



| | | |
|---|---|-------------|
|  | bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium | C-14022 712 |
| BB 66007 | | |
| WL Z 2310 | | |
| EXPL |  R0004347 | |

Studie naar morfologische effecten
van storten en baggeren
in de Westerschelde

Ten behoeve van MER storten gebaggerd materiaal

Z.B. Wang
P.M.C. Thoolen
R.J. Fokkink





| KLANT | | : Rijkswaterstaat, RIKZ, Postbus 8039 4330 BA Middelburg | | | | | |
|---|--|---|---|--------------|----|--|--|
| TITEL | | : Studie naar morfologische effecten van storten en baggeren in de Westerschelde Ten behoeve van Mer storten gebaggerd materiaal | | | | | |
| SAMENVATTING : | | . Ten behoeve van het MER voor storten van gebaggerd materiaal naar aanleiding van geplande verdieping van de vaargeul in de Westerschelde zijn de effecten van vijf verschillende bagger-/stortscenario's geanalyseerd met ASMITA-DUFLOW, ESTMORF-IMPLIC en theoretische beschouwingen. Het gaat expliciet om de effecten op getijdoordringing, op de morfologische veranderingen van de geulen en op de natuurlijkheid van estuarium. | | | | | |
| REFERENTIES | | : opdrachtbon nr. 67971178 | | | | | |
| REV. | AUTEUR | DATUM | OPMERKINGEN | REVIEW | | GOEDKEURING | |
| | Z.B. Wang, P.C.M. Thoolen R.J. Fokkink | juni 1997 | concept | M.J.F. Stive | KS | T. Schilperoort | |
| | Z.B. Wang, P.C.M. Thoolen R.J. Fokkink | juli 1997 | definitief | M.J.F. Stive | | T. Schilperoort | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| TREFWOORD(EN) | | | INHOUD | | | STATUS | |
| Westerschelde, baggeren/storten, morfologie, waterbeweging, stabiliteit, meer-geulen systemen | | | TEKST : 33 TABELLEN : FIGUREN : 45 APPENDICES: 1 | | | <input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF | |

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 1.1 | De vraagstelling | 1 |
| 1.2 | Aanpak van de studie | 1 |
| 1.3 | Opzet van het rapport | 2 |
| 2 | ASMITA-Estuarium/Mondingsgebied | 3 |
| 3 | ASMITA-Geul/Plaat | 6 |
| 3.1 | Inleiding | 6 |
| 3.2 | Opzet van het model | 6 |
| 3.2.1 | Schematisatie | 6 |
| 3.2.2 | Fysische parameters | 7 |
| 3.2.3 | Koppeling met het DUFLOW model | 10 |
| 3.3 | Kalibratie van het model | 11 |
| 3.4 | Bagger/stort Scenario's | 12 |
| 3.5 | Effect op morfologische verandering | 15 |
| 3.6 | Effect op waterbeweging | 16 |
| 4 | ESTMORF Westerschelde | 20 |
| 4.1 | Inleiding | 20 |
| 4.2 | Opzet van de berekeningen | 20 |
| 4.3 | Resultaten | 20 |
| 4.4 | Conclusies | 21 |
| 5 | Stabiliteit meergeulen systeem | 23 |
| 5.1 | Inleiding | 23 |
| 5.2 | Principe van de stabiliteit analyse | 23 |
| 5.3 | Een symmetrisch geval | 25 |
| 5.4 | Een referentiegeval | 26 |
| 5.5 | Vergelijking tussen de alternatieven | 27 |

| | | |
|----------|-------------------------|-----------|
| 6 | Conclusies | 30 |
| A | Literatuur | |

I Inleiding

I.1 De vraagstelling

Ten behoeve van de MER-rapportage Baggerspeciëstort Westerschelde is er behoefte aan een kwantitatieve analyse van het morfologische gedrag ten gevolge van de verdieping van de Westerschelde en de bijbehorende stortscenario's. Voor de analyse van de milieueffecten is inzicht nodig in de grootschalige veranderingen in het estuarium. Hierbij gaat het expliciet om

- veranderingen in de getijdoordringing ten aanzien van de getijslag en de extreme waterstanden,
- verandering van de geuldimensies (dwarsdoorsnedes) door de ingrepen en de morfologische veranderingen,
- verandering in de natuurlijkheid van het estuarium, waarbij met name gekeken wordt naar de dynamica en het meergeulenstelsel.

Hieruit blijkt dat het onderzoek zowel hydrodynamische als morfologische effecten moet omvatten. Het onderzoek zal zich richten op effecten van de verschillende bagger- en stortscenario's op een termijn van 10-25 jaar.

I.2 Aanpak van de studie

Zowel de hydrodynamische als de morfologische effecten moeten worden beschouwd in de studie. Er zijn twee modellen die hiervoor in aanmerking komen, namelijk het ESTMORF-Westerschelde model en het ASMITA model dat reeds voor de advisering ten aanzien van zandwinning in de Westerschelde is toegepast. Beide modellen waren bij aanvang van de studie niet direct inzetbaar voor het beantwoorden van de drie expliciete vragen zoals hierboven zijn gesteld.

Conceptueel bevat het ESTMORF-Westerschelde model alle elementen die nodig zijn om alle drie gestelde vragen te beantwoorden. Op dit moment is de kalibratie studie van dit model nog gaande. Binnen de voor het huidige project gestelde termijn is het niet te verwachten dat het model operationeel genoeg zal worden om ingezet te kunnen worden.

Het ASMITA model zoals reeds toegepast voor het Westerschelde estuarium en het mondingsgebied bevat geen waterbewegingsmodel. Om de eerste vraag te kunnen beantwoorden moet er een (één- of twee-richtings) koppeling met een waterbewegingsmodel komen. Het gaat in deze studie vooral om het estuarium gebied waarin een hogere resolutie in de schematisatie nodig is dan het bestaande model. Voor het beantwoorden van de tweede vraag moeten waarschijnlijk de geulen en platen apart gemodelleerd worden. Voor het beantwoorden van de derde vraag zijn zowel de koppeling met een stromingsmodel als een gedetailleerdere schematisatie nodig.

Door RIKZ en WL specialisten is een korte voorstudie gedaan om tot de beste aanpak voor het beantwoorden van bovengestelde vragen te komen. Hierbij zijn overwegingen meegenomen m.b.t.

- de data beschikbaar voor de opzet en voor de kalibratie van de ASMITA model(len),
- de eisen m.b.t. de vereiste nauwkeurigheid van de antwoorden, en
- de beschikbare middelen

Als resultaat van de voorstudie is besloten voor de huidige studie de volgende aanpak te volgen:

- Voor het beantwoorden van de eerste vraag zal een detail ASMITA model worden opgezet waarbij zowel geulen als platen worden meegenomen. Het model zal worden gekalibreerd gebruikmakend van beschikbare morfologische gegevens van 1955 - 1994. Voor het bepalen van het effect van morfologische veranderingen op de waterbeweging zal een koppeling worden gemaakt tussen de ASMITA resultaten en een bestaande DUFLOW schematisatie van de Westerschelde. Naast deze ASMITA berekeningen zullen met het ESTMORF model van de Westerschelde zoals het nu beschikbaar is enkele berekeningen worden gedaan, en de resultaten zullen worden vergeleken met de resultaten van de ASMITA-DUFLOW berekeningen.
- Voor het beantwoorden van de tweede vraag zal gebruik worden gemaakt van zowel het bestaande ASMITA model, als ook het gedetailleerdere ASMITA model en het Estmorf model.
- Voor het beantwoorden van de derde vraag zal een theoretische stabiliteitsanalyse van de geulen worden uitgevoerd.

1.3 Opzet van het rapport

Het rapport is als volgt opgezet:

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het huidige ASMITA model en een presentatie van de resultaten die hiermee zijn verkregen na simulatie van verschillende bagger/stort scenario's.

Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het nieuwe detail ASMITA model, een presentatie van de kalibratie resultaten en van de simulatie resultaten van diverse bagger/stort scenario's voor een termijn van 10 jaar.

In Hoofdstuk 4 zijn de Estmorf resultaten gepresenteerd van dezelfde bagger/stort scenario's als hierboven genoemd.

Hoofdstuk 5 geeft een beschrijving en een stabiliteitsanalyse van een meergeulensysteem, en in het bijzonder het geulensysteem van de Westerschelde.

In Hoofdstuk 6 worden conclusies t.a.v. de studieresultaten gepresenteerd.

De studie is uitgevoerd door Dr.R.J. Fokkink, Drs.P.M.C. Thoolen en Dr.ir.Z.B. Wang (projectleider) van WL onder begeleiding van Drs.H. Verbeek van RIKZ.

2 ASMITA-Estuarium/Mondingsgebied

Het ASMITA model zoals reeds toegepast voor het Westerschelde estuarium en het mondingsgebied (Wang, 1997) wordt hier toegepast voor het bepalen van de grootschalige morfologische effecten van de vijf stort-alternatieven met het bijbehorende baggerwerk:

- Alternatief A: Efficiënt vaarwegbeheer,
- Alternatief B: Minimale verstoring gebruik
- Alternatief C: Minimale aantasting huidige toestand,
- Alternatief D: Minimale verstoring op de lange termijn van het estuarium systeem,
- Alternatief E: Versterkt baggerwerk (volgende verdieping).

Het model zoals beschreven in Wang (1997) is gebruikt zonder enige aanpassing behalve dat de ingrepen in het estuarium gebied vanaf 1998 (jaar 1) zijn aangepast volgens de bagger- en stortgegevens aangeleverd door RIKZ (zie Tabel 1 t/m Tabel 3). De vakindeling komt overeen met de vakindeling van Uit den Bogaard (1995) bij de presentatie van de zandbalans (Fig.2.1). De overige gegevens zijn hetzelfde als in de run scenario 1 (SC1) beschreven in Wang (1997). Bij scenario E zijn de baggergegevens per jaar van scenario's A t/m D met een factor vermenigvuldigd zodat de totale hoeveelheid baggeren die ontstaat gelijk is aan de gestorte hoeveelheid.

Tabel 2.1 De baggergegevens voor scenario A t/m D (miljoen m³/jaar)

| | jaar 1 | jaar 2 | jaar 3 | jaar 4 | daarna |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| vak 1 | 4.4 | 5 | 4.4 | 4.4 | 4.4 |
| vak 2 | 2.5 | 2.9 | 2.7 | 2.7 | 2.7 |
| vak 3 | 5.6 | 6.4 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| vak 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| vak 5 | 3.6 | 2.8 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| vak 6 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| totaal | 16.1 | 17.9 | 14 | 14 | 14 |

Tabel 2.2 Stortgegevens (miljoen m³/jaar)

| | scenario A | | scenario B | | scenario C | | scenario D | | scenario E | |
|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | jaar 1-4 | daarna | jaar 1-4 | daarna | jaar 1-4 | daarna | jaar 1-4 | daarna | jaar 1-4 | daarna |
| vak 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| vak 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| vak 3 | 2.35 | 6.5 | 2.35 | 9 | 2 | 2.3 | 0 | 0 | 2.35 | 9 |
| vak 4 | 8.65 | 0 | 6.65 | 0 | 5.5 | 4 | 6 | 2 | 8.65 | 5 |
| vak 5 | 3 | 1.5 | 3 | 2 | 4.5 | 3.2 | 6 | 6 | 6 | 2 |
| vak 6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3.2 | 2 | 6 | 6 | 2 |
| totaal | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 24 | 24 |

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1995 - 2025. Hierbij is verondersteld dat de verdieping in 1998 begint en in 2002 eindigt. De ingrepen na de verdiegingsperiode zijn constant gehouden. De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in Fig.2.2 t/m Fig.2.8.

Tabel 2.3 Ingrepen (miljoen m³/jaar) = storten (tabel 2.2)-baggeren (tabel 2.1):

| scenario | | jaar 1 | jaar 2 | jaar 3 | jaar 4 | daarna |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | vak 1 | -4.4 | -5 | -4.4 | -4.4 | -1.4 |
| | vak 2 | -2.5 | -2.9 | -2.7 | -2.7 | 0.3 |
| | vak 3 | -3.25 | -4.05 | -3.15 | -3.15 | 1 |
| | vak 4 | 8.65 | 8.65 | 8.65 | 8.65 | 0 |
| | vak 5 | -0.6 | 0.2 | 1.6 | 1.6 | 0.1 |
| | vak 6 | 0 | -0.8 | 0 | 0 | 0 |
| B | vak 1 | -4.4 | -5 | -4.4 | -4.4 | -1.4 |
| | vak 2 | -2.5 | -2.9 | -2.7 | -2.7 | -2.7 |
| | vak 3 | -3.25 | -4.05 | -3.15 | -3.15 | 3.5 |
| | vak 4 | 6.65 | 6.65 | 6.65 | 6.65 | 0 |
| | vak 5 | -0.6 | 0.2 | 1.6 | 1.6 | 0.6 |
| | vak 6 | 2 | 1.2 | 2 | 2 | 0 |
| C | vak 1 | -4.4 | -5 | -4.4 | -4.4 | -3.8 |
| | vak 2 | -2.5 | -2.9 | -2.7 | -2.7 | -2 |
| | vak 3 | -3.6 | -4.4 | -3.5 | -3.5 | -3.2 |
| | vak 4 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 4 |
| | vak 5 | 0.9 | 1.7 | 3.1 | 3.1 | 1.8 |
| | vak 6 | 2 | 1.2 | 2 | 2 | 3.2 |
| D | vak 1 | -4.4 | -5 | -4.4 | -4.4 | -4.4 |
| | vak 2 | -2.5 | -2.9 | -2.7 | -2.7 | -2.7 |
| | vak 3 | -3.6 | -6.4 | -5.5 | -5.5 | -5.5 |
| | vak 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 2 |
| | vak 5 | 2.4 | 3.2 | 4.6 | 4.6 | 4.6 |
| | vak 6 | 2 | 1.2 | 2 | 2 | 6 |
| E | vak 1 | -7.54 | -8.57 | -7.54 | -7.54 | -4.54 |
| | vak 2 | -3.29 | -3.97 | -3.63 | -3.63 | -1.63 |
| | vak 3 | -7.25 | -8.62 | -7.08 | -7.08 | -0.43 |
| | vak 4 | 8.65 | 8.65 | 8.65 | 8.65 | 5 |
| | vak 5 | -0.17 | 1.2 | 3.6 | 3.6 | -0.4 |
| | vak 6 | 6 | 4.65 | 6 | 6 | 2 |

In Fig.2.2 zijn de berekende natte volumes van de drie gedeelten van het estuarium weergegeven. Het oostelijke deel bestaat uit vak 1 en 2, het midden deel uit vak 3 en het westelijke deel uit vak 4, 5 en 6. De volgende waarnemingen zijn gedaan uit deze figuur:

- Alternatieven A (efficiënt vaarwegbeheer) en B (minimale verstoring gebruik) veroorzaken relatief weinig verandering van de volumes van de drie gedeelten.
- Alternatieven C (minimale aantasting huidige toestand), D (minimale verstoring op de lange termijn van het estuarium systeem) en E (versterkt baggerwerk voor volgende verdieping) veroorzaken duidelijk een verruiming van het oostelijke deel en een vernauwing in het westelijke deel. Alternatief D (en E op korte termijn) veroorzaakt een grote verandering in het westelijke deel.
- Alternatieven C en D veroorzaken ook een verruiming van het midden gedeelte van het estuarium.

