 3.47  | 3.97  | 4.48  | 4.98  | 5.49  | 5.99  |

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SECT 376 | 376   | 70    | 159   | 1552  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.    | 9.    | 44.   | 142.  | 335.  | 645.  |
|          | 1137. | 1748. | 2359. | 2970. | 3581. | 4192. | 4804. | 5415. | 6026. | 6637. |
| A2       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.    | 9.    | 44.   | 142.  | 335.  | 645.  |
|          | 1137. | 1748. | 2359. | 2970. | 3581. | 4192. | 4804. | 5415. | 6026. | 6637. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 4.    | 27.   | 113.  | 279.  | 494.  | 746.  |
|          | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. | 1222. |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.04  | 0.15  | 0.28  | 0.36  | 0.48  | 0.65  | 0.85  |
|          | 0.93  | 1.43  | 1.93  | 2.43  | 2.93  | 3.43  | 3.93  | 4.43  | 4.92  | 5.42  |
| SECT 377 | 377   | 159   | 75    | 1486  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 3.    | 4.    | 20.   | 58.   |
|          | 164.  | 324.  | 485.  | 646.  | 807.  | 968.  | 1128. | 1289. | 1450. | 1611. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 2.    | 3.    | 4.    | 20.   | 58.   |
|          | 164.  | 324.  | 485.  | 646.  | 807.  | 968.  | 1128. | 1289. | 1450. | 1611. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 14.   | 51.   | 101.  |
|          | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  | 322.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.08  | 0.22  | 0.35  | 0.54  |
|          | 0.56  | 1.11  | 1.66  | 2.20  | 2.74  | 3.29  | 3.84  | 4.39  | 4.92  | 5.46  |
| SECT 378 | 378   | 159   | 154   | 1882  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 3.    | 10.   | 34.   | 92.   |
|          | 266.  | 532.  | 797.  | 1063. | 1328. | 1593. | 1859. | 2124. | 2390. | 2655. |
| A2       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 3.    | 10.   | 34.   | 92.   |
|          | 266.  | 532.  | 797.  | 1063. | 1328. | 1593. | 1859. | 2124. | 2390. | 2655. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 8.    | 23.   | 70.   | 165.  |
|          | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  | 531.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.09  | 0.26  | 0.40  | 0.47  | 0.54  |
|          | 0.53  | 1.06  | 1.59  | 2.11  | 2.63  | 3.16  | 3.67  | 4.20  | 4.71  | 5.23  |
| SECT 379 | 379   | 64    | 80    | 2080  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.    | 10.   | 41.   | 114.  | 253.  | 467.  | 750.  |
|          | 1128. | 1573. | 2017. | 2461. | 2906. | 3350. | 3794. | 4239. | 4683. | 5127. |
| A2       | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.    | 10.   | 41.   | 114.  | 253.  | 467.  | 750.  |
|          | 1128. | 1573. | 2017. | 2461. | 2906. | 3350. | 3794. | 4239. | 4683. | 5127. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 31.   | 91.   | 203.  | 353.  | 503.  | 626.  |
|          | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  | 889.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.12  | 0.29  | 0.41  | 0.54  | 0.70  | 0.91  | 1.18  |
|          | 1.28  | 1.78  | 2.29  | 2.79  | 3.29  | 3.79  | 4.30  | 4.79  | 5.29  | 5.79  |
| SECT 380 | 380   | 80    | 149   | 1814  | -2.50 | -2.50 | 40.00 | 30.00 |       |       |
| W        | 325.0 | 3.6   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 3.    | 15.   | 46.   |
|          | 127.  | 246.  | 365.  | 484.  | 603.  | 722.  | 841.  | 960.  | 1079. | 1198. |
| A2       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 3.    | 15.   | 46.   |
|          | 127.  | 246.  | 365.  | 484.  | 603.  | 722.  | 841.  | 960.  | 1079. | 1198. |
| BB       | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 1.    | 5.    | 10.   | 38.   | 85.   |
|          | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  | 238.  |
| R        | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.06  | 0.19  | 0.34  | 0.50  |
|          | 0.55  | 1.06  | 1.57  | 2.09  | 2.59  | 3.08  | 3.58  | 4.07  | 4.57  | 5.08  |