De berekende sediment transporten aan de grenzen van de drie gedeelten van het estuarium zijn gegeven in Fig.2.3. De volgende waarnemingen zijn gedaan:

- In alle alternatieven is de sediment import bij de monding op den duur afgenomen. De afname bij alternatieven A en B zijn heel klein. Bij de alternatieven C, D en E slaat het op den duur om van import naar export. De maximale afname van de import treedt op bij alternatief D.
- Bij alle alternatieven neemt het transport van het westelijke deel naar het midden van het estuarium toe in de verdiepingsperiode. Daarna neemt het af bij alternatief A en B terwijl het toeneemt bij alternatieven C, D en E. Ook hier zijn de toenames het grootste bij alternatief D.
- Het transport van het midden naar het oostelijke deel neemt toe bij alle alternatieven. De toename is maximaal bij alternatieven B en E en minimaal bij alternatieven A en D.

In Fig.2.4 t/m Fig.2.8 zijn de zand balans bij de vijf alternatieven gedurende de verdiepings periode en de eerst 6 jaar onderhoudsperiode samengevat.

3 ASMITA-Geul/Plaat

3.1 Inleiding

Een meer gedetailleerd ASMITA model is opgezet voor het estuarium gebied. Het model is gebaseerd op de verdeling van morfologische eenheden voorgesteld door Huijs (1995). Het model heeft twee doelen. Ten eerste,

- het zal resultaten leveren over de veranderingen van de geulen en de platen in het estuarium, en ten tweede,
- het model kan in combinatie met het bestaande DUFLOW model informatie leveren over de veranderingen van getijdoordringing in het estuarium in de toekomst.

Hier toe is in deze studie voor 5 verschillende bagger/stort scenario's 10 jaar vooruitgerekend.

3.2 Opzet van het model

3.2.1 Schematisatie

Het model is opgezet volgens de vakindeling van Huijs (1995). In deze indeling wordt onderscheid gemaakt tussen 16 geulvakken en 8 plaatvakken. Onderstaande Tabel 3.1 bevat de geul- en plaatvolumes die beschikbaar zijn van 1955 en 1994. De gegevens van 1955 zijn gebruikt als initiële waarden bij de kalibratie van het ASMITA model. De gegevens van 1994 hebben als uitgangspunt voor de toekomstige scenario's gediend. Het geul volume onder NAP-2 en het plaatvolume boven NAP-2 zijn dus gebruikt als morfologische variabelen. De model schematisatie is weergegeven in Fig.3.1.

TABEL 3.1 Vaknummers en corresponderende geul/plaat volumes en -areaal uit 1955 en 1994

| vak | Geulen | Volume onder NAP-2 in 1994 (10^6 m^3) | Areaal op NAP-2 in 1994 (10^4 m^2) | Volume onder NAP-2 in 1955 (10^6 m^3) | Areaal op NAP-2 in 1955 (10^4 m^2) |
|-----|-----------------------------------|---|--|---|--|
| 1 | Vaarwater boven Bath | 42 | 459 | 28 | 458 |
| 2 | Appelzak | 12 | 363 | 7 | 302 |
| 3 | Nauw van Bath | 41 | 334 | 20 | 194 |
| 4 | Schaar van Noord | 9 | 150 | 10 | 220 |
| 5 | Zuidergat | 140 | 1374 | 121 | 1517 |
| 6 | Schaar van Valkenisse | 42 | 965 | 76 | 1460 |
| 7 | Overloop en drempel van Hansweert | 168 | 1534 | 120 | 1307 |
| 8 | Ebschaar Ossenis | 4 | 106 | 12 | 384 |
| 9 | Middelgat | 187 | 2188 | 259 | 2436 |
| 10 | Gat van Ossenis | 116 | 1099 | 98 | 935 |
| 11 | Zuid Everingen | 140 | 1060 | 128 | 1007 |
| 12 | Pas van Terneuzen | 334 | 2851 | 271 | 2526 |
| 13 | Everingen | 312 | 2924 | 278 | 2605 |
| 14 | Vaarwater langs Hoofdplaat | 76 | 1032 | 97 | 1098 |
| 15 | Schaar van de Spijkerplaat | 237 | 1950 | 243 | 2392 |
| 16 | Honte | 354 | 1800 | 374 | 2006 |
| vak | Platen | Volume boven NAP-2 in 1994 ($*10^6$) | Areaal op NAP-2 in 1994 ($*10^4$) | Volume boven NAP-2 in 1955 ($*10^6$) | Areaal op NAP-2 in 1955 ($*10^4$) |
| 17 | Ballast | 0.2 | 24 | 0.5 | 66 |
| 18 | Plaat van Saeftinge | 0.0 | 2 | 0.0 | 12 |
| 19 | Platen van Valkenisse | 22.4 | 967 | 10.1 | 656 |
| 20 | Plaat van Ossenis | 12.6 | 501 | 3.2 | 258 |
| 21 | Rug van Baarland | 15.1 | 833 | 9.9 | 645 |
| 22 | Plaat van Baarland | 4.4 | 185 | 3.2 | 193 |
| 23 | Middelplaat complex | 16.3 | 877 | 13.9 | 897 |
| 24 | Hooge Platen | 39.6 | 1659 | 33.3 | 1675 |

3.2.2 Fysische parameters

Zoals beschreven in (Wang, 1997) heeft een ASMITA model de volgende fysische en numerieke parameters nodig:

Voor ieder vak

- initiële voorwaarden (areaal, volume, sedimentconcentratie),
- valsnelheid,
- globale evenwichtsconcentratie c_E ,
- macht n (in de evenwichtsformulering),
- evenwichtsvolume V_e ,

voor iedere verbinding tussen aansluitende vakken

- een uitwisselingscoëfficiënt δ ,

voor de vakken aan de rand

- sedimentconcentratie gedurende de simulatieperiode.

De uitwisselingscoëfficiënt δ wordt berekend gebruikmakend van een diffusiecoëfficiënt, het doorstroomoppervlak tussen twee aansluitende vakken en de gemiddelde afstand tussen de centra van aansluitende vakken. Het doorstroomoppervlak tussen twee aansluitende vakken is bepaald door de gemiddelde dieptes van de twee vakken te middelen en te vermenigvuldigen met de effectieve uitwisselingslengte tussen de twee vakken.

Behalve de fysische parameters heeft het model een getijamplitude, een rekentijdstap en een simulatieperiode nodig.

Onderstaande Tabellen 3.2a en 3.2b bevatten per vak en per vakverbinding de waarden van de diverse fysische parameters zoals ze na kalibratie van het ASMITA model gebruikt zijn voor de bagger en stort scenario's. De kalibratie procedure is beschreven in Paragraaf 3.3.

Tabel 3.2a Per vak: grootte van fysische parameters na kalibratie

| vak | valsnelheid (m/s) | c_E | macht n | evenwichtsvolume * 10^6 m ³ onder NAP-2 |
|-----|-------------------|--------|---------|---|
| 1 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 20.2236 |
| 2 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 5.8049 |
| 3 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 17.852 |
| 4 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 8.975 |
| 5 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 113.283 |
| 6 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 33.38 |
| 7 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 142.75 |
| 8 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 6.665 |
| 9 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 186.596 |
| 10 | 5.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 125.61 |
| 11 | 5.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 137.424 |
| 12 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 326.984 |
| 13 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 309.492 |
| 14 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 68.37 |
| 15 | 1.0e-2 | 1.0e-5 | 2 | 231.565 |
| 16 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 351.114 |
| 17 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 0.66 |
| 18 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 0.18 |
| 19 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 22.96 |
| 20 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 9.03 |
| 21 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 16.125 |
| 22 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 4.825 |
| 23 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 17.94 |
| 24 | 1.0e-3 | 1.0e-5 | 2 | 41.875 |

De valsnelheid is met name op de platen en in ondiepe gebieden lager gekozen dan in de geulen. De evenwichtvolumes zijn afgeleid van een DUFLOW simulatie voor 1992, en vervolgens handmatig aangepast (zie Paragraaf 3.2.3 en Paragraaf 3.3). De waarde voor c_E representeert een gemiddelde globale evenwichtsconcentratie. Deze waarde is ook gebruikt als initiële conditie en als randaansturing.

Tabel 3.2b Per verbinding: grootte van fysische parameters na kalibratie

| Verbinding tussen vakken | 2 | Doorstroom oppervlak verbinding (m ²) | Diffusie coëfficiënt D (m ² /s) | Gemiddelde afstand tussen twee centra | Uitwisselings coëfficiënt δ (m ³ /s) |
|--------------------------|---|---|--|---------------------------------------|--|
| 1-2 | | 19406 | 2500 | 1000 | 48516 |
| 1-3 | | 11838 | 5000 | 5200 | 11383 |
| 1-4 | | 4739 | 2500 | 2600 | 4557 |
| 2-3 | | 3377 | 5000 | 4550 | 3711 |
| 3-4 | | 16435 | 2500 | 1690 | 24312 |
| 3-5 | | 19255 | 5000 | 7800 | 12343 |
| 3-6 | | 7138 | 2500 | 5850 | 3050 |
| 4-5 | | 4826 | 5000 | 7150 | 3375 |
| 5-6 | | 14573 | 2500 | 1950 | 18683 |
| 5-7 | | 12298 | 5000 | 8450 | 7277 |
| 5-8 | | 2182 | 5000 | 7150 | 1526 |
| 6-7 | | 11211 | 2500 | 6500 | 4312 |
| 7-9 | | 18037 | 5000 | 8450 | 10673 |
| 7-10 | | 20470 | 5000 | 7150 | 14315 |
| 8-10 | | 4444 | 5000 | 5200 | 4273 |
| 9-10 | | 23336 | 2500 | 2600 | 22438 |
| 9-11 | | 45518 | 5000 | 7800 | 29178 |
| 9-13 | | 41530 | 5000 | 10400 | 19966 |
| 10-11 | | 18099 | 5000 | 7150 | 12657 |
| 11-12 | | 22845 | 5000 | 9100 | 12552 |
| 11-13 | | 18239 | 5000 | 6500 | 14030 |
| 12-13 | | 13901 | 2500 | 1950 | 17821 |
| 12-14 | | 25372 | 2500 | 3900 | 16264 |
| 12-15 | | 40730 | 5000 | 9750 | 20887 |
| 12-16 | | 72479 | 5000 | 10400 | 34846 |
| 13-16 | | 20947 | 5000 | 11700 | 8952 |
| 14-15 | | 12331 | 2500 | 9100 | 3388 |
| 15-16 | | 84233 | 2500 | 1950 | 107991 |
| 2-17 | | 5200 | 1000 | 1000 | 5200 |
| 1-17 | | 2600 | 1000 | 1000 | 2600 |
| 1-18 | | 5200 | 1000 | 1300 | 4000 |
| 4-18 | | 3380 | 1000 | 1300 | 2600 |
| 5-19 | | 18200 | 1000 | 2600 | 7000 |
| 6-19 | | 6500 | 1000 | 100 | 65000 |
| 3-19 | | 300 | 1000 | 4550 | 66 |
| 7-20 | | 10400 | 1000 | 1950 | 5333 |
| 8-20 | | 3900 | 1000 | 500 | 7800 |
| 10-20 | | 3000 | 1000 | 4550 | 659 |
| 7-21 | | 3900 | 1000 | 5200 | 750 |
| 9-21 | | 15600 | 1000 | 1950 | 8000 |
| 10-21 | | 9880 | 1000 | 3250 | 3040 |
| 9-22 | | 6500 | 1000 | 5200 | 1250 |
| 13-22 | | 6500 | 1000 | 4550 | 1429 |
| 9-23 | | 3900 | 1000 | 11700 | 333 |
| 11-23 | | 5200 | 1000 | 6500 | 800 |
| 12-23 | | 18200 | 1000 | 2600 | 7000 |
| 13-23 | | 13000 | 1000 | 1300 | 10000 |
| 12-24 | | 14300 | 1000 | 5200 | 2750 |
| 14-24 | | 13000 | 1000 | 1950 | 6667 |
| 15-24 | | 14300 | 1000 | 2600 | 5500 |

De effectieve uitwisselingslengte is gemeten van een kaart waarop de vakindeling staat aangegeven. De diffusiecoëfficiënt is kleiner gekozen voor verbindingen die niet in de richting van de getijstrooming staan. De uitwisselingscoëfficiënt δ is berekend volgens

$$\delta = (D \cdot A_c / L)$$

waarbij A_c = oppervlakte van het dwarsprofiel bij de verbinding.

3.2.3 Koppeling met het DUFLOW model

Zoals eerder vermeld is de schematisatie van het ASMITA model geheel gebaseerd op de verdeling van Huijs(1995) van morfologische eenheden in het estuarium. Bij de opzet van het bestaande DUFLOW model (Bollebakker, 1992) is er ook rekening gehouden met deze verdeling. De schematisatie van het DUFLOW model komt echter niet overeen met de schematisatie van het ASMITA model. Ten eerste worden in het DUFLOW model de platen en geulen gecombineerd in de rekenvakken terwijl het ASMITA model een duidelijk onderscheid maakt tussen platen en geulen. Ten tweede komt het netwerk van het DUFLOW model niet geheel overeen met de geulen-verdeling zoals in het ASMITA model (Zie Fig.3.1 en Fig.3.2). Een gevolg hiervan is dat de koppeling tussen de twee modellen niet automatisch en ook zeker niet online kan gebeuren. Daarom is het volgende gedaan:

- Het DUFLOW model, gebaseerd op bodemgegevens van 1992, wordt gebruikt om de getijvolumina door de verschillende geulen in het ASMITA model te bepalen. Het verband tussen geul-elementen in het ASMITA model en de roosterpunten in het DUFLOW model is weergegeven in Tabel 3.3. De resultaten zijn gebruikt om de evenwichtsrelaties voor de geulvolumes te bepalen.

Tabel 3.3 Verband tussen ASMITA vakken en DUFLOW-rooster

| ASMITA vak | DUFLOW vak | | positie | Getij volume (*10 ⁶ m ³) |
|------------|--------------------|---------------|---------|---|
| | volgens invoerfile | volgens Fig.2 | | |
| 1+2 | 21 | 27 | midden | 359 |
| 3 | 20 | 25 | eind | 191 |
| 4 | 64 | 24 | eind | 250 |
| 5 | 18 | 22 | eind | 409 |
| 6 | 22+23 | 20+21 | midden | 220 |
| 7 | 13 | 18 | begin | 850 |
| 8 | 17 | 19 | midden | 62 |
| 9 | 12 | 15 | begin | 508 |
| 10 | 14 | 14 | eind | 654 |
| 11 | 9 | 11 | eind | 581 |
| 12 | 5 | 5 | eind | 624 |
| 13 | 2 | 4 | eind | 916 |
| 14 | 7 | 1 | eind | 159 |
| 15 | 4 | 2 | midden | 891 |
| 16 | 1 | 3 | eind | 988 |

- Met het gekalibreerde ASMITA model worden, uitgaande van de initiële situatie van 1994 voor 10 jaar voorspellende berekeningen gedaan. Dit om het effect te onderzoeken van het baggeren en storten gedurende deze 10 jaar op de morfologische ontwikkeling en de hydrodynamica. De door het ASMITA model berekende morfologische verandering na 10 jaar wordt verwerkt in het DUFLOW 1992 model door de

dwarsprofielen aan te passen. Met het aangepaste DUFLOW model wordt opnieuw de waterbeweging berekend met dezelfde randvoorwaarden als in het 1992 model. De resultaten worden vergeleken met die uit het 1992 model om conclusies te trekken m.b.t. de getijdoordringing bij verschillende scenario's.