# Appendix D Figuren

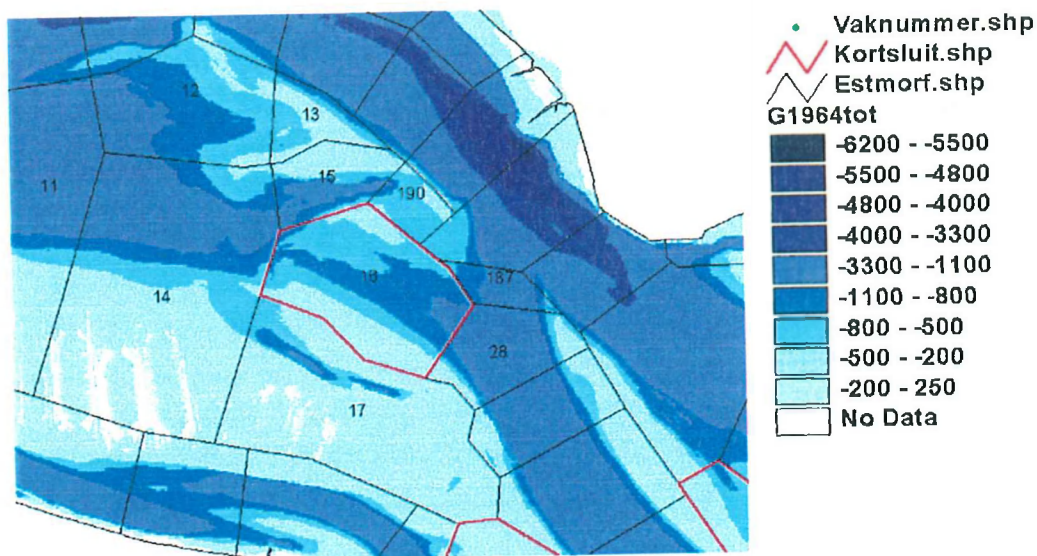


Estmorf vakken schematisatie: model zonder uitbreiding  
met de monding

DELFT HYDRAULICS

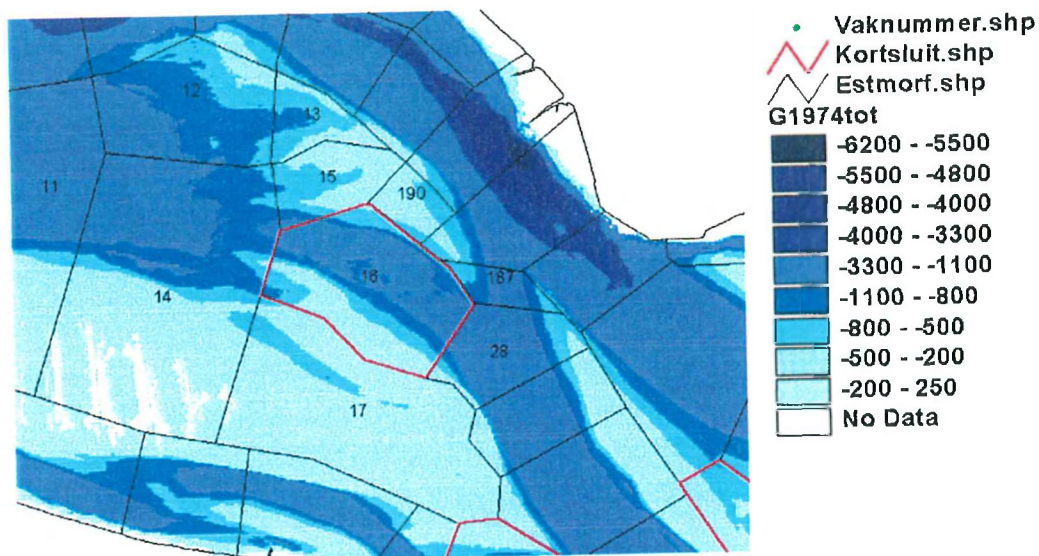
Fig. I.1

# 1964



figuur 2.1a Bodemligging 1964

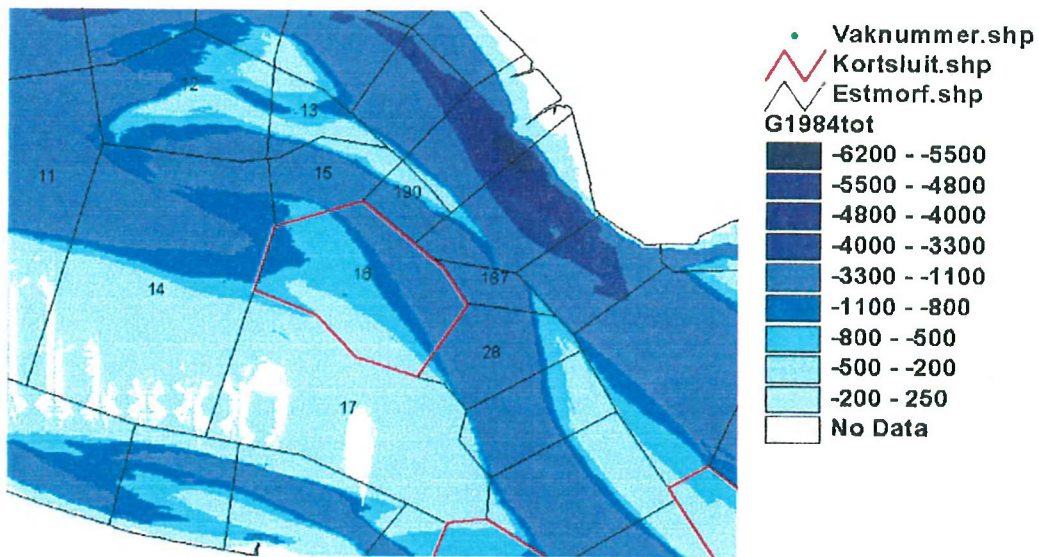
# 1974



figuur 2.1b Bodemligging 1974

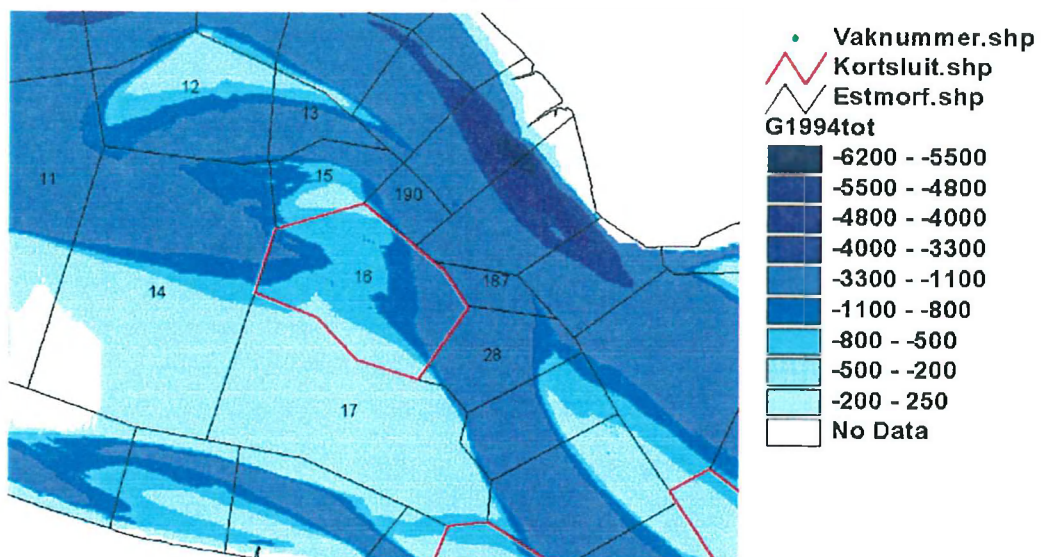


# 1984



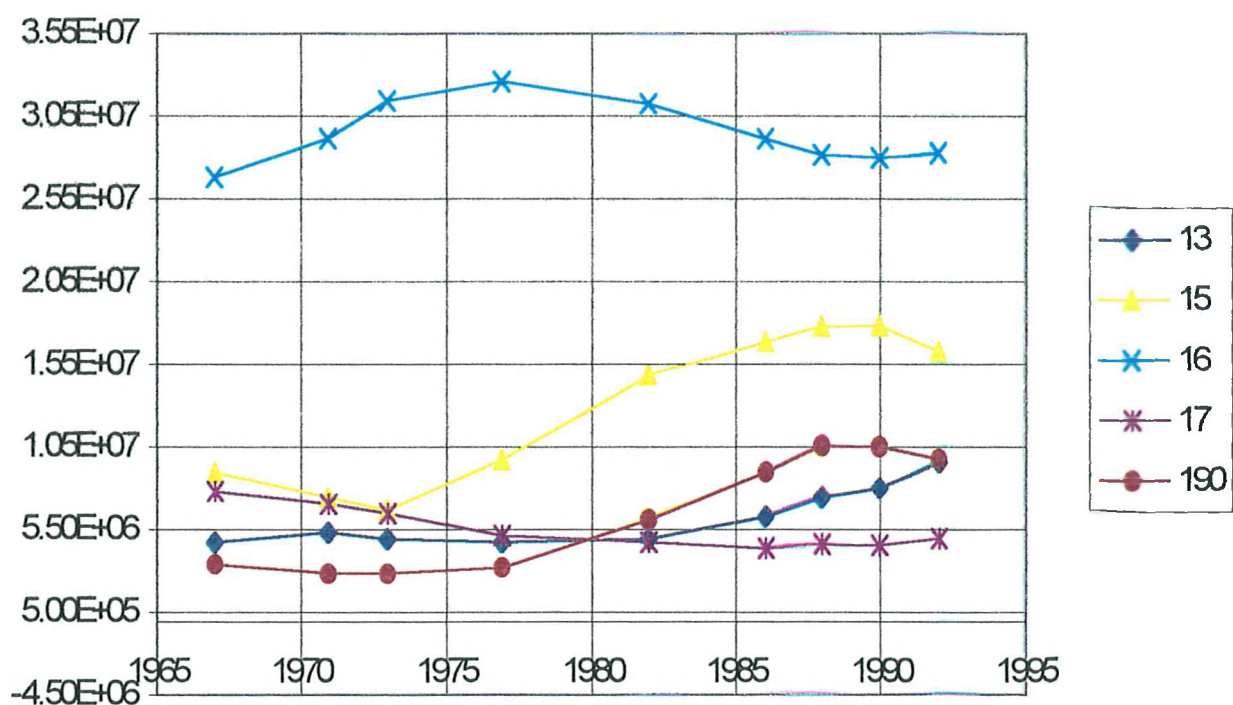
figuur 2.1c Bodemligging 1984

# 1994



figuur 2.1d Bodemligging 1994

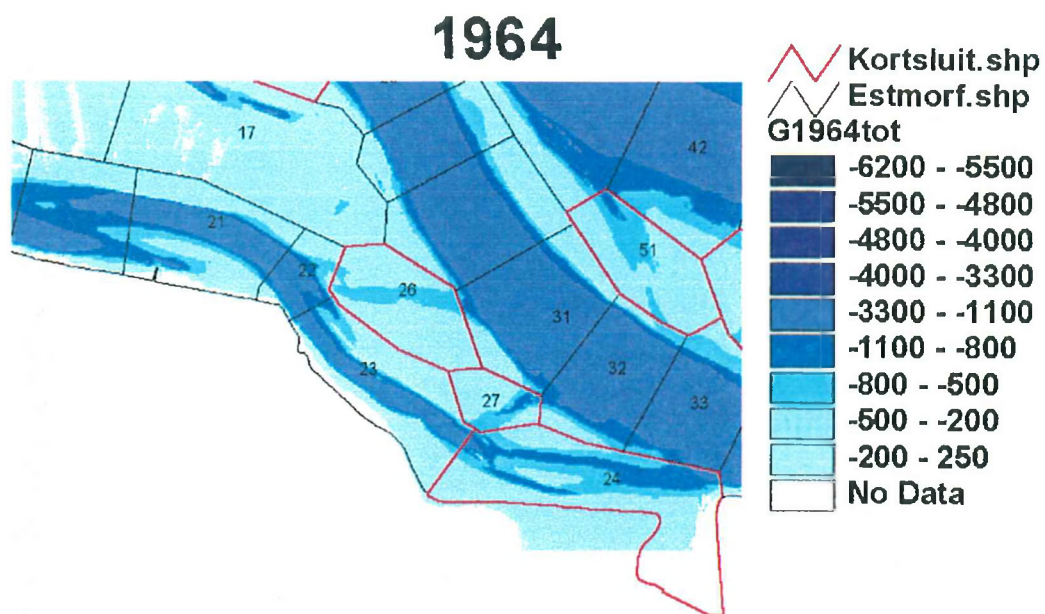
### Gemeten nat volume Estmorf schematisatie



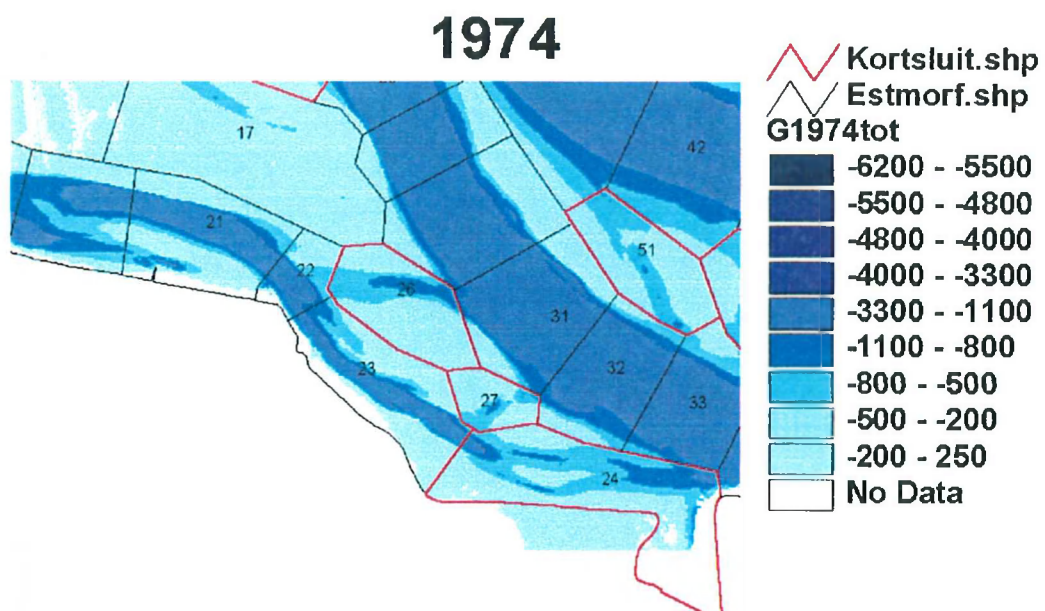
Ontwikkeling gemeten nat volume voor 5 verschillende vakken, van 1968-1993