Het DUFLOW-1992 model is gedraaid met de getijgegevens op 11 en 12 oktober 1992. De getijrandvoorwaarden zijn dus niet geheel cyclisch. Daarom wordt als getijperiode gekozen de periode tussen de laatste twee laagwaters in deze periode, i.e. van 12:30 t/m 22:50 van 12 oktober 1992. De op deze manier bepaalde getijvolumes zijn nauwkeurig genoeg maar de reststroming kan op deze manier niet nauwkeurig bepaald worden. De berekende getijvolumes zijn ook gegeven in Tabel 3.3.

Om een relatie voor de evenwichtsvolumes van de geulen af te leiden wordt per geulvak een gemiddeld dwarsprofieloppervlak bepaald door het natte volume in 1992 te delen door de lengte van het geulvak. De relatie tussen de getijvolumes zoals gegeven in Tabel 3.3 en de dwarsprofieloppervlakten is weergegeven in Fig.3.3. De correlatie blijkt goed te zijn. De gemiddelde verhouding tussen de getijvolumes en de oppervlakten van de dwarsprofielen is ongeveer 30 km. Dit komt goed overeen met de waarden vermeld in de literatuur (zie bijvoorbeeld Allersma, 1992). Deze gemiddelde verhouding is gebruikt om de eerste schatting te maken voor de evenwichtsvolumes van de geul-vakken in het model (Tabel 3.4).

3.3 Kalibratie van het model

De kalibratie van het ASMITA model bestaat uit een simulatie van 39 jaar, uitgaande van de beginconditie van 1955. Omdat t/m 1994 jaargegevens van geul- en plaatvolumes beschikbaar zijn, is geprobeerd door variatie van diverse fysische parameters model resultaten zoveel mogelijk met de werkelijk geobserveerde geul/plaat ontwikkeling in overeenstemming te brengen. Er dient opgemerkt te worden dat tijdens de 39 jaar simulatieperiode er geen correctie of terugkoppeling is gemaakt met de waterbeweging. De getijslag wordt dus constant verondersteld.

Gedurende de kalibratie van het ASMITA model zijn de grootte van de diffusie parameters, de valsnelheden en de evenwichtsvolumes in de vakken gevarieerd. In eerste instantie is voor de geulvakken een constante diffusie parameter ter grootte van $5000 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt (zoals ook toegepast bij het ASMITA model beschreven in hoofdstuk 2) en voor de plaatvakken een constante diffusie coëfficiënt van $2500 \text{ m}^2/\text{s}$. Dit verschil is gekozen omdat de diffusiecoëfficiënt een intergetijde dispersie representeert waarbij het produkt van de gemiddelde getijstroomsnelheid en de getijweglengte de orde van grootte van de diffusiecoëfficiënt geven. Op de platen is deze orde van grootte naar verwachting lager dan in de geulen.

De valsnelheid is voor alle vakken in eerste instantie gelijk gekozen, namelijk 0.01 m/s , ook in overeenstemming met de waarde gebruikt in het ASMITA model beschreven in hoofdstuk 2.

De initieel gebruikte evenwichtsvolumes voor de geulen zijn bepaald uit de DUFLOW berekeningen van de getijvolumes van 1992, zoals beschreven in paragraaf 3.2.3. De evenwichtsvolumes voor de platen zijn geschat op basis van de geobserveerde ontwikkeling van de plaathoogte van 1955 tot 1994. Daartoe is het plaatareaal (op NAP-2) van de betreffende vakken van 1955 vermenigvuldigd met de verwachte gemiddelde evenwichts plaathoogte (boven NAP-2).

Tijdens de kalibratie procedure zijn diverse fysische parameters gevarieerd om de model resultaten zo goed mogelijk te laten passen bij de 39 jaar observaties. Er is gebleken dat enkele diffusiecoëfficiënten in vakverbindingen die niet in de getijrichting liggen na halvering betere resultaten opleverden. Verder gaf het verkleinen van de diffusiecoëfficiënt van 2500 naar 1000 m²/s in de plaatvakken een verbetering, evenals het verkleinen van de valsnelheden. De grootste effecten werden echter verkregen door het aanpassen van de evenwichtsvolumes. De oorspronkelijk afgeleide evenwichtsvolumes (zie ook paragraaf 3.2.3) en de uiteindelijke toegepaste, gewijzigde, evenwichtsvolumes (voor de geulvakken) zijn weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Initiële evenwichtsvolumes en evenwichtsvolumes na kalibratie

| Vaknummer | Initiële evenwichtsvolumes (onder NAP-2) | Evenwichtsvolumes na kalibratie (onder NAP-2) |
|-----------|---|--|
| 1 | 43.22 | 20.2236 |
| 2 | 10.80 | 5.8049 |
| 3 | 32.85 | 17.852 |
| 4 | 13.98 | 8.975 |
| 5 | 158.28 | 113.283 |
| 6 | 28.38 | 33.38 |
| 7 | 182.75 | 142.75 |
| 8 | 6.67 | 6.665 |
| 9 | 196.60 | 186.596 |
| 10 | 140.61 | 125.61 |
| 11 | 112.42 | 137.424 |
| 12 | 321.98 | 326.984 |
| 13 | 354.49 | 309.492 |
| 14 | 68.37 | 68.37 |
| 15 | 191.57 | 231.565 |
| 16 | 361.11 | 351.114 |
| 17 | 0.66 | 0.66 |
| 18 | 0.18 | 0.18 |
| 19 | 22.96 | 22.96 |
| 20 | 9.03 | 9.03 |
| 21 | 16.125 | 16.125 |
| 22 | 4.825 | 4.825 |
| 23 | 17.94 | 17.94 |
| 24 | 41.875 | 41.875 |

Er dient vermeld te worden dat het moeilijk is een evenwichtsvolume voor de platen te schatten, omdat gegevens hierover i.h.a. ontbreken. De ASMITA resultaten voor de platen kunnen dus alleen een indicatie geven van de trend door de jaren heen.

Figuren 3.4a t/m 3.4i laten de resultaten van de uiteindelijke kalibratie zien. Hier zijn voor alle geulvakken de berekende ontwikkeling van de geulvolumes (onder NAP-2) gedurende 39 jaar uitgezet tegen de observaties, en voor alle plaatvakken de berekende plaatvolumes (boven NAP-2). De figuren laten zien dat voor de meeste vakken het model de ontwikkeling in de periode 1955-1994 goed simuleert.

3.4 Bagger/stort Scenario's

Met het ASMITA model zijn voor een periode van 10 jaar 5 scenario's doorgerekend, die onderling verschillen in bagger en stort volumes per jaar. De voorgeschreven netto ingrepen behorend bij de 5 scenario's zijn gepresenteerd in Tabellen 3.5a t/m 3.5e. De cijfers zijn afgeleid uit de gegevens van RIKZ. Baggerwerken op drempels zijn verdeeld

over de twee aanliggende geulvakken, omdat bij de schematisatie van Huijs drempels als grenzen van de geulvakken zijn gebruikt.

Tabel 3.5a: Scenario A (efficiënt vaarwegbeheer), Netto ingrepen in 10^6 m³/jaar

| vak nummer | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999-2004 |
|------------|-------|-------|------|------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -1.2 | -1.35 | -1.1 | -1.1 | -1.1 |
| 3 | -2.2 | -2.5 | -2.2 | -2.2 | -2.2 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 5 | -3.5 | -4.05 | -3.8 | -3.8 | -3.8 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 7 | -4.4 | -5.1 | -4.8 | -4.8 | -4.8 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 9 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 2 |
| 10 | -0.35 | -0.45 | 0.15 | 0.15 | 0.8 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -2.8 | -2.05 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| 13 | 9 | 9 | 9 | 9 | 1.5 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | -0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | -0.8 | -1.25 | -0.6 | -0.6 | -0.6 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAAL | -2.1 | -4 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.5b: Scenario B (minimale versterking gebruik), Netto ingrepen in 10^6 m³/jaar

| vak nummer | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999-2004 |
|------------|-------|-------|------|------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -1.2 | -1.35 | -1.1 | -1.1 | -1.1 |
| 3 | -2.2 | -2.5 | -2.2 | -2.2 | -2.2 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 5 | -3.5 | -4.05 | -3.8 | -3.8 | -3.8 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | -4.4 | -5.1 | -4.8 | -4.8 | -4.8 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 9 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 3 |
| 10 | -0.35 | -0.45 | 0.15 | 0.15 | 2.3 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -2.8 | -2.05 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| 13 | 7 | 7 | 7 | 7 | 2 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 2 | 1.6 | 2 | 2 | 0 |
| 16 | -0.8 | -1.25 | -0.6 | -0.6 | -0.6 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAAL | -2.1 | -4 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.5c: Scenario C (minimale verstoring huidige toestand), Netto ingrepen in 10^6 m³/jaar

| vak nummer | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999-2004 |
|------------|-------|-------|------|------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -1.2 | -1.35 | -1.1 | -1.1 | -1.1 |
| 3 | -2.2 | -2.5 | -2.2 | -2.2 | -2.2 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 |
| 5 | -3.5 | -4.05 | -3.8 | -3.8 | -3.8 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 |
| 7 | -4.4 | -5.1 | -4.8 | -4.8 | -4.8 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 |
| 9 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 1.7 |
| 10 | -0.35 | -0.45 | 0.15 | 0.15 | 0.1 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -2.8 | -2.05 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| 13 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6.3 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 2 | 1.6 | 2 | 2 | 3.2 |
| 16 | -0.8 | -1.25 | -0.6 | -0.6 | -0.6 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAAL | -2.1 | -4 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.5d: Scenario D (=minimale verstoring op de lange termijn), Netto ingrepen in 10^6 m³/jaar (negatief = baggeren)

| vak nummer | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999-2004 |
|------------|------|-------|------|------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -1.2 | -1.35 | -1.1 | -1.1 | -1.1 |
| 3 | -2.2 | -2.5 | -2.2 | -2.2 | -2.2 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | -3.5 | -4.05 | -3.8 | -3.8 | -3.8 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | -4.4 | -5.1 | -4.8 | -4.8 | -4.8 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | -1.2 | -1.3 | -0.7 | -0.7 | -0.7 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -2.8 | -2.05 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 2 | 1.6 | 2 | 2 | 6 |
| 16 | -0.8 | -1.25 | -0.6 | -0.6 | -0.6 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAAL | -2.1 | -4 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.5e: Scenario E (= versterkt baggerwerk), Netto ingrepen in 10^6 m³/jaar

| vak nummer | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999-2004 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -2.06 | -2.31 | -1.89 | -1.89 | -1.89 |
| 3 | -3.77 | -4.29 | -3.77 | -3.77 | -3.77 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 5 | -6 | -6.94 | -6.51 | -6.51 | -6.51 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 7 | -7.54 | -8.74 | -8.23 | -8.23 | -8.23 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 9 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 6 |
| 10 | -1.21 | -1.38 | -0.35 | -0.35 | 1.8 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -4.8 | -3.51 | -1.37 | -1.37 | -1.37 |
| 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 4 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 6 | 5.31 | 6 | 6 | 2 |
| 16 | -1.37 | -2.14 | -1.03 | -1.03 | -1.03 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAAL | -3.6 | -6.86 | 0 | 0 | 0 |

3.5 Effect op morfologische verandering

Voor het analyseren van de morfologische veranderingen berekend uit de verschillende scenario's is er een onderscheid gemaakt tussen drie soorten gebieden:

- het hoofdgeulgebied langs de vaarroute,
- het neven-geulgebied, en
- platen.

De berekende morfologische veranderingen na 10 jaar per vak in de drie soorten gebieden zijn weergegeven in Tabel 3.6 t/m Tabel 3.8 (zie ook Fig.3.6 t/m Fig.3.9 voor de verloop van de veranderingen in tijd). Merk op dat het bij de geulen gaat om natte volumes en bij de platen om droge volumes.

Tabel 3.6 Volume veranderingen van de hoofdgeul-vakken (miljoen m³)

| Alternatief | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 11 | 12 | 15 | 16 | totaal |
|-------------|----------------|-------|------|------------|------|-----|----------------|-------|------|--------|
| A | 5.86 | 12.11 | 37.9 | 50.6 | 19 | 5.1 | 28.5 | -11.1 | -0.5 | 147.47 |
| B | 5.91 | 12.2 | 38.7 | 50.3 | 12.8 | 4.6 | 28.2 | -13.1 | -1.1 | 138.51 |
| C | 8.82 | 15.43 | 44.4 | 52.4 | 25.1 | 5.4 | 26.6 | -25.8 | -2.5 | 149.85 |
| D | 9.39 | 16.09 | 46.2 | 53.5 | 31.4 | 5.9 | 25.2 | -36.1 | -3.9 | 147.68 |
| E | 13.16 | 26.29 | 61.6 | 79.9 | 14.2 | 1.5 | 31.1 | -25.5 | -0.9 | 201.35 |
| | Oostelijk deel | | | Middendeel | | | Westelijk deel | | | |

Tabel 3.7 Volumeveranderingen van vakken in het nevengebied (miljoen m³)

| Alternatief | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 13 | 14 | totaal |
|-------------|----------------|--------|--------|--------|----------------|-------|--------|----------|
| A | 0.884 | -2.04 | -28.6 | -7.378 | -76.9 | 3.5 | -11.79 | -122.324 |
| B | 0.901 | -2.022 | -12.33 | -7.421 | -81.1 | 3.1 | -11.88 | -110.752 |
| C | 1.701 | 1.62 | -15.38 | -5.596 | -72.6 | -15.4 | -12.22 | -117.875 |
| D | 1.868 | 3.26 | -11.22 | -4.278 | -63.2 | -24.4 | -12.54 | -110.51 |
| E | 1.997 | -1.617 | -29.84 | -7.406 | -94 | -14.8 | -12.51 | -158.176 |
| | Oostelijk deel | | | Midden | Westelijk deel | | | |

Tabel 3.7 Volumeveranderingen van de plaatvakken(miljoen m³)

| Alternatief | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | totaal |
|-------------|---------|--------|----------------|-------|--------|----------------|------|------|---------|
| A | -0.011 | 0.1352 | 4.28 | 4.816 | 4.48 | 1.338 | 4.64 | 5.27 | 24.9482 |
| B | -0.0117 | 0.135 | 4.05 | 4.873 | 4.62 | 1.334 | 4.59 | 5.42 | 25.0103 |
| C | -0.0463 | 0.1166 | 3.78 | 3.418 | 4.16 | 1.377 | 5.09 | 5.84 | 23.7353 |
| D | -0.0528 | 0.113 | 3.64 | 2.968 | 3.81 | 1.406 | 5.47 | 6.24 | 23.5942 |
| E | -0.0647 | 0.1204 | 3.71 | 4.743 | 4.93 | 1.526 | 5.34 | 6.16 | 26.4647 |
| | | | Oostelijk deel | | Midden | Westelijk deel | | | |

De volgende conclusies zijn getrokken uit deze tabellen:

- Bij alle stortalternatieven geldt dat in de geulen langs de vaarroute een verruiming optreedt. De totale verruiming bij dezelfde hoeveelheid baggeren (A, B, C en D) is bij alternatieven A, C en D ongeveer hetzelfde. Alternatief B (minimale verstoring gebruik) blijkt iets minder efficiënt te zijn voor de verruiming.
- De verruiming treedt vooral op in het oostelijke deel en het middendeel van het estuarium. Dit geldt vooral voor de alternatieven C (minimale aantasting huidige toestand) en D (minimale verstoring op lange termijn). Bij alternatieven A en B is de verruiming in het oostelijke deel en het midden deel relatief minder maar er is dan ook minder vernauwing in het westelijke deel vergeleken met alternatieven C en D.
- Sedimentatie treedt op in de geulen in het nevengebied. De sedimentatie is het grootst bij alternatief A (efficiënt vaarwegbeheer). Bij de alternatieven C en D treedt de sedimentatie meer op in het westelijke deel vergeleken met alternatieven A en B.
- Bij alle plaatvakken treedt een groei op behalve de plaat Ballast waar een geringe erosie optreedt. De totale verandering van het platengebied is bij alle alternatieven ongeveer gelijk. Alleen bij alternatieven C en D treedt het relatief gezien meer in het westelijke deel van het estuarium vergeleken met alternatieven A en B.
- Alternatief E is een extreem geval. De ingrepen zijn groter dan bij de andere alternatieven. Er blijkt dat de verandering van de geulen in zowel het hoofdgebied als het nevengebied ook groter zijn met ongeveer dezelfde verhouding. Maar de verandering van het plaatgebied is niet veel anders dan bij de andere scenario's.
- Met betrekking tot de volumeveranderingen zijn de resultaten goed vergelijkbaar met de resultaten uit het ASMITA Estuarium-mondingsgebied model (zie hoofdstuk 2).