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.1e

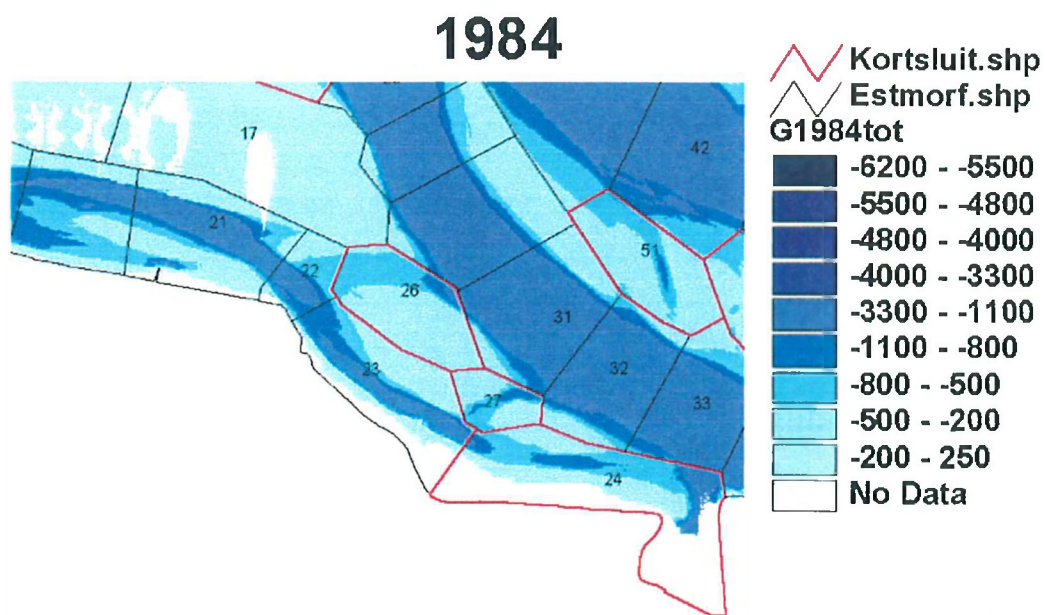


figuur 2.2a

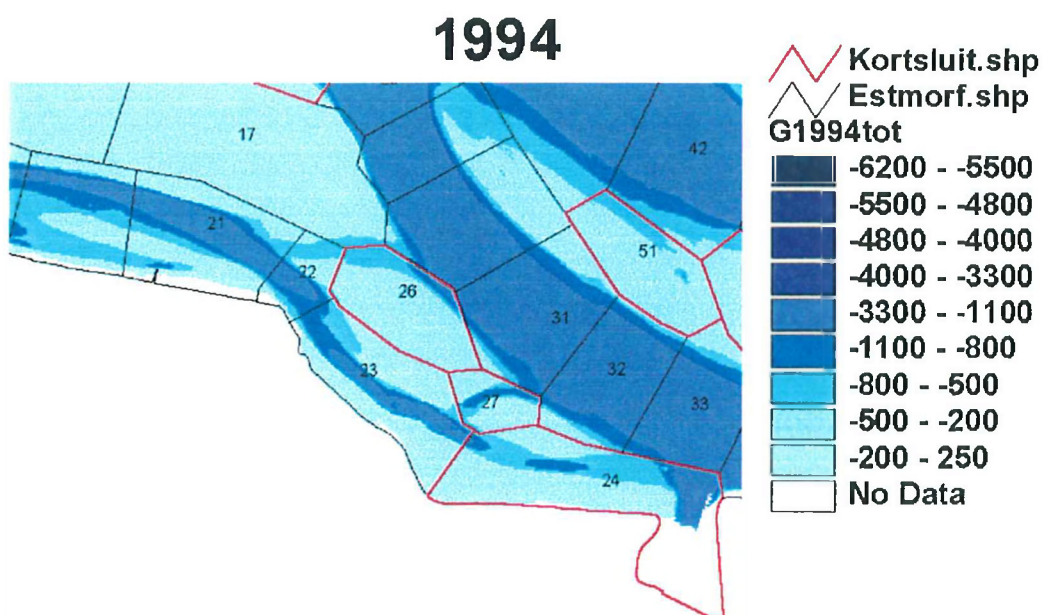


figuur 2.2b



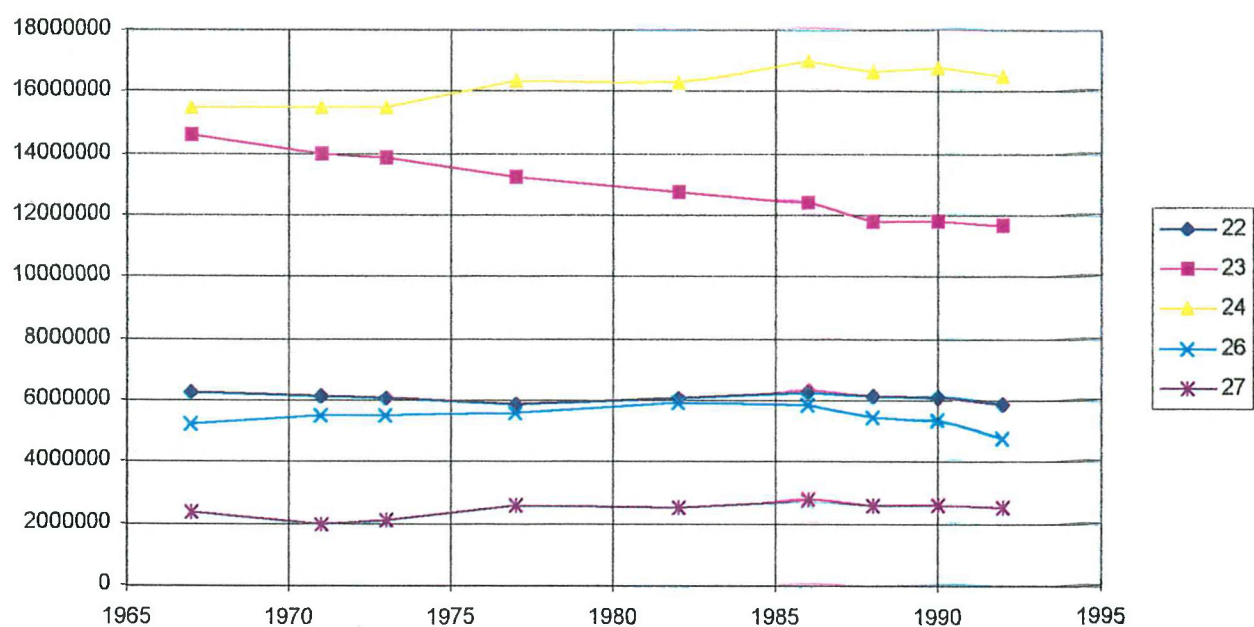


figuur 2.2c



figuur 2.2d

Gemeten nat volume Estmorf schematisatie



Ontwikkeling gemeten nat volume voor 5 verschillende vaknummers, van 1968-1993

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.2e



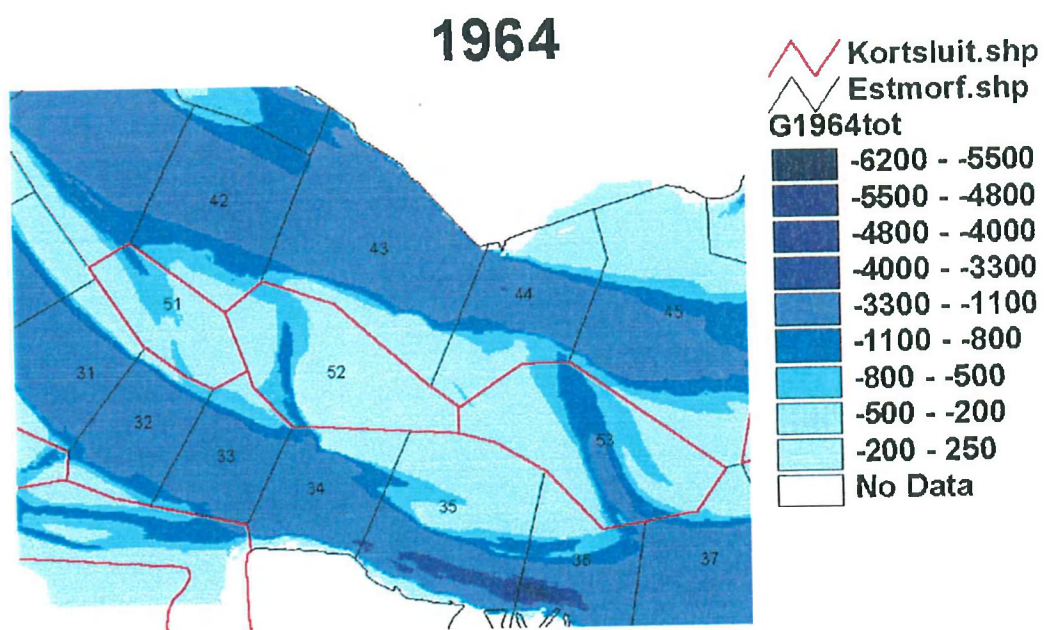
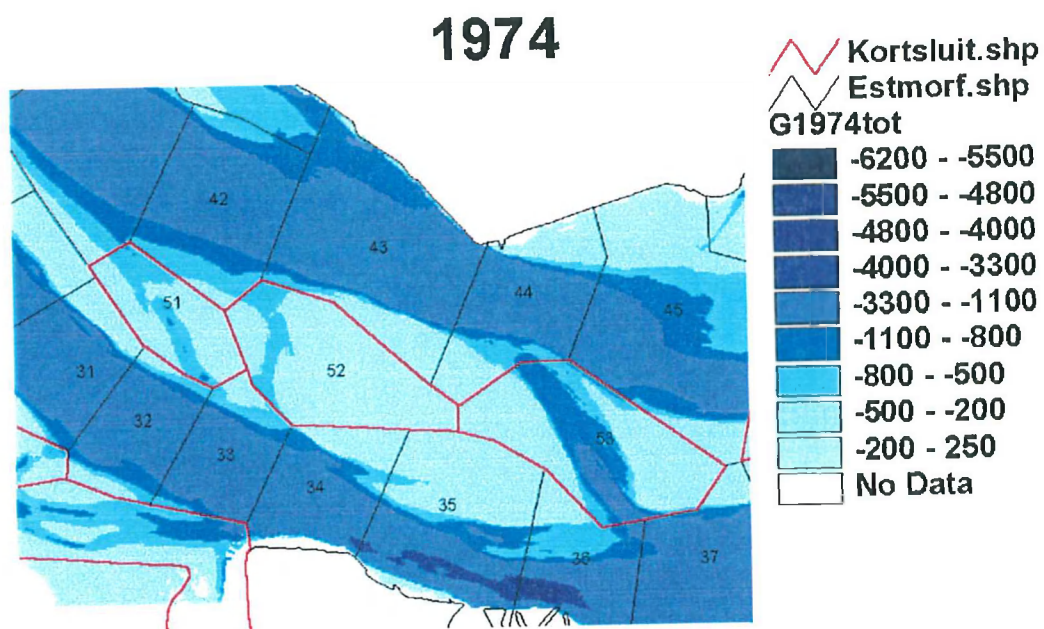
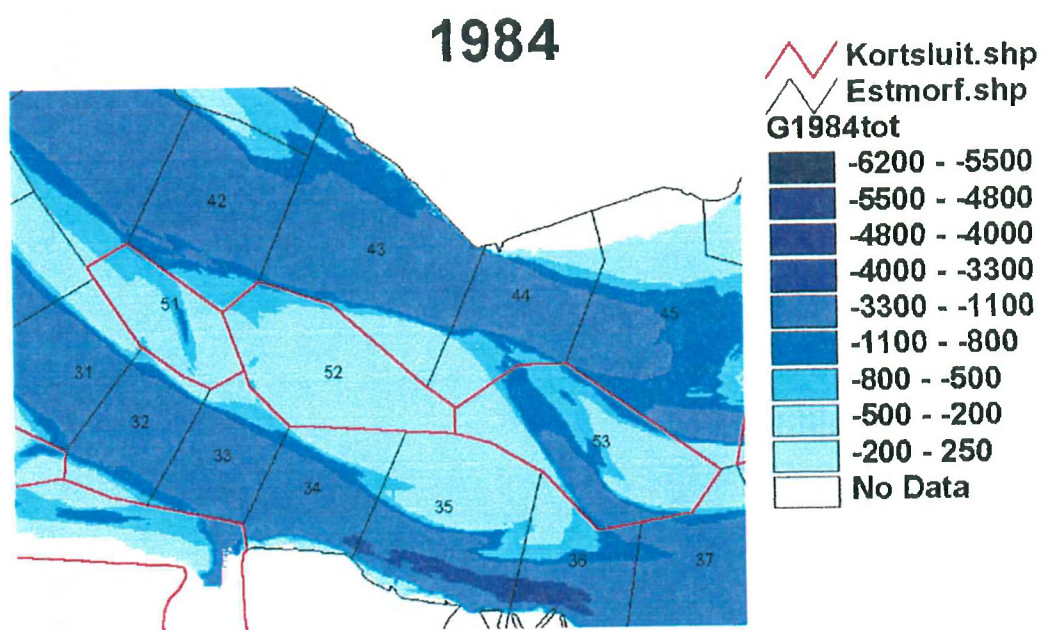


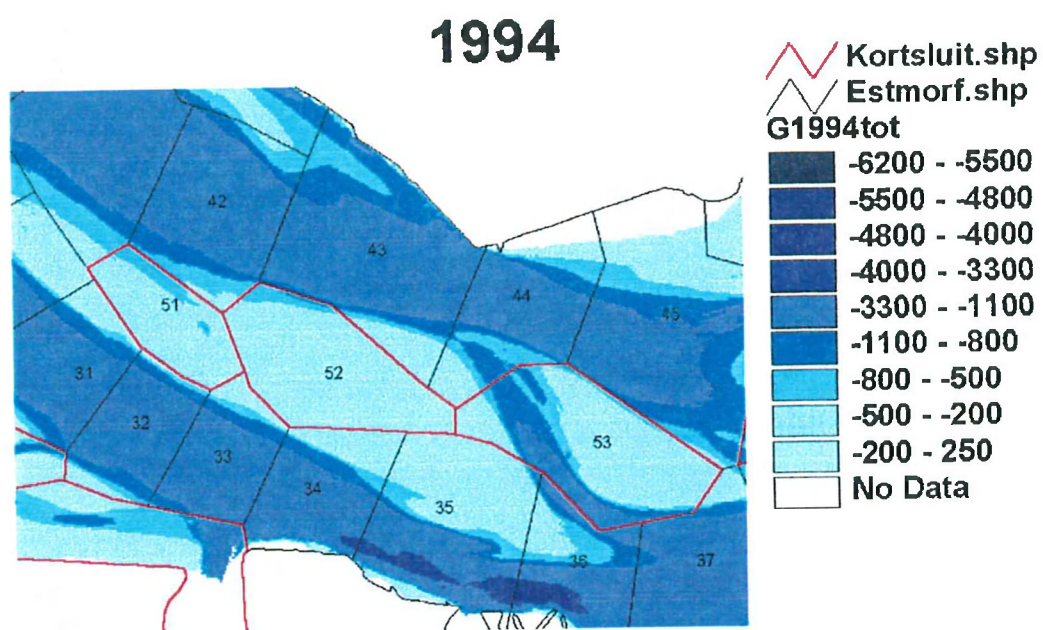
fig 2.3a



figuur 2.3b

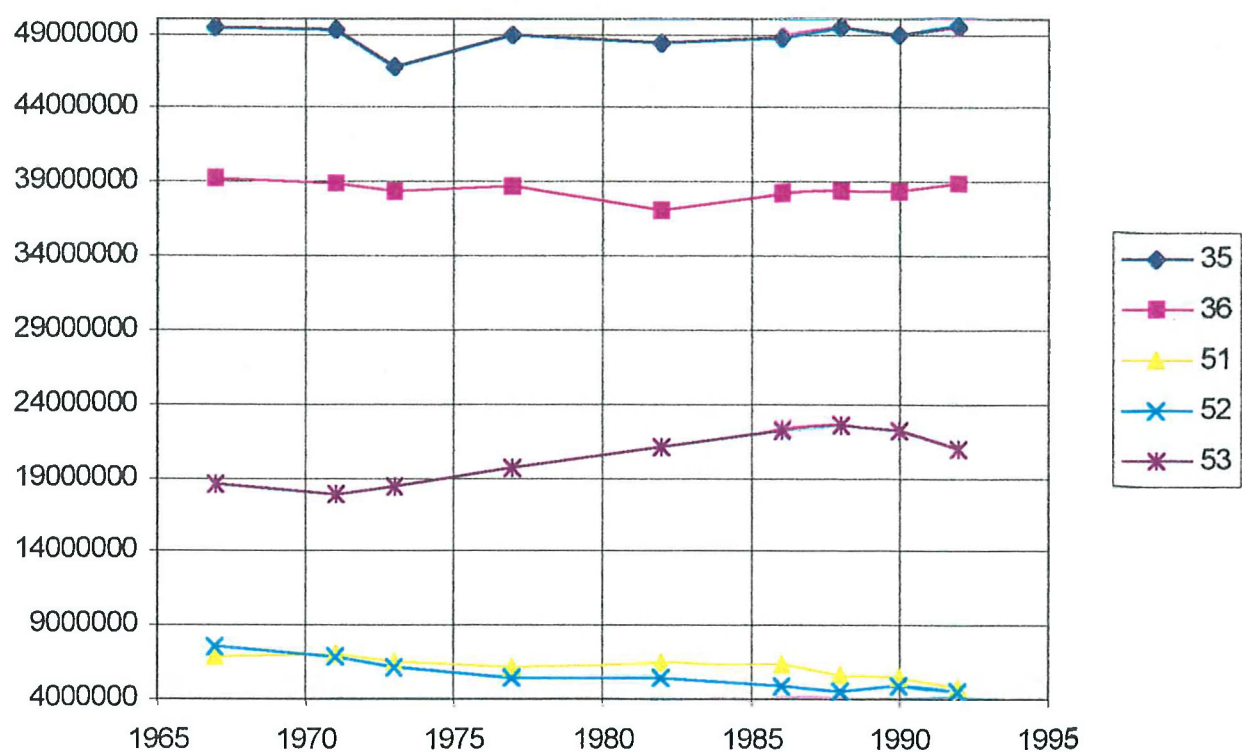


figuur 2.3c



figuur 2.3d

### Gemeten nat volume Estmorf schematisatie

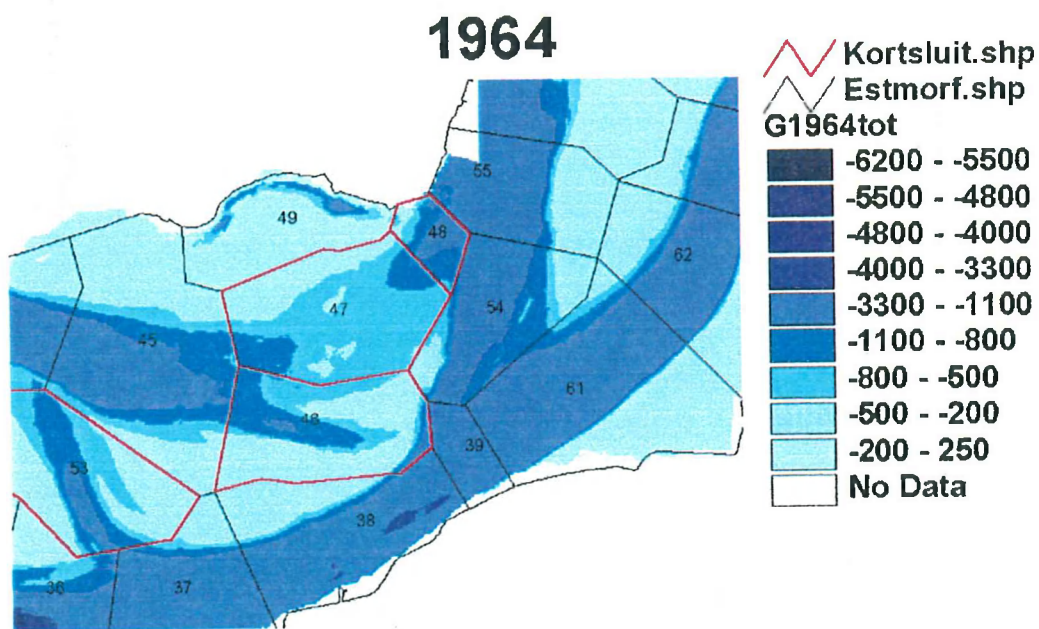


Ontwikkeling gemeten nat volume voor 5 verschillende vaknummers, van 1968-1993

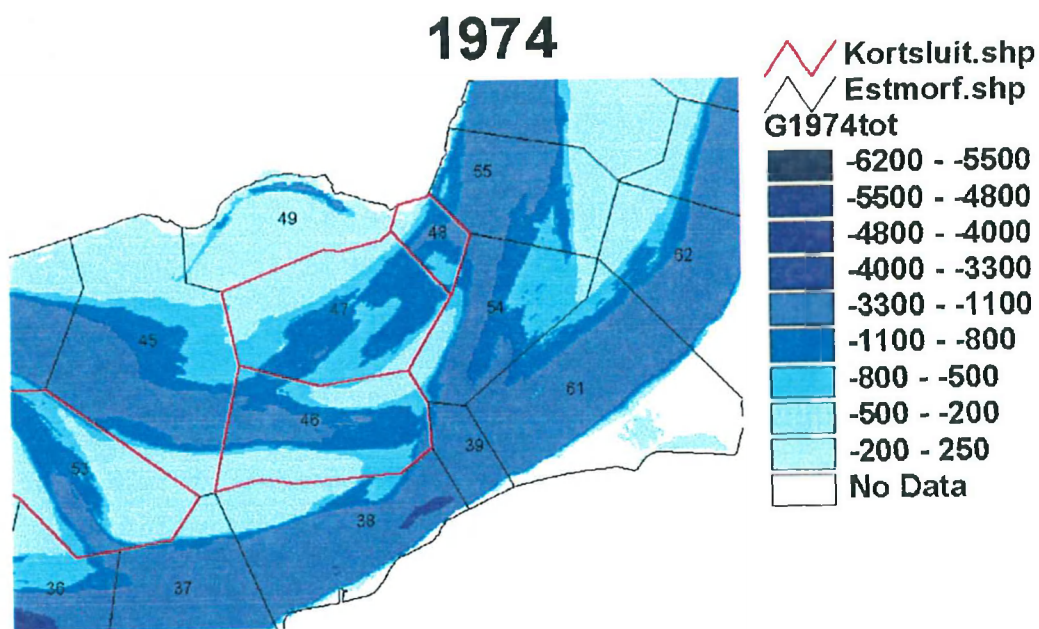
DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.3e