Het berekende sedimenttransport bij de monding naar het estuarium is weergegeven in Fig.3.5. De trend van het verloop van het transport in alle vijf scenario's komt goed overeen met de resultaten uit het ASMITA Estuarium-Modingsgebied model (Fig.2.2). Maar volgens het huidige model reageert het transport sneller met de veranderde stort strategieën. Dit kan het gevolg zijn van het feit dat in het huidig model de zeespiegelrijzing en de verandering van de getijdoordringing door verdieping niet zijn meegenomen.

3.6 Effect op waterbeweging

Per scenario zijn de initiële vakvolumes (van 1994) en de berekende vak volumes na 10 jaar gedeeld door de corresponderende vak arealen die voor 1994 beschikbaar zijn. Dit levert

voor ieder scenario per vak een gemiddelde diepte op voor 1994 en 2004. Trekken we per (geul) vak deze dieptes van elkaar af dan resulteert dit voor ieder scenario in een diepte verandering over 10 jaar.

Met behulp van Tabel 3.4, waarin de koppeling tussen ASMITA vakken en DUFLOW vakken wordt weergegeven, is er een vertaling gemaakt van de diepteverandering voor de 5 scenario's A t/m E in het ASMITA model naar het DUFLOW model. Vervolgens zijn met het DUFLOW model voor de 5 scenario's een nieuwe waterbeweging uitgerekend.

Tabellen 3.9a en 3.9b geven per DUFLOW en ASMITA vak de door ASMITA na 10 jaar berekende gemiddelde morfologische verandering en de daaruit afgeleide bodemverandering aan voor de 5 verschillende scenario's. De ontbrekende DUFLOW vakken in de tabel hebben geen bodemaanpassing gekregen (geen overlap met het ASMITA model).

Tabel 3.9a Door ASMITA berekende morfologische verandering

| DUFLOW Vak (volgens invoerfile) | ASMITA vak | Volume verandering Scenario A (m)*10 ⁶ 2004-1994 | Volume verandering Scenario B (m)*10 ⁶ 2004-1994 | Volume verandering Scenario C (m)*10 ⁶ 2004-1994 | Volume verandering Scenario D (m)*10 ⁶ 2004-1994 | Volume verandering Scenario E (m)*10 ⁶ 2004-1994 |
|---------------------------------|------------|---|---|---|---|---|
| 1 | 16 | -0.5 | -1.1 | -2.5 | -3.9 | -0.9 |
| 2 | 16 | -0.5 | -1.1 | -2.5 | -3.9 | -0.9 |
| 3 | 16 | -0.5 | -1.1 | -2.5 | -3.9 | -0.9 |
| 4 | 15 | -11.1 | -13.1 | -25.8 | -36.1 | -25.5 |
| 5 | 12 + 17 | 28.5 | 28.2 | 26.6 | 25.2 | 31.1 |
| 6 | 11 | 5.1 | 4.6 | 5.4 | 5.9 | 1.5 |
| 7 | 14 | -11.79 | -11.88 | -12.22 | -12.54 | -12.51 |
| 8 | 12 + 17 | 28.5 | 28.2 | 26.6 | 25.2 | 31.1 |
| 9 | 12 + 17 | 28.5 | 28.2 | 26.6 | 25.2 | 31.1 |
| 10 | 14 | -11.79 | -11.88 | -12.22 | -12.54 | -12.51 |
| 11 | 9 | -76.9 | -81.1 | -72.6 | -63.2 | -94.0 |
| 12 | 9 | -76.9 | -81.1 | -72.6 | -63.2 | -94.0 |
| 13 | 7 | 50.6 | 50.3 | 52.4 | 53.5 | 79.9 |
| 14 | 11 | 5.1 | 4.6 | 5.4 | 5.9 | 1.5 |
| 15 | 10 | 19 | 12.8 | 25.1 | 31.4 | 14.2 |
| 16 | 7 | 50.6 | 50.3 | 52.4 | 53.5 | 79.9 |
| 17 | 8 | -7.38 | -7.42 | -5.60 | -4.28 | -7.41 |
| 18 | 5 | 37.9 | 38.7 | 44.4 | 46.2 | 61.6 |
| 19 | 5 | 37.9 | 38.7 | 44.4 | 46.2 | 61.6 |
| 20 | 3 | 12.11 | 12.2 | 15.43 | 16.1 | 26.29 |
| 21 | 1 + 2 | 6.74 | 6.00 | 10.52 | 11.26 | 15.16 |
| 22 | 6 | -28.6 | -12.3 | -15.38 | -11.22 | -29.84 |
| 23 | 6 | -28.6 | -12.3 | -15.38 | -11.22 | -29.84 |
| 24 | 4 | -2.04 | -2.02 | 1.62 | 3.26 | -1.62 |
| 62 | 13 | 3.5 | 3.1 | -15.4 | -24.4 | -14.8 |
| 63 | 9 | -76.9 | -81.1 | -72.6 | -63.2 | -94.0 |
| 64 | 5 | 37.9 | 38.7 | 44.4 | 46.2 | 61.6 |

Tabel 3.9b Uit volume verandering berekende bodem verandering

| DUFLOW Vak | ASMITA vak | Bodem verandering Scenario A (m) 2004-1994 | Bodem verandering Scenario B (m) 2004-1994 | Bodem verandering Scenario C (m) 2004-1994 | Bodem verandering Scenario D (m) 2004-1994 | Bodem verandering Scenario E (m) 2004-1994 |
|------------|------------|--|--|--|--|--|
| 1 | 16 | -0.03 | -0.06 | -0.14 | -0.22 | -0.05 |
| 2 | 16 | -0.03 | -0.06 | -0.14 | -0.22 | -0.05 |
| 3 | 16 | -0.03 | -0.06 | -0.14 | -0.22 | -0.05 |
| 4 | 15 | -0.57 | -0.67 | -1.32 | -1.85 | -1.31 |
| 5 | 12 + 17 | 1.0 | 0.99 | 0.93 | 0.88 | 1.09 |
| 6 | 11 | 0.48 | 0.43 | 0.51 | 0.56 | 0.14 |
| 7 | 14 | -1.14 | -1.15 | -1.18 | -1.22 | -1.31 |
| 8 | 12 + 17 | 1.00 | 0.99 | 0.93 | 0.88 | 1.09 |
| 9 | 12 + 17 | 1.00 | 0.99 | 0.93 | 0.88 | 1.09 |
| 10 | 14 | -1.14 | -1.13 | -1.18 | -1.22 | -1.21 |
| 11 | 9 | -3.51 | -3.71 | -3.32 | -2.89 | -4.3 |
| 12 | 9 | -3.51 | -3.71 | -3.32 | -2.89 | -4.3 |
| 13 | 7 | 3.30 | 3.28 | 3.42 | 3.49 | 5.31 |
| 14 | 11 | 0.48 | 0.43 | 0.51 | 0.56 | 0.14 |
| 15 | 10 | 1.73 | 1.16 | 2.28 | 2.86 | 1.29 |
| 16 | 7 | 3.30 | 3.28 | 3.42 | 3.49 | 5.21 |
| 17 | 8 | -6.97 | -7.01 | -5.28 | -4.04 | -6.99 |
| 18 | 5 | 2.74 | 2.82 | 3.23 | 3.36 | 4.48 |
| 19 | 5 | 2.76 | 2.82 | 3.23 | 3.36 | 4.48 |
| 20 | 3 | 3.63 | 3.66 | 4.62 | 4.82 | 7.88 |
| 21 | 1 + 2 | 1.52 | 1.54 | 2.39 | 2.57 | 3.42 |
| 22 | 6 | -2.96 | -1.28 | -1.59 | -1.16 | -3.09 |
| 23 | 6 | -2.96 | -1.28 | -1.59 | -1.16 | -3.09 |
| 24 | 4 | -1.36 | -1.35 | 1.08 | 2.17 | -1.08 |
| 62 | 13 | 0.12 | 0.11 | -0.53 | -0.83 | -0.51 |
| 63 | 9 | -3.51 | -3.71 | -3.32 | -2.89 | -4.3 |
| 64 | 5 | 2.76 | 2.82 | 3.23 | 3.36 | 4.48 |

De bodemveranderingen zijn in DUFLOW verwerkt door de corresponderende profielen in zijn geheel met de berekende veranderingen naar boven of beneden te transleren. Het resultaat van de DUFLOW berekeningen is weergegeven in Tabellen 3.10a en 3.10b die voor de 5 scenario's de laag- en hoog waters in de stations Terneuzen, Hansweert en Bath bevatten.

Tabel 3.10a: Laag waters berekend door DUFLOW

| Laag Water (m) | DUFLOW 1992 | Scenario A | Scenario B | Scenario C | Scenario D | Scenario E |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Terneuzen | -1.998 | -1.985 | -1.984 | -1.983 | -1.985 | -1.986 |
| Hansweert | -2.182 | -2.132 | -2.122 | -2.126 | -2.137 | -2.131 |
| Bath | -2.296 | -2.295 | -2.287 | -2.309 | -2.323 | -2.323 |

Tabel 3.10b Hoog waters berekend door DUFLOW

| Hoog Water (m) | DUFLOW 1992 | Scenario A | Scenario B | Scenario C | Scenario D | Scenario E |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Terneuzen | 2.331 | 2.35 | 2.333 | 2.326 | 2.319 | 2.337 |
| Hansweert | 2.525 | 2.543 | 2.524 | 2.548 | 2.562 | 2.549 |
| Bath | 2.752 | 2.842 | 2.82 | 2.859 | 2.871 | 2.871 |

Tabel 3.10c Getijslag berekend door DUFLOW

| Getijslag (m) | DUFLOW 1992 | Scenario A | Scenario B | Scenario C | Scenario D | Scenario E |
|---------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Terneuzen | 4.329 | 4.335 | 4.317 | 4.309 | 4.304 | 4.323 |
| Hansweert | 4.707 | 4.674 | 4.646 | 4.674 | 4.699 | 4.680 |
| Bath | 5.048 | 5.137 | 5.107 | 5.168 | 5.194 | 5.194 |

Uit de Tabellen blijkt dat volgens de ASMITA berekeningen het effect van de diverse ingrepen minimaal is. In Terneuzen wordt het Laag Water slechts 0-1 cm groter t.o.v. de DUFLOW resultaten voor 1992. Onderling verschillen de Laag Waters van de scenario's nauwelijks. Het Hoog Water wordt met 1 tot 3 cm hoger, waarbij scenario A het meeste effect geeft. Van de scenario's onderling verschillen de Hoog Waters van A en D het meest (3 cm).

Voor Hansweert zijn de effecten iets groter: het Laag Water neemt t.o.v. 1992 toe met 5-6 cm. De grootste verschillen bestaan tussen scenario B en DUFLOW 1992. Onderling verschillen de scenario's nauwelijks (0-1 cm). Bij de Hoog Waters treffen we verschillen met 1992 aan van 0 - +4 cm. Van de scenario's onderling heeft B het laagste Hoog Water en D het grootste.

Voor Bath zijn de effecten het duidelijk aanwezig. De Laag Waters zijn i.h.a. kleiner dan die van 1992 (behalve voor scenario B bedragen de verschillen 0 - -3 cm). Onderling variëren de scenario's ook met zo'n 0 - 3 cm. De Hoog Waters zijn bij de scenario's duidelijk groter dan in de 1992 berekening: +7 - +12 cm. Onderling zijn de verschillen tussen scenario's A en D en A en E het grootst (orde 3 cm).

4 ESTMORF Westerschelde

4.1 Inleiding

Van de scenario's A en E zijn ESTMORF berekeningen gemaakt. Het doel van deze berekeningen is om de twee extreme scenario's onderling te vergelijken, zowel voor het effect op de morfologie als het effect op de waterbeweging. Daarom zijn deze twee meest van elkaar verschillende scenario's gekozen voor de ESTMORF berekeningen.

4.2 Opzet van de berekeningen

De schematisatie van de Westerschelde is een IMPLIC bathymetrie voor het jaar 1968. Deze bathymetrie wordt verondersteld in morfologisch evenwicht te zijn. De parameterkeuzen in het model zijn overgenomen van een afregeling van de Westerschelde over de periode 1968-1993 (Fokkink, 1996). De bagger- en stortlocaties zijn vertaald in IMPLIC vaknummers als in de onderstaande tabel. De berekeningen zijn gedraaid voor een periode van 10 jaar.

Tabel 4.1

| BAGGEREN | | STORTEN | |
|----------------------|------------|---------------------|------------|
| Lokatie | IMPLIC vak | Lokatie | IMPLIC vak |
| Drempel Bath | 115 | Schaar de Noord | 103 |
| Drempel Valkenisse | 99 | Schaar de Waarde | 76 |
| Zuidergat | 94 | Platen Ossensisse | 71 |
| Drempel Hansweert | 73 | Gat van Ossensisse | 61 |
| Overloop Hansweert | 65 | Biezelingse Ham | 57 |
| Gat van Ossensisse | 64 | Ebschaar Everingen | 47 |
| Pas van Terneuzen | 37 | Ellewoutsdijk | 44 |
| Drempel Vlissingen | 187 | Everingen | 50 |
| Drempel van Borssele | 11 | Schaar Spijkerplaat | 190 |

4.3 Resultaten

De resultaten zijn omgezet naar dezelfde 17 geul-vakken als worden gebruikt in de ASMITA berekeningen. De voorspelde volumeveranderingen na 10 jaar van deze 17 vakken zijn gegeven in de volgende twee tabellen. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de vaarroute (of de hoofdgeulen, Tabel 4.2) en de geulen in nevengebieden (Tabel 4.3).