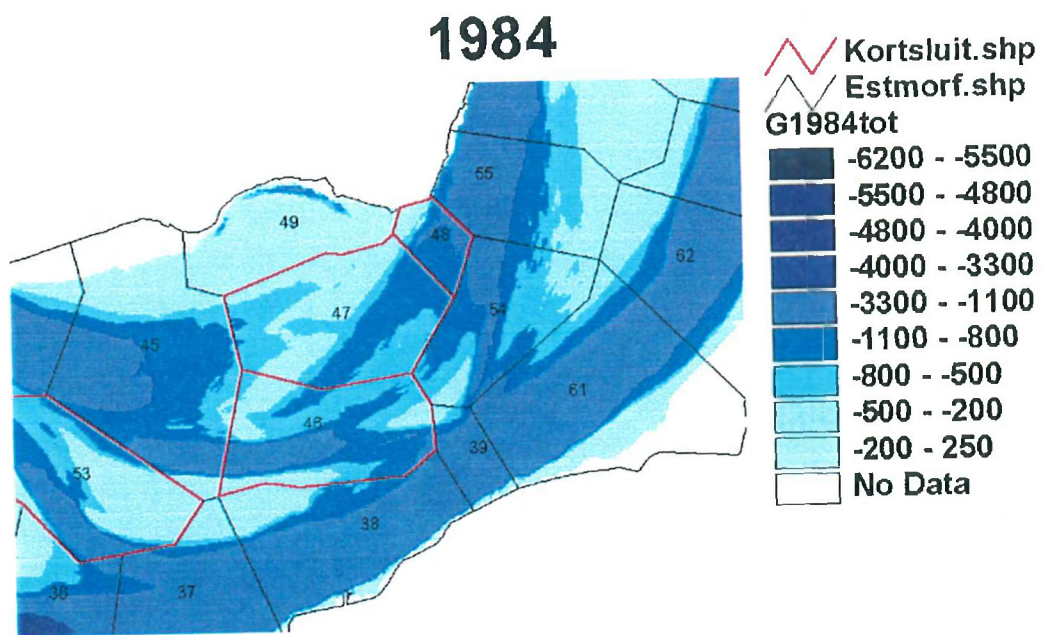




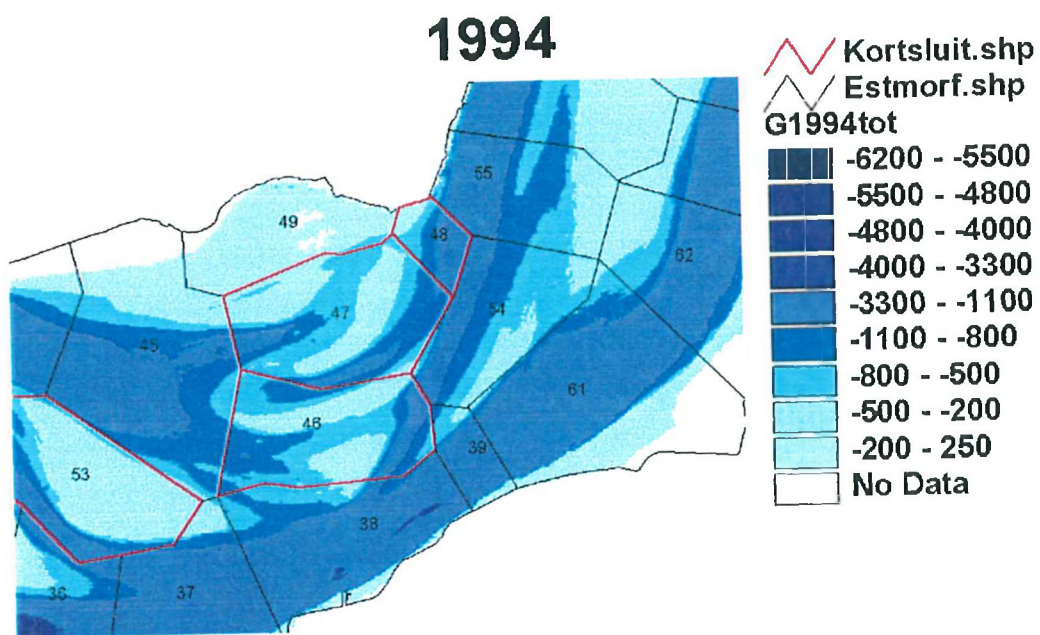
figuur 2.4a



figuur 2.4b

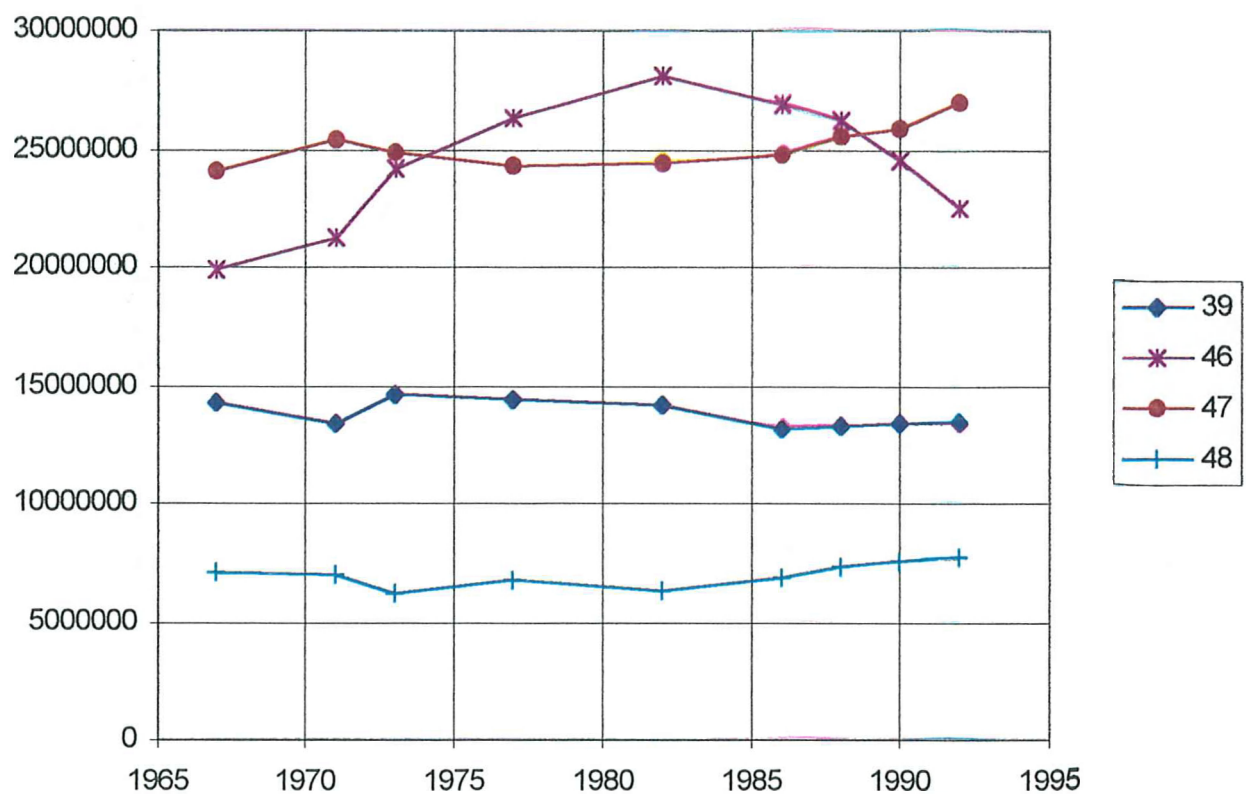


figuur 2.4c



figuur 2.4d

### Gemeten nat volume Estmorf schematisatie

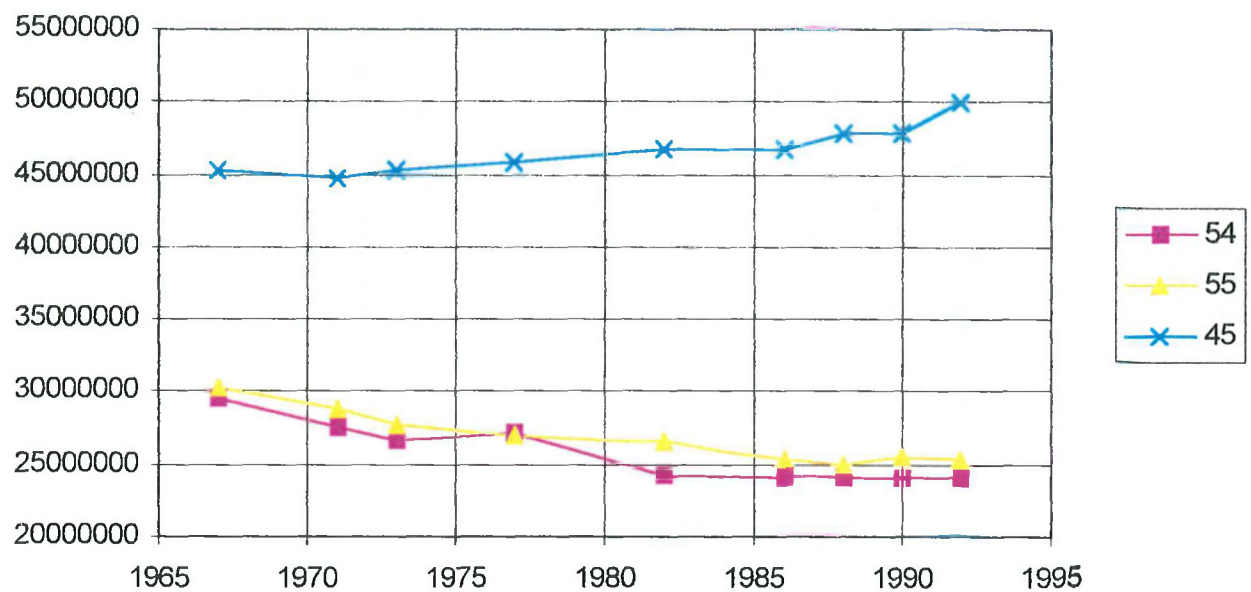


Ontwikkeling gemeten nat volume voor 4 verschillende vaknummers, van 1968-1993

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.4e

### Gemeten nat volume Estmorf schematisatie

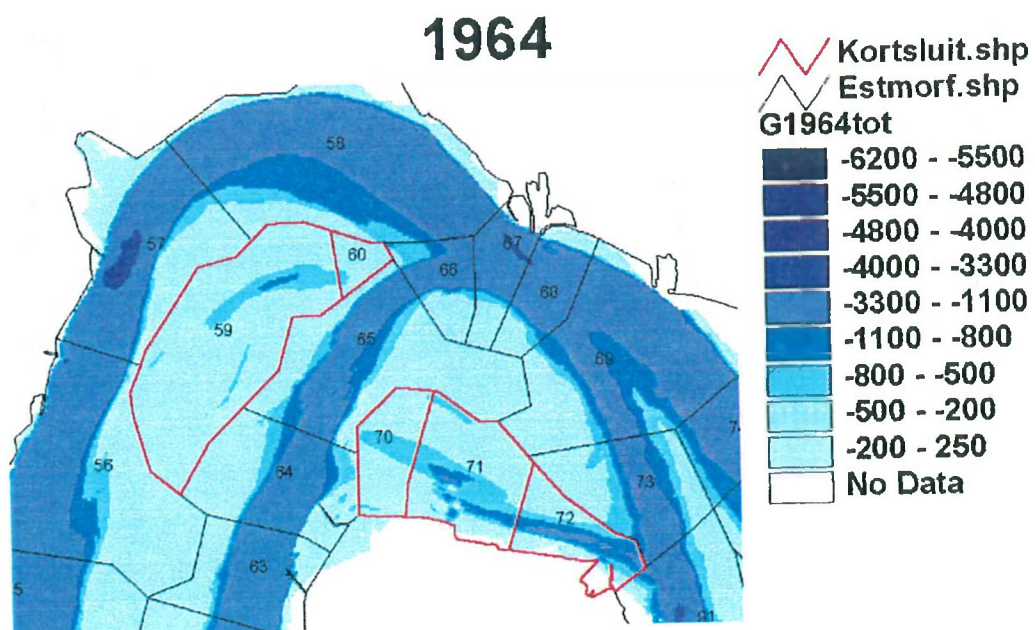