Tabel 4.2 Volume veranderingen van de hoofdgeulen (miljoen m³)

| vak | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 11 | 12 | 15 | 16 | totaal | |
|-------------|----------------|------|------|------|--------|------|----------------|------|-------|--------|------------------|
| jaar 0 - 4 | 7.94 | 5.34 | 13.7 | 16 | -1 | 1.5 | 2.17 | 0.35 | 0.47 | 46.4 | alternatief A |
| jaar 4 - 10 | 10 | 6.69 | 21.2 | 18.7 | -3.7 | -2.7 | 1.28 | 0.04 | 0.74 | 52.3 | |
| jaar 0 - 10 | 18 | 12 | 34.9 | 34.7 | -4.7 | -1.3 | 3.45 | 0.39 | 1.21 | 98.7 | |
| jaar 0 - 4 | 11.5 | 8 | 19.8 | 24.3 | -0.4 | 2.4 | 2.91 | 0.45 | 0.58 | 69.6 | alternatief E |
| jaar 4 - 10 | 15.1 | 11.1 | 28.6 | 28.8 | -9.7 | -5.8 | 0.4 | -0.6 | -1.3 | 66.6 | |
| jaar 0 - 10 | 26.6 | 19.1 | 48.5 | 53.1 | -10 | -3.3 | 3.31 | -0.2 | -0.72 | 136 | |
| | Oostelijk deel | | | | Midden | | Westelijk deel | | | | |

Tabel 4.3 Volume veranderingen geulvakken in nevengebieden (miljoen m³)

| vak | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 13 | 14 | 17 | totaal | |
|-------------|----------------|------|------|------|------|----------------|------|------|--------|------------------|
| jaar 0 - 4 | 0.19 | 0.45 | 3.41 | 1.14 | -7.1 | -7.3 | 0.07 | 0.18 | -8.88 | alternatief A |
| jaar 4 - 10 | 0.96 | 0.97 | 6.64 | 1.31 | -7.8 | -3.3 | 0.23 | 0.09 | -0.9 | |
| jaar 0 - 10 | 1.14 | 1.42 | 10.1 | 2.45 | -15 | -11 | 0.3 | 0.26 | -9.78 | |
| jaar 0 - 4 | 0.23 | 0.56 | 4.36 | 1.48 | -6.8 | -7.1 | 0.08 | 0.19 | -6.96 | alternatief E |
| jaar 4 - 10 | 1.1 | 1.1 | 7.6 | 1.44 | -17 | -18 | 0.26 | -1.2 | -24.5 | |
| jaar 0 - 10 | 1.32 | 1.66 | 12 | 2.93 | -24 | -25 | 0.34 | -1 | -31.4 | |
| | Oostelijk deel | | | | mid. | Westelijk deel | | | | |

Het effect op de waterbeweging is bepaald door een IMPLIC berekening van zowel de initiële bathymetrie als de voorspelde bathymetrie over 10 jaar. In Fig.4.1 t/m Fig.4.3 zijn de waterstanden gegeven voor de stations Bath, Hansweert en Terneuzen.

4.4 Conclusies

waterbeweging

De bagger en stortscenario's hebben een meetbaar effect op de waterbeweging in Bath, waar de getijamplitude toeneemt. Ook vervormt de getijgolf op nagenoeg dezelfde manier in beide scenario's. Het laag water neemt af met 27 cm tot -2.41 m in scenario A en met 28 cm tot -2.42 m in scenario E. Het hoog water neemt toe met 10 cm tot +2.81 m in scenario A en met 9 cm tot +2.80 m in scenario E. Het hoog water komt 10 minuten eerder aan in Bath en het laag water komt 40 minuten eerder aan. Bij Terneuzen en Hansweert heeft de ingreep veel minder invloed op de waterbeweging. De getijgolf wordt hier enigszins vertraagd vanwege het storten tussen Vlissingen en Hansweert.

Het effect op de waterbeweging volgens het ESTMORF model blijkt groter te zijn dan het effect volgens het ASMITA/DUFLOW model (zie Hoofdstuk 3). Het is niet helemaal duidelijk waarom het zo is. Mogelijk redenen kunnen zijn het verschil tussen het IMPLIC model en het DUFLOW model en/of verschil in de berekende morfologische veranderingen volgens de twee modellen.

morfologie

In het westelijk deel zijn de ingrepen en dus ook de morfologische veranderingen relatief klein. In het oostelijk deel zijn de ingrepen groot. Het onderhouds baggeren vanaf jaar 4 geeft daar een verdere verdieping van de geul. Alle vakken geven over de periode van 10 jaar slechts één trend te zien, dat wil zeggen, in elk vak treedt ofwel verdieping ofwel verondieping op. Het initiële morfologisch evenwicht wordt niet hersteld.

Vergeleken met de ASMITA resultaten zijn de volgende punten geconstateerd (zie Hoofdstuk 3):

- Voor de meeste vakken in het hoofdgeulgebied is de overeenstemming tussen de twee berekeningen vrij goed (zie tabel 3.6 en tabel 4.2).
- In het nevengebied zijn de resultaten uit de twee modellen duidelijk anders. Volgens het ASMITA model treedt in het nevengebied vooral sedimentatie op. Volgens het ESTMORF model treedt er in het oostelijke deel verruiming op, ook in het nevengebied. Omdat de calibratie van het ESTMORF model op dit moment nog gaand is zullen de conclusies van de huidige studie verder gebaseerd worden op de resultaten van het ASMITA model.

5 Stabiliteit meergeulen systeem

5.1 Inleiding

In een natuurlijk estuarium kunnen verschillende geulen parallel naast elkaar bestaan. Een veel voorkomend systeem is het eb- en vloedgeulsysteem. In de Westerschelde bestaan er verschillende eb- en vloedgeul systemen. Menselijke ingrepen zoals baggeren en storten kan de natuurlijkheid van het estuarium beïnvloeden. Door baggeren in de ebgeul voor de scheepvaart en storten van het gebaggerde materiaal in de vloedgeul kan het meergeulen systeem meer de neiging krijgen over te gaan naar een één-geul systeem. De vraag is waar is de grens van de omvang van ingrepen ligt zo dat het meergeulen systeem zich net nog kan handhaven. Concreet voor de huidige studie is de vraag welke alternatieven tot deze overgang kunnen leiden.

Op dit moment zijn deze vragen moeilijk te beantwoorden met behulp van de bestaande morfologische modellen. De modellen zijn te grof en/of de relevante processen zijn niet in de modellen meegenomen. Daarom wordt hier een theoretische benadering met geschematiseerde situaties gekozen.

Het wel of niet kunnen behouden van een meergeulen systeem is een stabiliteits probleem, soortgelijk als het probleem bij riviersplitsingen (Wang en van der Kaaij, 1994). De stabiliteit van een splitsing van geulen en/of riviertakken is sterk afhankelijk van de verdeling van sedimenttransport over de takken. Fysisch is deze verdeling bepaald door de lokale driedimensionale stroming. In een netwerk model moet de verdeling bepaald worden met de zogenaamde splitsingspunt relatie, een relatie tussen de verhouding van de sedimenttransporten naar de twee takken en de debiet verhoudingen, en de geometrische parameters. De stabiliteit van de nevengeul-systemen langs de Rijntakken zijn geanalyseerd door Wang en van der Kaaij via numeriek bepaalde fase-diagrammen. Dezelfde methode wordt hier gebruikt om de stabiliteit van eb- en vloedgeul systemen te analyseren. Het model van Wang en van der Kaaij is uitgebreid door baggeren en storten mee te nemen. Uit een dergelijke analyse volgt een orde van grootte van de grens van de toelaatbare ingrepen om een natuurlijk tweegeulen systeem te kunnen behouden.

5.2 Principe van de stabiliteit analyse

De gebruikte methode van stabiliteit analyse is beschreven door Wang en van der Kaaij (1994). Hier is een beknopte beschrijving van de methode gegeven.

Beschouw een tweegeulen systeem en neem de gemiddelde diepten van de geulen (h_1 en h_2) als morfologische toestandsvariabelen. De volgende vergelijkingen gelden dan voor de massabalans voor sediment:

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{S_{1e} - S_{1i} - I_1}{B_1 L_1} \quad (1)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{S_{2e} - S_{2i} - I_2}{B_2 L_2}$$

Hierin S = sediment transport, index e staat voor uitgaand en i voor ingaand;
 I = ingreep (storten is positief);
 B = breedte van de geul;
 L = lengte van de geul.

Het ingaand transport bij het begin van een geul wordt bepaald via de splitsingspunt-relatie:

$$\frac{S_{1i}}{S_{2i}} = \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{1-k} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^k \quad (2)$$

en de continuïteitsvergelijking:

$$S_{i1} + S_{i2} = S_0 \quad (3)$$

Hierbij: Q = debiet, S_0 = het bovenstrooms sedimenttransport en k = constante coëfficiënt waarvan de waarde de stabiliteit van het systeem bepaald in geval er geen ingreep plaatsvindt.

Het uitgaande transport aan het eind van een geul wordt bepaald door de transportcapaciteit die afhankelijk is van de stroomsnelheid $Q/(Bh)$. De exacte vorm van deze vergelijkingen zijn afhankelijk van de gekozen transport formule.

De debiet verdeling naar de twee geulen wordt bepaald door de geometrische parameters (B en L) en de ruwheidscoëfficiënten (Chezy).

Door al deze vergelijkingen te substitueren in (1) ontstaat er een stelsel van twee vergelijkingen voor twee variabelen:

$$\frac{dh_1}{dt} = f_1(h_1, h_2) \quad (4)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = f_2(h_1, h_2)$$

De evenwichtstoestanden worden gerepresenteerd door de combinaties van h_1 en h_2 waarvoor geldt dat $f_1=f_2=0$. De stabiliteit van een evenwichtspunt wordt bepaald door het teken van de eigenwaarden van de Jacobiaan matrix. Omdat het analytisch bepalen van de evenwichtstoestanden en de bijbehorende stabiliteitsanalyse voor algemene gevallen erg ingewikkeld wordt, wordt de methode van het numerieke fase-diagram als volgt toegepast. In het relevante domein op het h_1 - h_2 vlak worden de waarden van de twee functies in (4) numeriek bepaald. Vervolgens worden de isolijnen $f_1=0$ en $f_2=0$ bepaald met behulp van de tekenpakket TEKAL van WL. De kruispunten van de twee lijnen zijn per definitie de evenwichtspunten. De richting van de vector (f_1, f_2) wordt grafisch weergegeven met behulp

van hetzelfde tekenpakket. Zo is het meteen duidelijk te zien of een evenwichtstoestand stabiel is (zie bijvoorbeeld Fig.5.1).

Bij de methode zoals hierboven beschreven is in eerste instantie uitgegaan van de quasi-stationaire stroming bij rivieren. Voor getijstromingen in een estuarium geldt hetzelfde stabiliteits criterium voor de splitsingspunten (zie bijv. van Kerckhoven, 1996). De heen en weer gaande getijstroming kan geschematiseerd worden tot een quasi-stationaire stroming. Voor het bovenstrooms transport moet dan het totale transport (ebtransport + vloedtransport) worden gebruikt.

5.3 Een symmetrisch geval

De methode kan alleen werken met geschematiseerde gevallen omdat alleen één variabele voor de morfologische toestand wordt gebruikt. Eerst wordt een symmetrisch geval beschouwd. Dit betekent dat de eigenschappen (breedte, lengte, ruwheid, etc.) van de twee parallelle geulen identiek zijn als er geen ingreep is. Er zijn minstens drie mogelijke evenwichtstoestanden voor zo een systeem: alleen geul 1 is open, alleen geul 2 is open en beide geulen zijn open met gelijke diepten. In deze studie zijn wij in het bijzonder geïnteresseerd in de toestand met beide geulen open. Uit de eerdere studies is bekend of de stabiliteit van de evenwichtstoestand met beide geulen open, in de situatie zonder ingreep, afhangt van de waarde van k in de splitsingspunt relatie in verhouding met de macht van snelheid in de sediment transport formule. Deze macht is bijvoorbeeld 5 in het geval van de sediment transport formule van Englund-Hansen. Dan is de kritische waarde van k voor de stabiliteit van het tweegeulen systeem $5/3$. Voor hogere waarde van k is het systeem stabiel en voor lagere waarde instabiel. Hier worden alleen systemen die van nature (zonder ingreep) stabiel zijn beschouwd. Daarom worden alleen hogere k waarden gebruikt in de analyse. De resultaten van de analyse naar de invloed van ingrepen zijn wel gevoelig voor de waarde van k zoals later zal blijken.

Analytisch is aan te tonen dat voor een symmetrisch geval de absolute waarde van de breedte, de lengte en de Chezy coëfficiënten geen invloed hebben op de stabiliteit van het systeem. Dit is numeriek ook geverifieerd. Voor de analyse zijn verder de volgende waarden gebruikt voor de parameters:

- Breedte van de geulen $B_1 = B_2 = 750$ m
- Lengte van de geulen $L_1 = L_2 = 10000$ m
- Chezy coëfficiënt $C_1 = C_2 = 50$ m^{1/2}/s
- Korrelgrootte van sediment $D_{50} = 220$ μ m, $D_{90} = 300$ μ m (Allersma, 1992)
- Splitsingspunt relatie $k=2$.
- Bovenstroomsafvoer $Q_0 = 22500$ m³/s

Het bovenstrooms sediment transport is afhankelijk van de toegepaste transport formule en is zodanig berekend dat bij de evenwichtstoestand met beide geulen open de stroomsnelheid ongeveer 1 m/s is.

In Fig.5.1 en Fig.5.2 zijn de numerieke fase diagrammen getekend voor de ongestoorde situatie. In Fig.5.1 is de transport formule van Englund-Hansen (EH) gebruikt en in Fig.5.2 de formule van Meyer-Peter-Muller (MPM). Beide figuren laten zien dat in de ongestoorde situatie het tweegeulen systeem stabiel is.

Het is bekend dat de formule van EH beter geschikt voor de Westerschelde dan de Formule van MPM. Maar er is een essentieel verschil tussen de twee formules: in MPM is er een kritische waarde van snelheid waaronder geen transport optreedt en in EH is zo een drempel niet aanwezig. In de eerdere studies is gebleken dat deze drempel waarde van belang kan zijn voor de stabiliteit van het systeem. Dat de formule van EH beter van toepassing is betekent niet dat in werkelijkheid deze drempel er niet is. Daarom is de gevoeligheid van de keuze van de transport formule onderzocht in de huidige studie.

Fig.5.3 en Fig.5.4 laten de invloed van baggeren zien. In beide figuren is er verondersteld dat in geul 1 constant gebaggerd is met een omvang van 50% procent van het totale transport door het systeem. Door de ingrepen dimensieloos te maken met het totale transport is de absolute grootte van het totale transport voorlopig niet meer van belang in de analyse. Later bij het vergelijken tussen de ingrepen en dit transport zullen de gemeten waarden worden gebruikt. De twee figuren laten zien dat onafhankelijk van de keuze van de transport formule de stabiliteit van het systeem niet erg gevoelig is voor het baggeren. Zelfs met een vrij grote omvang van baggeren blijft het tweegeulen systeem stabiel. Alleen de evenwichtstoestand is sterk verschoven t.o.v. de ongestoorde situatie. De evenwichtsdiepte van de gebaggerde geul wordt veel groter en die van de andere geul wordt veel kleiner.

Fig.5.5 t/m Fig.5.8 laten de invloed van storten zien. In Fig.5.5 en Fig.5.6 is de transport formule van EH gebruikt. In Fig.5.5 is te zien dat het systeem stabiel blijft bij storten van 5% van het totale transport (in geul 1). Bij storten van 10% van het totale transport is het systeem niet meer stabiel en de geul waarin het storten plaatsvindt zal dicht gaan. De kritische stortomvang is dus tussen de 5% en 10% van het totale transport door het systeem. In Fig.5.7 en Fig.5.8 is dezelfde analyse gedaan maar dan met de transport formule van MPM. Ook hier blijkt dat er een kritische waarde is van de stortomvang waarboven het systeem niet meer stabiel is. Maar de kritische waarde is nu hoger, nl. tussen de 10% en 30% van het totale transport door het systeem. Het storten blijkt meer invloed voor de stabiliteit van het systeem te hebben dan het baggeren. De kritische omvang van het storten is bovendien gevoelig voor de keuze van de transport formule.

In Fig.5.9 is de invloed van een combinatie van 10% storten in geul 1 en 10% baggeren in geul 2 bekeken. Ook hier blijkt dat de invloed van storten dominant is t.o.v. die van het baggeren. Dezelfde analyse met de parameters zoals in de Nederlandse Rijntakken gelden (vooral het sediment is veel grover) laat zien dat het baggeren en storten ongeveer hetzelfde effect heeft. Blijkbaar heeft de korrelgrootte van het sediment ook een belangrijke invloed. De gebruikte waarden voor de korreldiameters komen van Allersma (1992).

5.4 Een referentiegeval

Dezelfde analyse is nog een keer herhaald voor een geschematiseerd geval met de Pas van Terneuzen - Everingen als referentie. De gebruikte waarden van de parameters zijn overgenomen van Van Kerckhoven (1995).

- Breedte van de geulen $B_1 = 1000$ m (Pas van Terneuzen) $B_2 = 1500$ m (Everingen)
- Lengte van de geulen $L_1 = L_2 = 10000$ m
- Chezy coëfficiënt $C_1 = C_2 = 50$ m^{1/2}/s
- Korrelgrootte van sediment $D_{50} = 220$ μ m, $D_{90} = 300$ μ m (Allersma, 1992)
- Splittingspunt relatie $k=2$.
- Bovenstroomsafvoer $Q_0 = 55000$ m³/s

De twee geulen zijn nu niet meer identiek. Dit blijkt ook uit Fig.5.10. Bij de evenwichtstoestand zonder ingreep is geul 1 dieper dan geul 2, in overeenstemming met de praktijk. De bodem van Pas van Terneuzen ligt op ongeveer -35 m NAP en die van Everingen ligt op ongeveer -25 m NAP (van Kerckhoven, 1995). De scheefheid van het systeem blijkt wel afhankelijk te zijn van de keuze van de transport formule (zie Fig.5.10 en Fig.5.11). Ook hier is uitgegaan van een stabiel systeem bij een ongestoorde situatie.

Ook voor dit geval blijkt dat het baggeren weinig invloed heeft op de stabiliteit van het systeem (Fig.5.12). Het baggeren van 50% van het totale transport in geul 1 maakt het systeem veel schever maar het tweegeulen systeem blijft nog wel stabiel.

Met de transport formule van EH blijkt dat de kritische waarde van de stortomvang in geul 2 nu onder de 5% van het totale transport is (Fig.5.13). Als de transport formule van MPM wordt gebruikt dan is deze kritische waarde boven de 10% (Fig.5.15).

Behalve de keuze van de transport formule is de kritische waarde van de stortomvang ook gevoelig voor de waarde van k . Met $k=4$ is de kritische waarde boven de 5% ook als de transport formule van EH wordt gebruikt. Zowel de waarde van k als de keuze van de transport formule zeggen in feite iets over hoe stabiel het ongestoorde systeem is. Bij de transport formule van MPM is in feite de macht van de snelheid lager en de k waarde dus relatief groter. De verhouding tussen deze twee parameters bepalen hoe stabiel het systeem is bij ongestoorde situatie. Op dit moment kan er geen nauwkeurige uitspraak gedaan worden over de waarde van deze verhouding. Wel is bekend dat een eb-vloed geulen systeem van nature in hoge mate stabiel is. Daarom is de kritische waarde van stortomvang geschat op ongeveer 10% van het totale transport door het systeem, op basis van de resultaten uit alle beschouwde gevallen.

5.5 Vergelijking tussen de alternatieven

Samengevat zijn de volgende conclusies getrokken uit de theoretische analyse:

- Het baggeren met een omvang zoals in de Westerschelde voorkomt heeft weinig invloed op de stabiliteit van meergeulen systeem in het estuarium.
- De kritische waarde van de omvang van het storten in een van de geulen is ongeveer 10% van het totale transport door het systeem, i.e. eb-transport + vloed-transport. Opgemerkt wordt dat alleen scheef storten van belang is. Storten met dezelfde omvang in beide geulen kan geen invloed hebben op de stabiliteit van het systeem.

Om een oordeel te kunnen geven over de verschillende alternatieven van het storten moet er eerst gekeken worden naar de orde van grootte van het totale transport in het estuarium zoals in het voorgaande steeds genoemd is. Voor 11 raaien in het estuarium (Fig.5.16) heeft Storm (1996) een samenvatting gemaakt van het totale transport per getij uit verschillende referenties. Op basis van deze gegevens zijn de totale jaar transporten door de raaien geschat en samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Het totale jaar transport door de raaien weergegeven in Fig.5.16.

| Raai | Totaal transport (miljoen m ³ /jaar) |
|------|---|
| 1 | 3 |
| 2 | 6 |
| 3 | 9 - 12 |
| 5 | 26 - 51 |
| 6 | 24 |
| 7 | 75 |
| 9 | 30 |
| 10 | 24 |
| 11 | 15 |

De spreiding van de waarden uit de verschillende bronnen en de soms onbegrijpelijke verschillen tussen de verschillende raaien laten zien dat de cijfers in deze tabel niet meer dan als een orde van grootte mogen worden beschouwd.

Aan de hand van de geulschematisaties van Huijs (1995, zie Fig 3.1) zijn 7 meergeulen systemen geïdentificeerd. Deze systemen samen met de bijbehorende baggerinvloed (verschil tussen baggercijfers in de parallelle geulen) volgens de 5 alternatieven zijn weergegeven in Tabel 5.2. Het baggeren wordt niet in beschouwing genomen omdat het relatief weinig invloed heeft volgens de theoretische analyse.

Tabel 5.2 Baggerinvloeden op de stabiliteit van meergeulen systemen(10⁶ m³/jaar)

| geulen systeem | alternatief A | | alternatief B | | alternatief C | | alternatief D | | alternatief E | |
|----------------|-----------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | 1-4 | 5 - .. | 1-4 | 5 - .. | 1-4 | 5 - .. | 1-4 | 5 - .. | 1-4 | 5 - .. |
| 14,15,16 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3.2 | 2 | 6 | 6 | 2 |
| 12, 13 | 9 | 1.5 | 7 | 2 | 9 | 6.3 | 12 | 8 | 12 | 4 |
| 9, 10 | 4.2 | 2 | 4.2 | 3 | 2.2 | 1.7 | 0 | 0 | 4.2 | 6 |
| 7, 8 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 5, 6 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 3, 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1, 2 | geen stort activiteit | | | | | | | | | |

Tabel 5.3 Identificatie mogelijke problemen m.b.t. stabiliteit meergeulen systemen

| Geulen systeem | Schatting totaal transport (10 ⁶ m ³ /j) | Oordeel alternatief | | | | |
|----------------|--|---------------------|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E |
| 14, 15, 16 | 50 (24) | | | | X | |
| 12, 13 | 60 (75) | | | X | X | X |
| 9, 10 | 50 (24) | | | | | X |
| 7, 8 | 40 () | | | | | |
| 5, 6 | 40 (26-51) | | | | | |
| 3, 4 | 6 (6) | X | X | | | X |

De baggerinvloeden zijn vergeleken met de totale transportcapaciteiten van de systemen in Tabel 5.3. Bij het schatten van de transport capaciteiten is gebruik gemaakt van Tabel 5.1 (cijfers tussen de haakjes), maar de cijfers zijn hier en daar aangepast met de motivatie dat de capaciteit van naast elkaar liggende raaien niet te veel van elkaar kunnen verschillen en dat in het algemeen de capaciteit toeneemt van bovenstrooms naar de monding. Als de invloed van een bepaalde alternatief op een bepaald systeem boven de 10% van de transport

capaciteit komt wordt het met een kruis in Tabel 5.3 aangegeven. Bij deze beoordeling rekent de periode na de verdieping zwaarder mee dan de verdiepingsperiode. Als alleen overtreding van de kritische waarde optreedt bij de verdiepingsperiode wordt het niet als een probleem aangeduid omdat de morfologische tijdschaal van de geulen systemen veel groter zijn dan 4 jaar.

Uit Tabel 5.3 blijkt dat het systeem gevormd door geulen 3 en 4 (Nauw van Bath / Schaar van de Noord) kritiek wordt bij alternatieven A en B. Het systeem gevormd door geulen 12 en 13 kritiek wordt bij alternatieven C en D. Bij alternatief E (extreem scenario) zijn beide systemen kritiek. Verder bij alternatief D is ook een mogelijk probleem geconstateerd bij het systeem dicht bij de monding (gevormd door geulen 14, 15 en 16: Vaarwater langs Hoofdplaat / Schaar van de Spijkerplaat / Honte).

6 Conclusies

De effecten van vijf verschillende bagger/stort scenario's in de Westerschelde zijn geanalyseerd voor een termijn van 10 jaar. Hierbij gaat het expliciet om

- veranderingen in de getijdoordringing ten aanzien van de getijslag en de extreme waterstanden,
- verandering van de geuldimensies (dwarsdoorsnedes) door de ingrepen en de morfologische veranderingen,
- verandering in de natuurlijkheid van het estuarium, waarbij met name gekeken wordt naar de dynamica en het meergeulstelsel.

Om deze vragen te beantwoorden zijn verschillende modellen / methoden toegepast. De belangrijkste bevindingen zijn samengevat als volgt.

Ten aanzien van morfologische veranderingen

De morfologische veranderingen van het estuarium onder invloed van baggeren en storten zijn bestudeerd aan de hand van drie morfologische modellen. De grootschalige veranderingen zijn bestudeerd met het bestaande ASMITA model voor het estuarium en het mondingsgebied. De volgende conclusies zijn getrokken:

- Alternatieven A (efficiënt vaarwegbeheer) en B (minimale verstoring gebruik) veroorzaken relatief weinig verandering van de volumes van de drie gedeelten (Oost, Midden en West).
- Alternatieven C (minimale aantasting huidige toestand), D (minimale verstoring op de lange termijn van het estuarium systeem) en E (versterkt baggerwerk voor volgende verdieping) veroorzaken duidelijk een verruiming van het oostelijke deel en een vernauwing in het westelijke deel. Vooral alternatief D veroorzaakt een grote verandering in het westelijke deel.
- Alternatieven C en D veroorzaken ook een verruiming van het midden gedeelte van het estuarium.
- In alle alternatieven is de sediment import bij de monding op den duur afgenomen. De afname bij alternatieven A en B zijn heel klein. Bij de alternatieven C, D en E slaat het op den duur om van import naar export. De maximale afname van de import treedt op bij alternatief D.
- Bij alle alternatieven neemt het transport van het westelijke deel naar het midden van het estuarium toe in de verdiepingsperiode. Daarna neemt het af bij alternatief A en B terwijl het toeneemt bij alternatieven C, D en E. Ook hier zijn de toenamen het grootste bij alternatief D.
- Het transport van het midden naar het oostelijke deel neemt toe bij alle alternatieven. De toename is maximaal bij alternatieven B en E en minimaal bij alternatieven A en D.

Een meer gedetailleerd ASMITA model voor het estuarium is opgezet in de huidige studie om de veranderingen op geul-plaat niveau te kunnen simuleren. Uit de resultaten van dit model zijn de volgende conclusies getrokken:

- Bij alle stortalternatieven geldt dat in de geulen langs de vaarroute een verruiming optreedt. De totale verruiming bij dezelfde hoeveelheid baggeren (A, B, C en D) is bij alternatieven A, C en D ongeveer hetzelfde. Alternatief B (minimale verstoring gebruik) blijkt iets minder efficiënt te zijn voor de verruiming.
- De verruiming treedt vooral op in het oostelijke deel en het middendeel van het estuarium. Dit geldt vooral voor de alternatieven C (minimale aantasting huidige toestand) en D (minimale verstoring op lange termijn). Bij alternatieven A en B is de verruiming in het oostelijke deel en het midden deel relatief minder maar er is dan ook minder vernauwing in het westelijke deel vergeleken met alternatieven C en D.
- Sedimentatie treedt op in de geulen in het nevengebied. De sedimentatie is het grootst bij alternatief A (efficiënt vaarwegbeheer). Bij de alternatieven C en D treedt de sedimentatie meer in het westelijke deel op vergeleken met alternatieven A en B.
- Bij alle plaatvakken treedt een groei op behalve de plaat Ballast waar een geringe erosie optreedt. De totale verandering van het platengebied is bij alle alternatieven ongeveer gelijk. Alleen bij alternatieven C en D treedt het relatief gezien meer in het westelijke deel van het estuarium op vergeleken met alternatieven A en B.
- Alternatief E is een extreem geval. De ingrepen zijn groter dan bij de andere alternatieven. Er blijkt dat de verandering van de geulen in zowel het hoofdgebied als het nevengebied ook groter zijn met ongeveer dezelfde verhouding. Maar de verandering van het plaatgebied is niet veel anders dan bij de andere scenario's.
- Met betrekking tot de volumeveranderingen zijn de resultaten goed vergelijkbaar met de resultaten uit het ASMITA Estuarium-mondingsgebied model (zie hoofdstuk 2).
- De trend van het verloop van het transport bij alle vijf scenario's komt goed overeen met de resultaten uit het ASMITA Estuarium-mondingsgebied model. Maar volgens het huidige model reageert het transport sneller met de veranderde stort strategieën. De overgang van import naar export t.g.v. het brengen van gebaggerde species naar het westen treedt eerder op volgen het huidige model.

Voor twee van de vijf alternatieven zijn er ook berekeningen uitgevoerd met het ESTMORF Westerschelde model. De berekende veranderingen langs de vaarroute blijkt vrij goed overeen te komen met de ASMITA-resultaten. De berekende veranderingen in het nevengebied komt minder goed overeen met de ASMITA-resultaten. De kalibratie van het ESTMORF model is nu nog gaande. Daarom zijn er geen berekeningen voor de andere alternatieven met het ESTMORF model uitgevoerd.

Ten aanzien van getijdoordringing

De berekende morfologische veranderingen uit het ASMITA geul-plaat model zijn verwerkt in het DUFLOW model om de effecten op de waterbeweging te bepalen. De volgende conclusies zijn getrokken:

- Het effect van de diverse ingrepen op de waterstand in Terneuzen is minimaal. Het Laag Water wordt slechts 0-1 cm hoger t.o.v. de DUFLOW resultaten voor 1992. Onderling verschillen de Laag Waters van de scenario's nauwelijks. Het Hoog Water wordt met 1 tot 3 cm hoger, waarbij scenario A het meeste effect geeft. Van de scenario's onderling verschillen de Hoog Waters van A en D het meest (3 cm).

- Voor Hansweert zijn de effecten iets groter: het Laag Water neemt t.o.v. 1992 toe met 5-6 cm. De grootste verschillen bestaan tussen scenario B en DUFLOW 1992. Onderling verschillen de scenario's nauwelijks (0-1 cm). Bij de Hoog Waters treffen we verschillen met 1992 aan van 0 - +4 cm. Van de scenario's onderling heeft B het laagste Hoog Water en D het hoogste.
- Voor Bath zijn de effecten het duidelijkst aanwezig. De Laag Waters zijn i.h.a. kleiner dan die van 1992 (behalve voor scenario B bedragen de verschillen 0 - -3 cm). Onderling variëren de scenario's ook met zo'n 0 - 3 cm. De Hoog Waters zijn bij de scenario's duidelijk groter dan in de 1992 berekening: +7 - +12 cm. Onderling zijn de verschillen tussen scenario's A en D en A en E het grootst (orde 3 cm).