Ontwikkeling gemeten nat volume voor 3 verschillende vaknummers, van 1968-1993

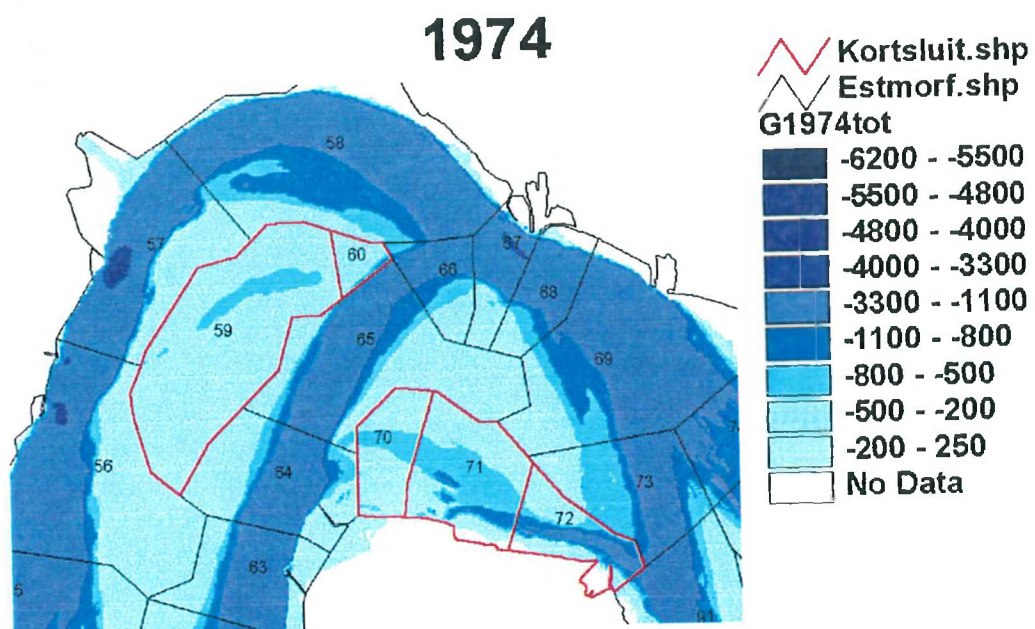
DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.4f



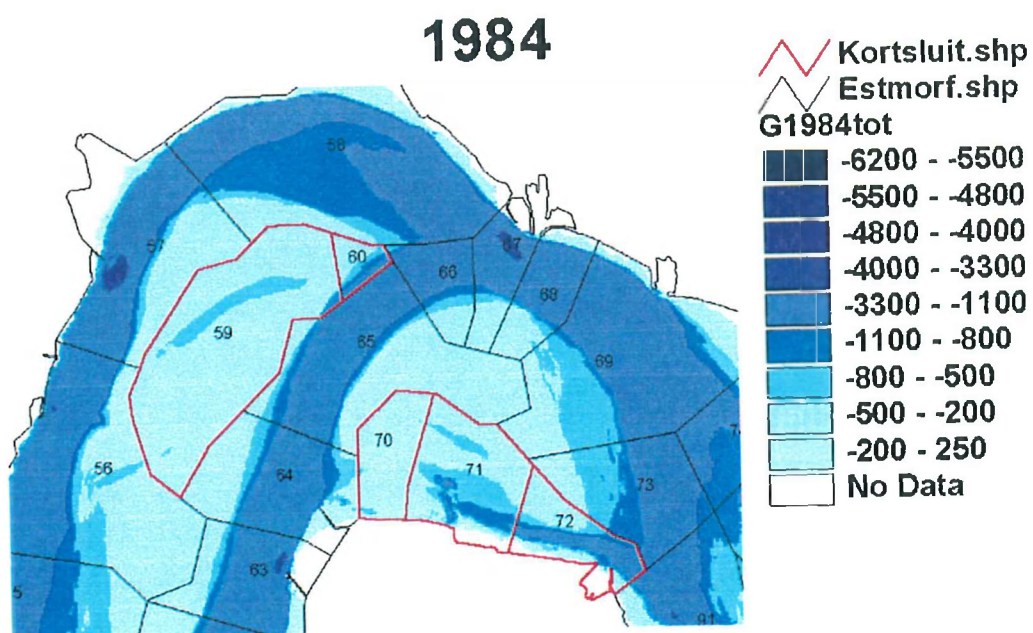


figuur 2.5a

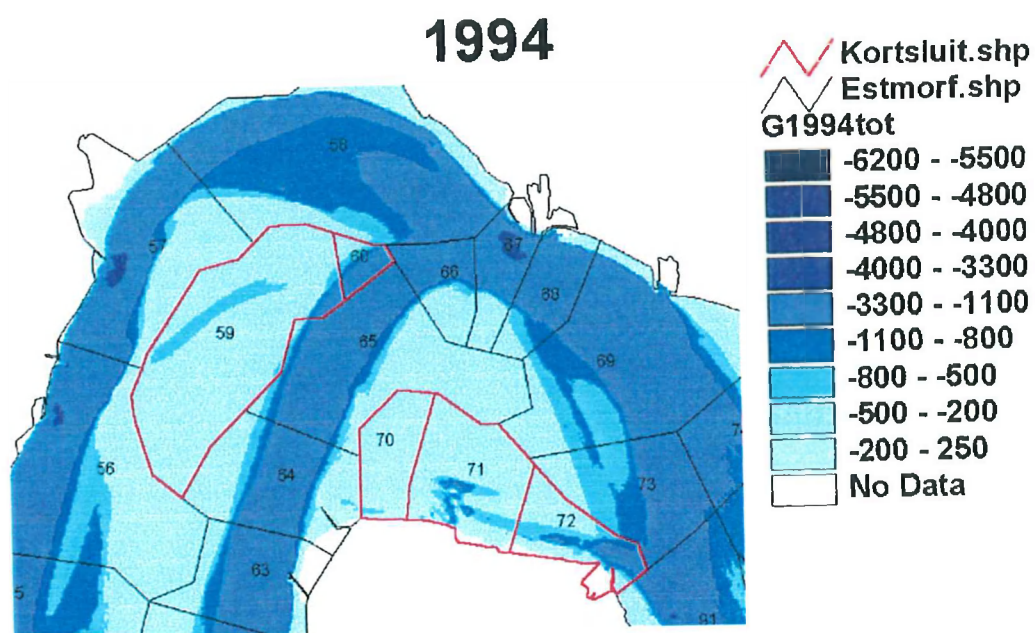


figuur 2.5b



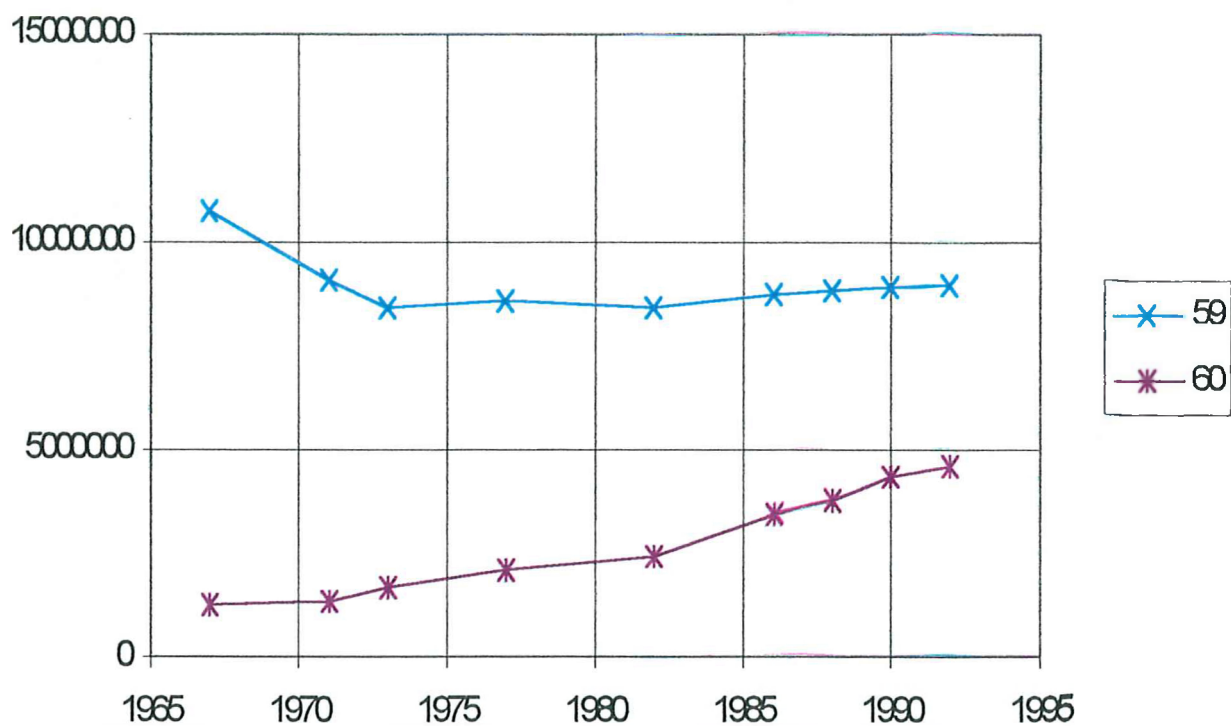


figuur 2.5c



figuur 2.5d

### Gemeten nat volume Estmorf schematisatie

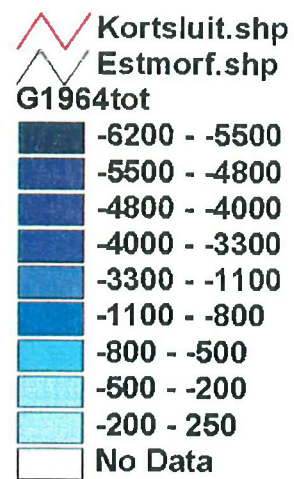
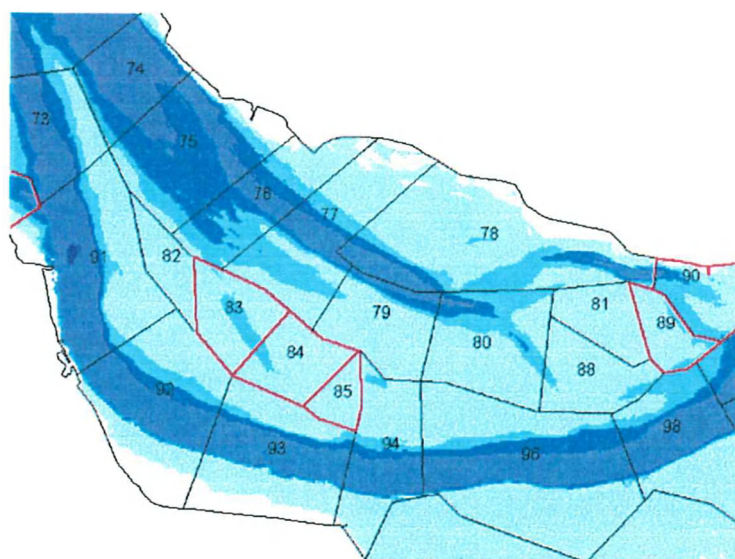