Voor de scenario's A en E is het effect op de waterbeweging ook gesimuleerd met het IMPLIC model in combinatie met de morfologische simulaties met ESTMORF. De meeste conclusies uit de resultaten komen overeen met resultaten uit de combinatie ASMITA-DUFLOW. Het enige verschil is dat ESTMORF-IMPLIC een grotere getijslag toename (vooral lager laagwater) bij Bath voorspelt t.g.v. de ingrepen.

Ten aanzien van natuurlijkheid van het estuarium

De natuurlijkheid van het estuarium is uitgedrukt in het behouden van een meergeulen systeem in het estuarium. De invloed van het baggeren en storten op het meergeulen systeem is bestudeerd met behulp van een stabiliteitsanalyse.

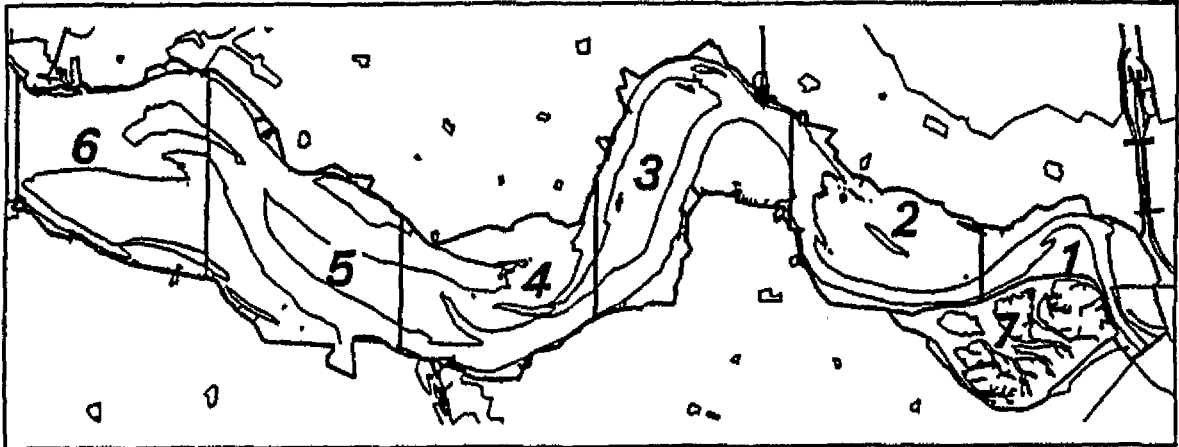
- Het baggeren met de omvang zoals in de Westerschelde voorkomt heeft weinig invloed op de stabiliteit van een meergeulen systeem in het estuarium.
- De kritische waarde van de omvang van het storten in een van de geulen is ongeveer 10% van het totale transport door het systeem, i.e. eb-transport + vloed-transport.
- Het systeem gevormd door geulen 3 en 4 (Nauw van Bath / Schaar van de Noord), bij Bath in het oostelijke deel van het estuarium wordt kritiek bij alternatieven A en B.
- Het systeem gevormd door geulen 12 en 13 (Pas van Terneuzen-Everingen) wordt kritiek bij alternatieven C en D.
- Bij alternatief E (extreem scenario) zijn beide systemen kritiek. Verder bij alternatief D is ook een mogelijk probleem geconstateerd bij het systeem dicht bij de monding (gevormd door geulen 14, 15 en 16: Vaarwater langs Hoofdplaat / Schaar van de Spijkerplaat / Honte).

Opmerkingen:

- De bovengrens voor het storten t.o.v. het totale transport hangt af van hoe stabiel het ongestoorde systeem is. De geschatte 10% grens is gebaseerd op het huidige inzicht in het systeem.
- Het totale transport door het estuarium op verschillende locaties is ook niet nauwkeurig bekend. Daarom moeten de geconstateerde overschrijdingen van de 10% grens beschouwd worden als indicaties van mogelijke problemen.
- Dat er mogelijk een probleem is met de stabiliteit van een bepaald meergeulen systeem betekent niet dat het meergeulen systeem meteen verdwijnt. Het dichtslibben van een bepaalde geul is een lange termijn proces dat meestal veel meer dan 10 jaar duurt.

A Literatuur

- Allersma, E., 1992, Studie inrichting oostelijk deel Westerschelde, Analyse van het Fysische systeem, Nota voor de werkgroep OOSTWEST, Rapport Z368, Waterloopkundig Laboratorium.
- Bollebakker, P., 1992, DUFLOW modellen van de Westerschelde voor 1960 en 1992, Notitie RIKZ/AB-96.846x, RIKZ, Rijkswaterstaat.
- Bogaard, L.A. Uit den, Resultaten Zandbalans Westerschelde, Rapport R 95-08, IMAU.
- Huijs, S.W.E., 1996, De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke ingrepen, Rapport R96-17, IMAU.
- Kerckhoven J.D.M. van, 1995, Morphological modelling of ebb and flood channel systems in estuaries, Afstudeerrapport, Faculteit van Civiele Techniek, TU Delft.
- Rijkswaterstaat, 1996, Baggerspeciëstort Westerschelde, Startnotitie voor het MER.
- Storm, C., 1996, Residuele zandtransporten in de Westerschelde, RIKZ Werkdocument OS-96.837X, RIKZ, Rijkswaterstaat.
- Wang, Z.B.en Th. van der Kaaij, 1994, Morphodynamic development of secondary channels systems along Rhine Branches in The Netherlands, Rapport Q1963, Waterloopkundig Laboratorium.
- Wang, Z.B., 1997, Morfologische interactie Westerschelde estuarium en het mondingsgebied, ASMITA-Westerschelde, Een gedragsgeoriënteerde modellering, Rapport Z2253, Waterloopkundig Laboratorium.



Vakindeling in het estuarium
[Uit den Boogaard, 1995]

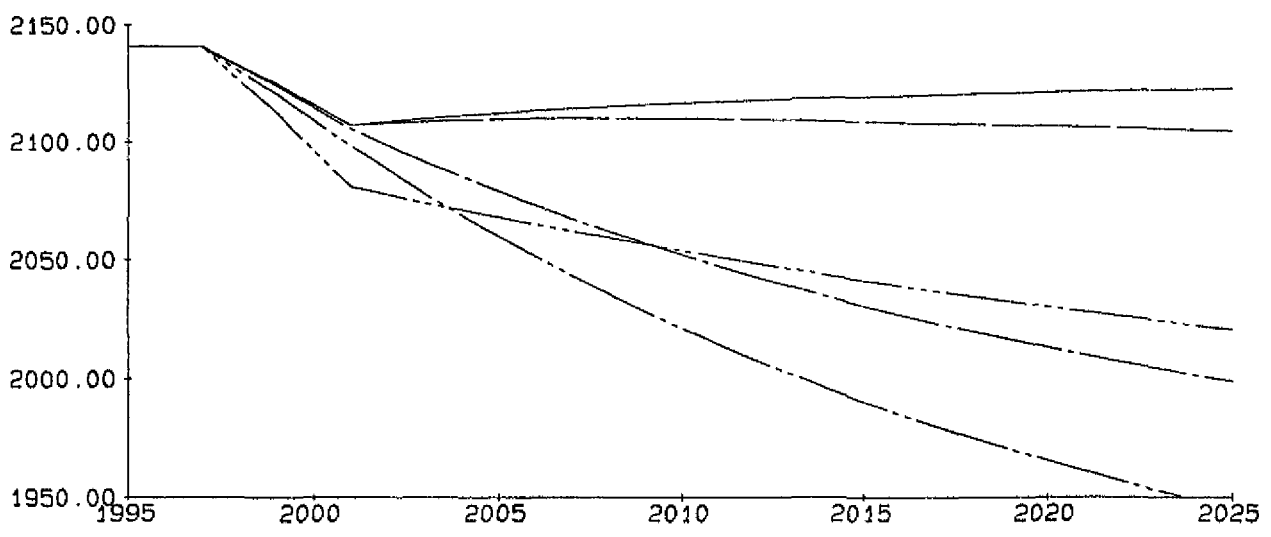
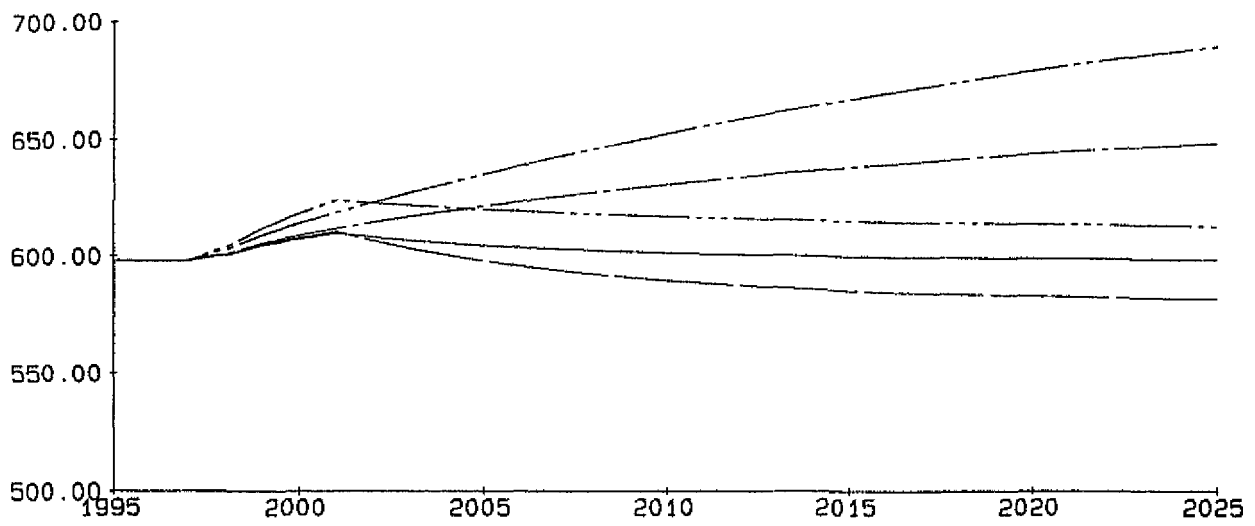
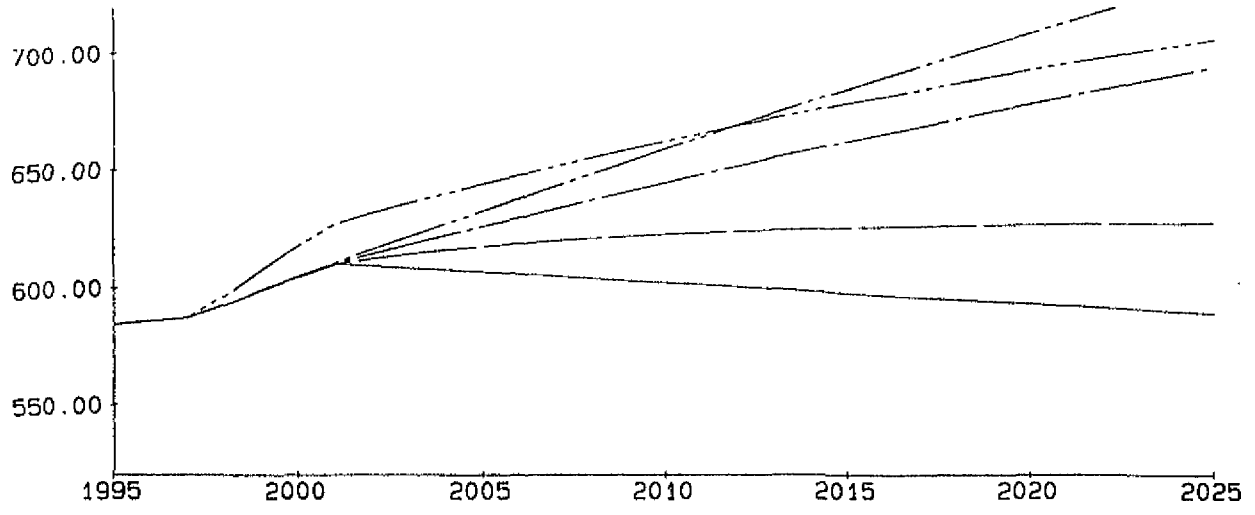
ASMITA

Juli
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.2.1



— run sco — run scb — run scf
 - - - run scd - - - run sce

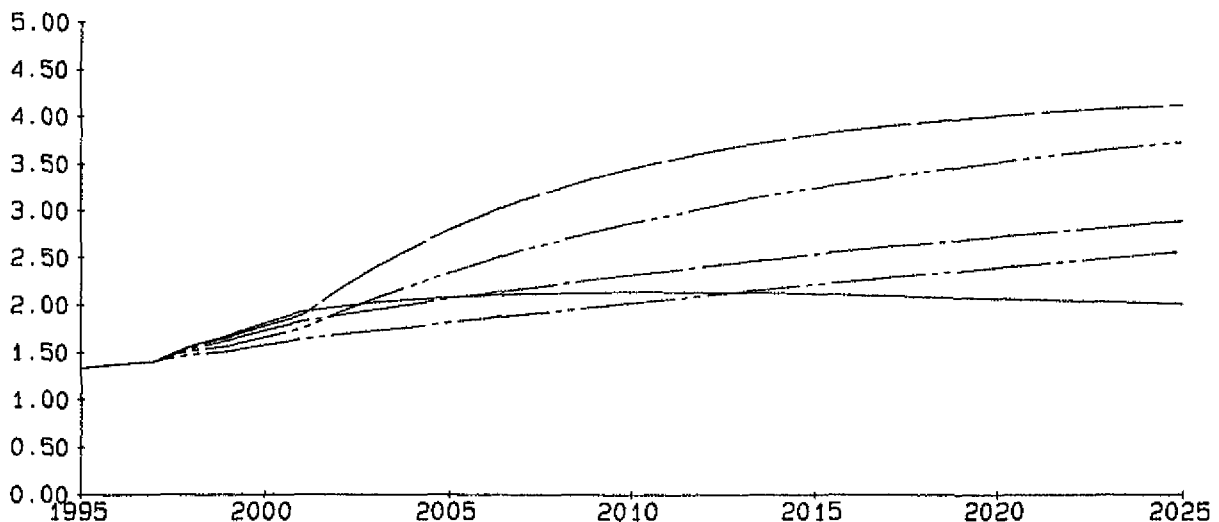
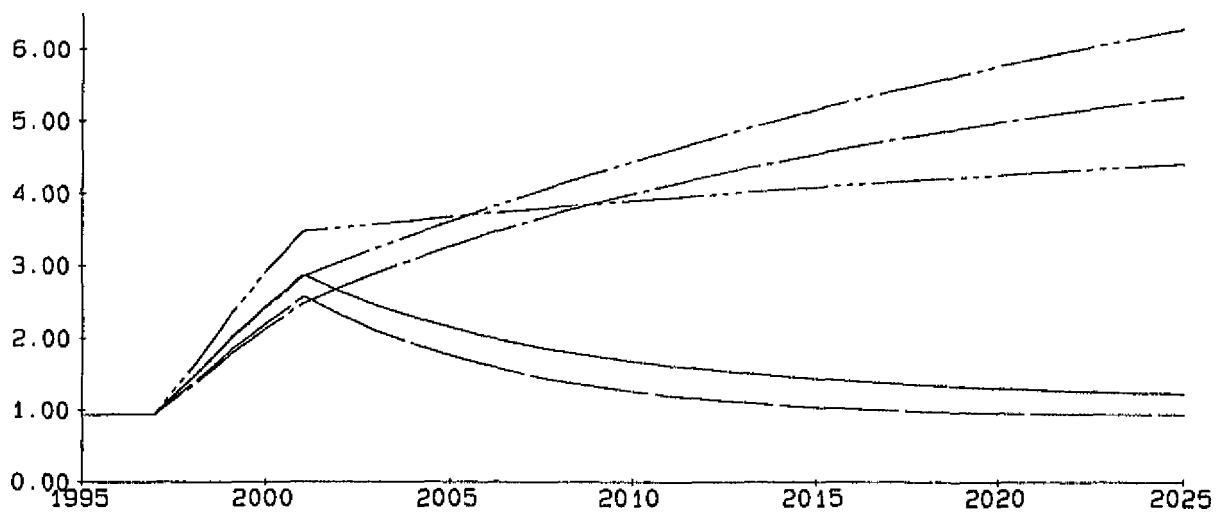
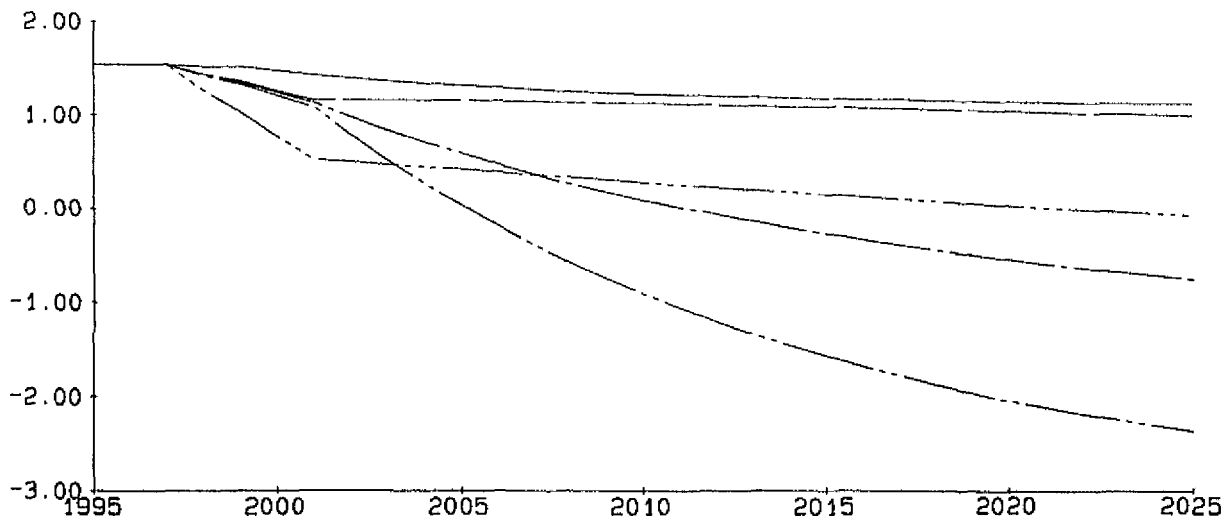
Natte volume in miljoen kub.
 boven: oost, midden: midden, onder: west
 ASMITA-model Westerschelde estuarium & monding