Ontwikkeling gemeten nat volume voor 2 verschillende vaknummers, van 1968-1993

DELFT HYDRAULICS

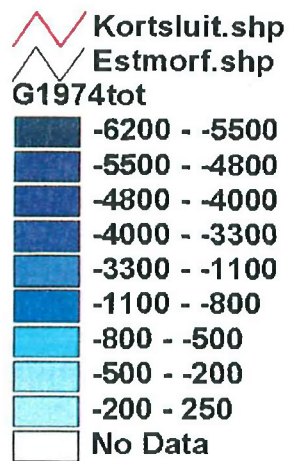
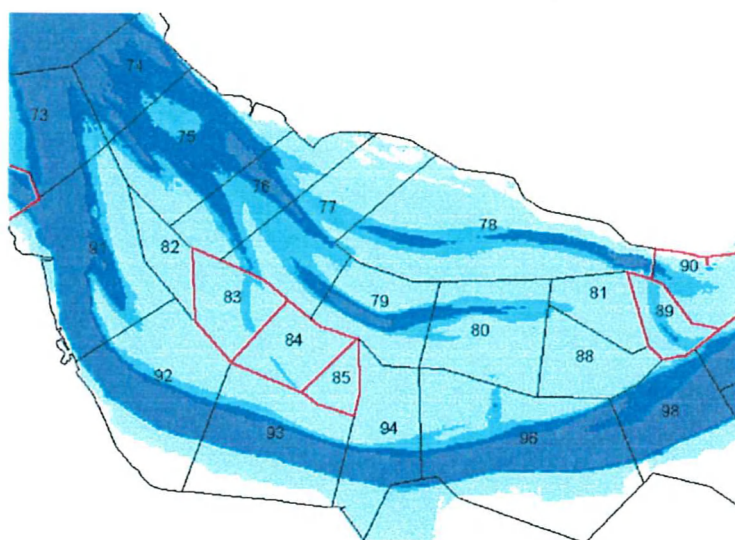
Fig. 2.5 e

# 1964



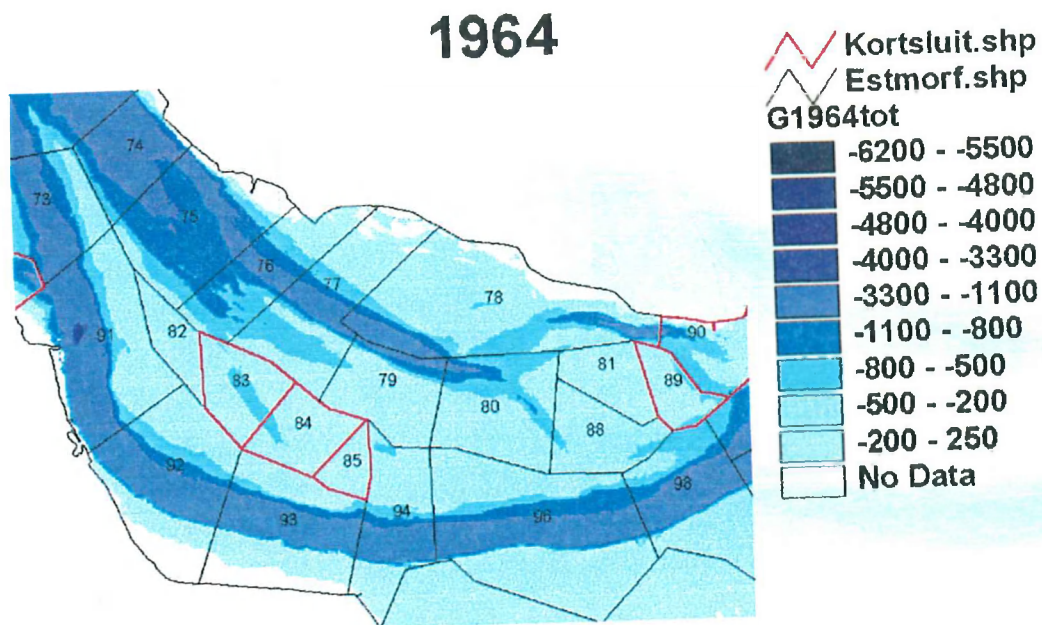
figuur 2.6a

# 1974

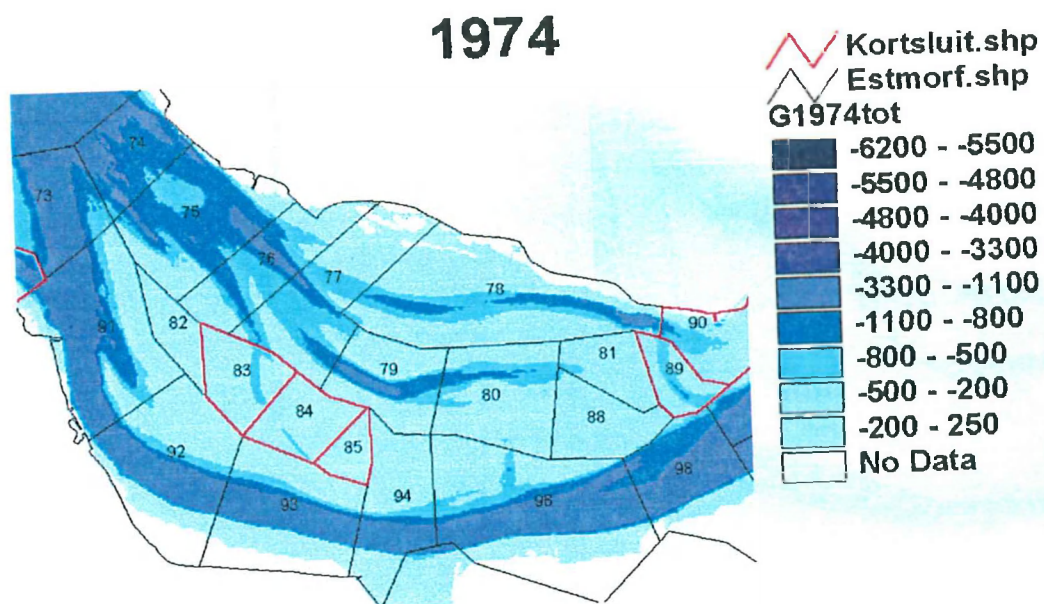


figuur 2.6b



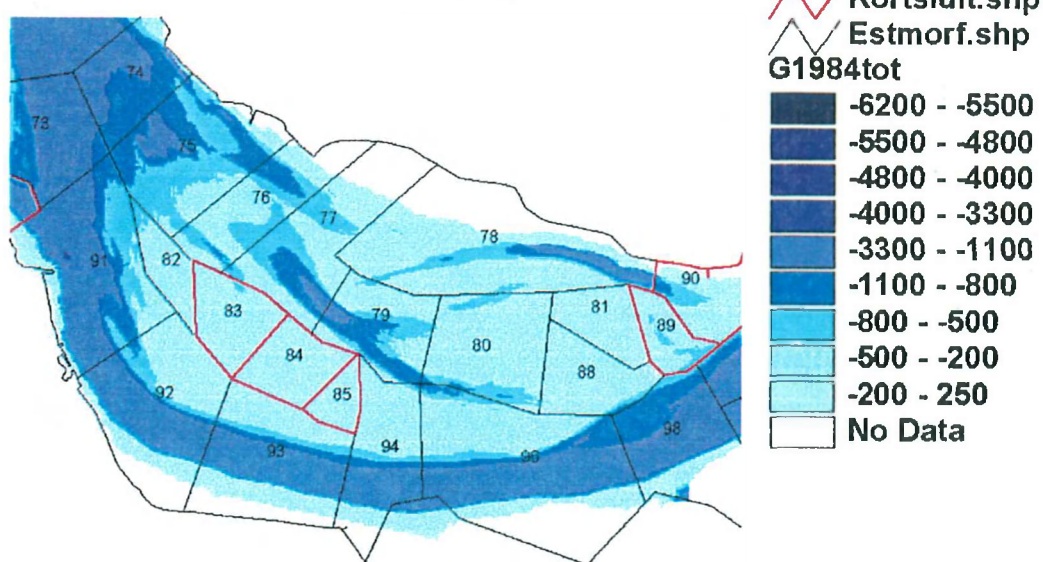


figuur 2.6a



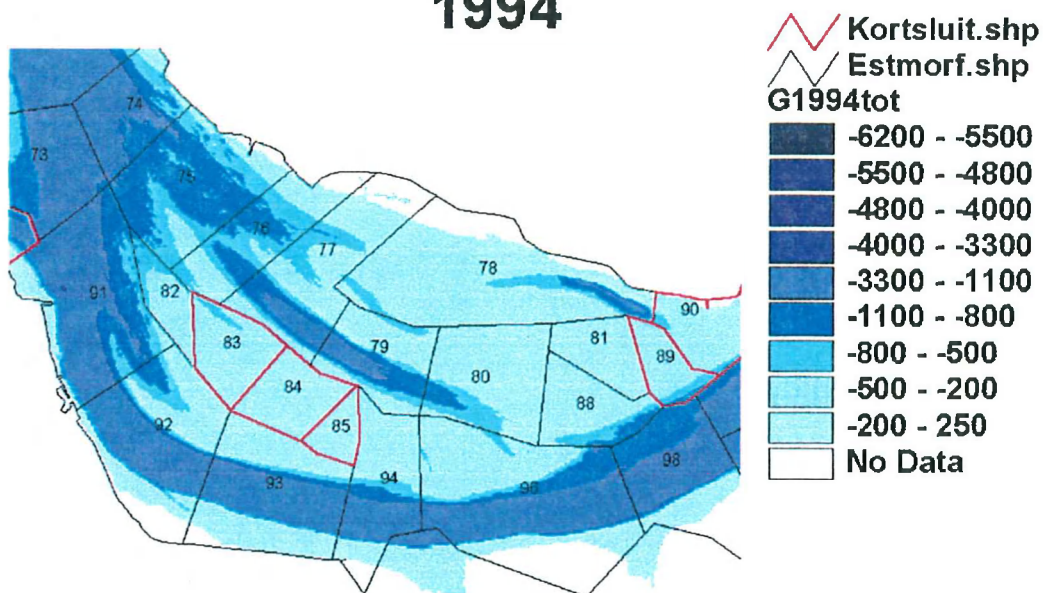
figuur 2.6b

# 1984



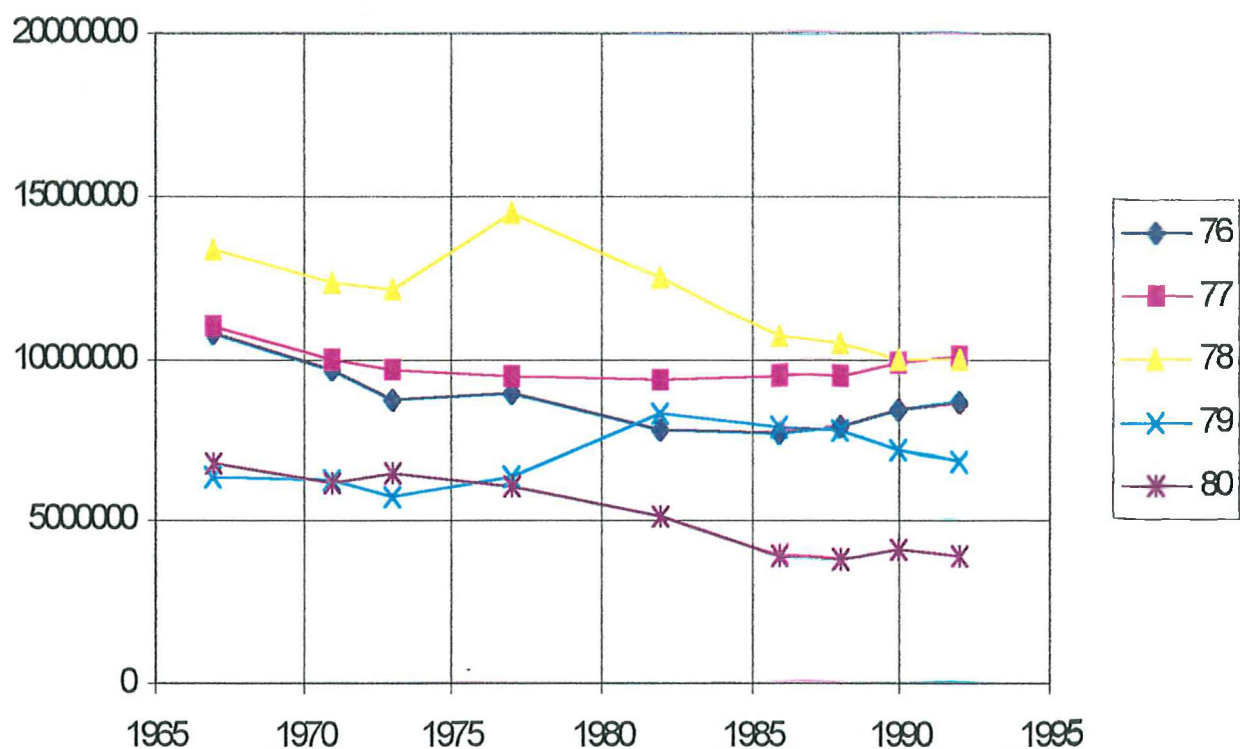
figuur 2.6c

# 1994



figuur 2.6d

## Gemeten nat volume Estmorf schematisatie

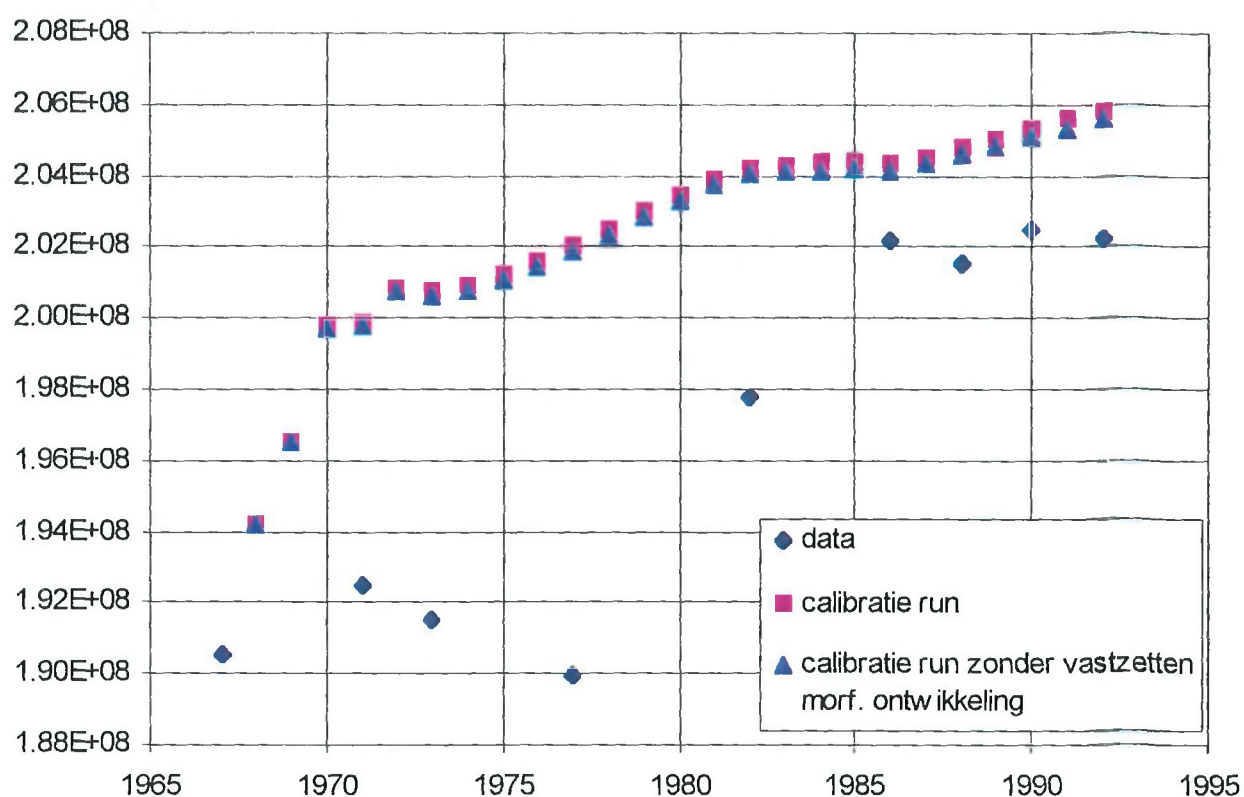


Ontwikkeling gemeten nat volume voor 5 verschillende vaknummers, van 1968-1993

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.6e

# Volume onder NAP, vakken 11+12+13+14+15+16+17+190



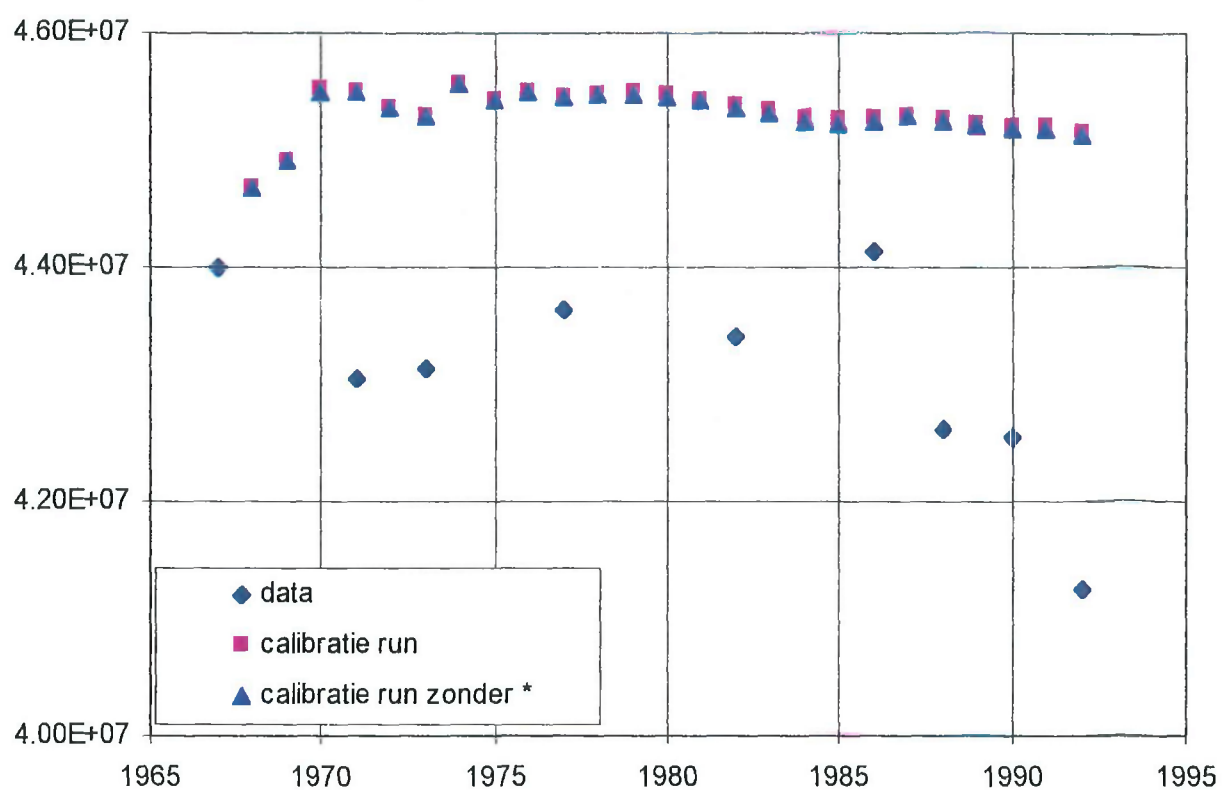
Ontwikkeling gemeten en berekend gesommeerd  
volume onder NAP van vaknummers  
11,12,13,14,15,16,17,en 190

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.7a



# Volume onder NAP, vakken 22+23+24+26+27



Ontwikkeling gemeten en berekend gesommeerd  
volume onder NAP van vaknummers 22, 23, 24, 26 en  
27

DELFT HYDRAULICS

Fig. 2.7b