ASMITA Mei 1997

Westerschelde

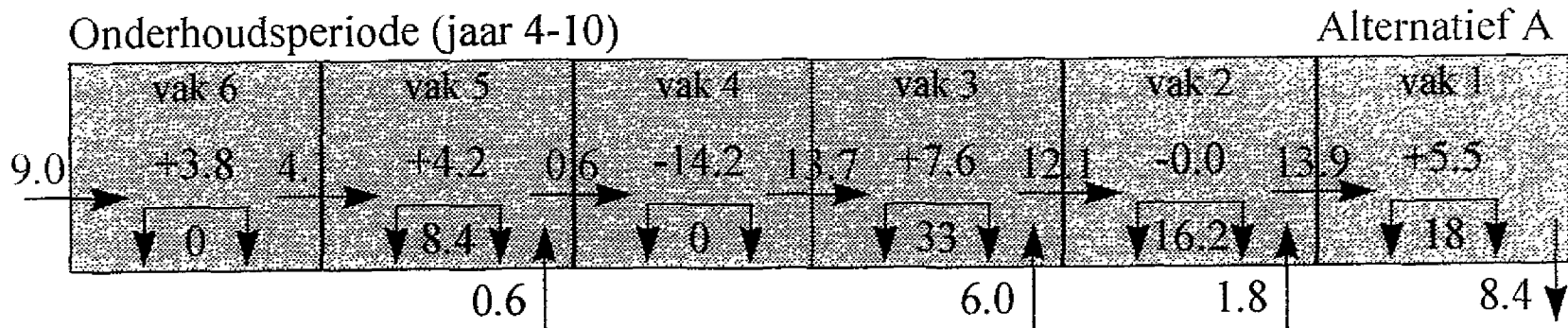
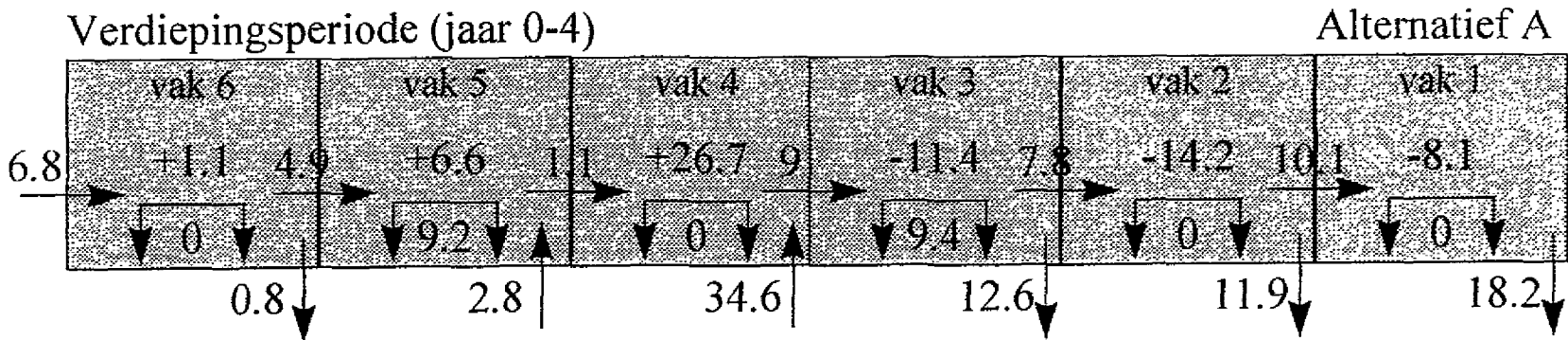
DELFT HYDRAULICS

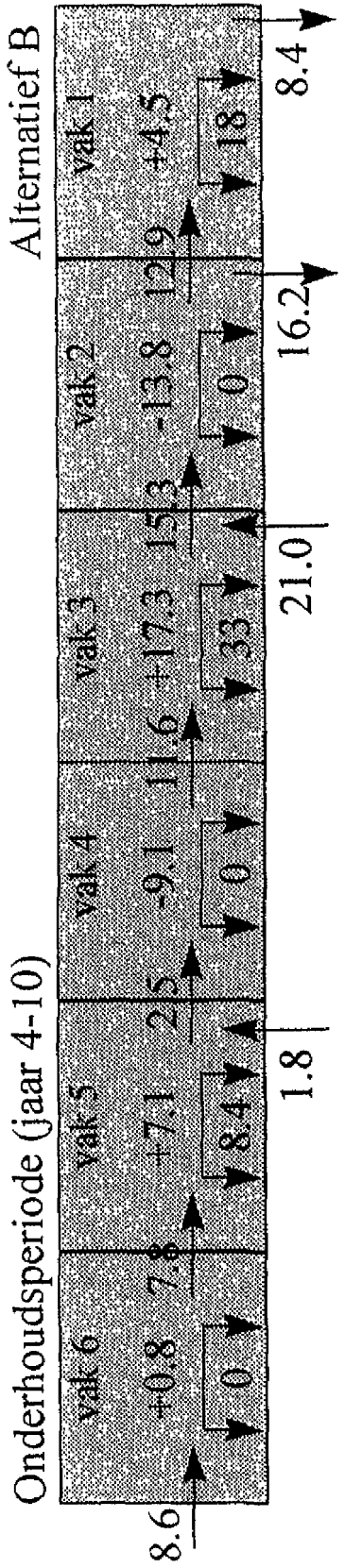
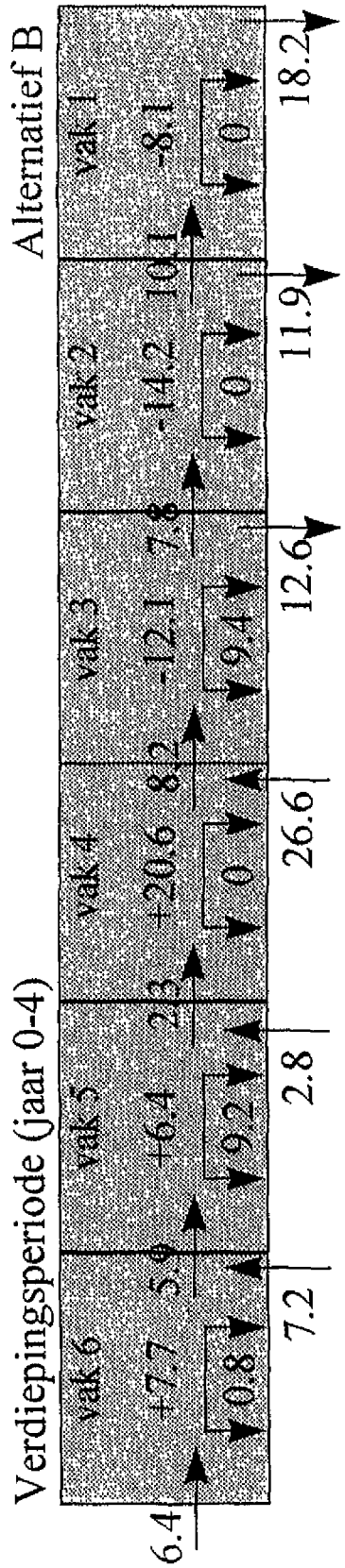
Z 2310 Fig.2.2



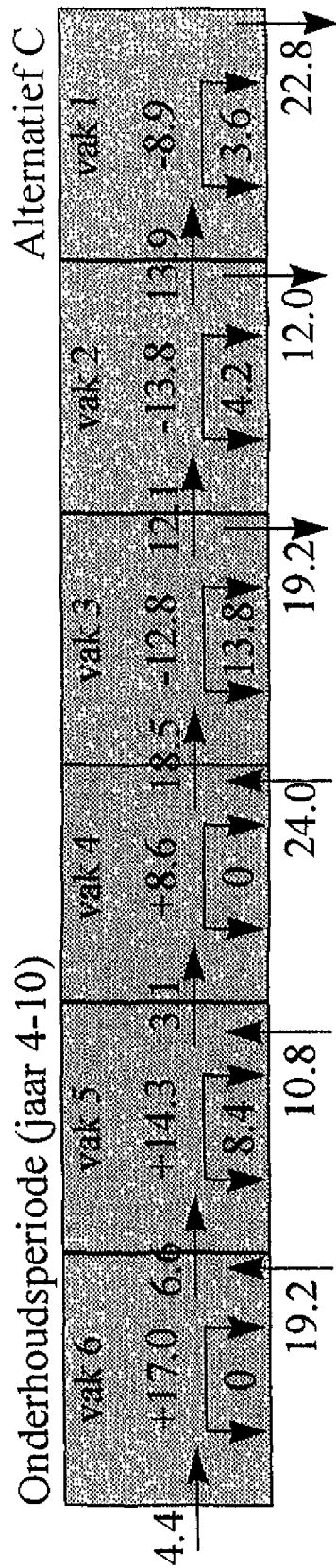
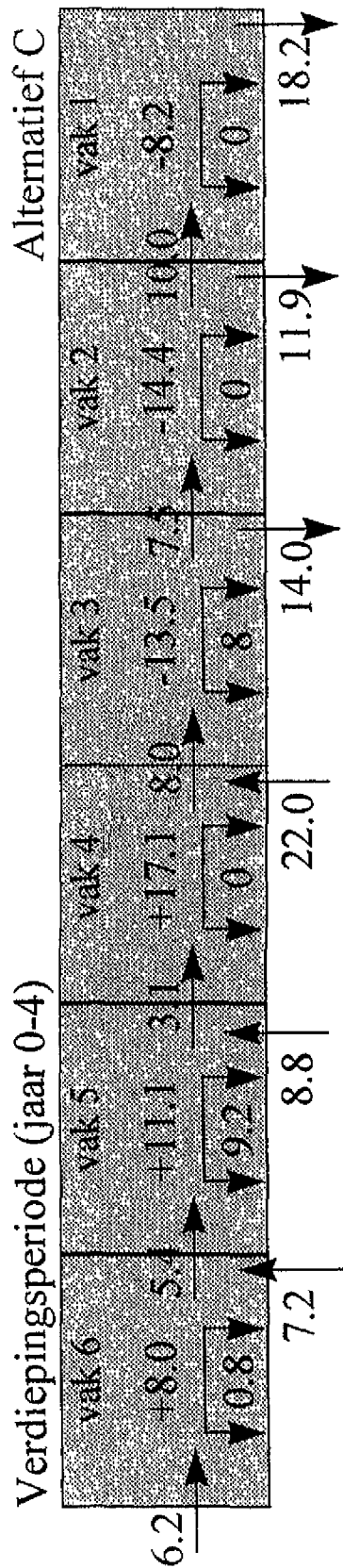
— run sca — run scb — run scd
 - - - run scd - - - run sce

| | | |
|---|---------------|-------------|
| Sediment transport in miljoen kub. per jaar boven: van monding naar west, midden: van west naar midden onder van midden naar oost | ASMITA | Mei 1997 |
| | Westerschelde | |
| DELFT HYDRAULICS | Z 2310 | Fig.2.3 |



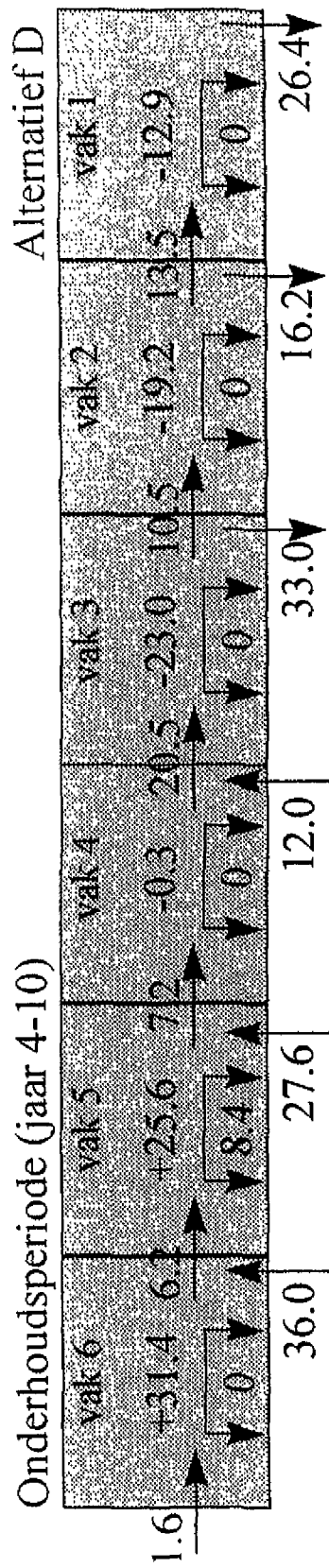
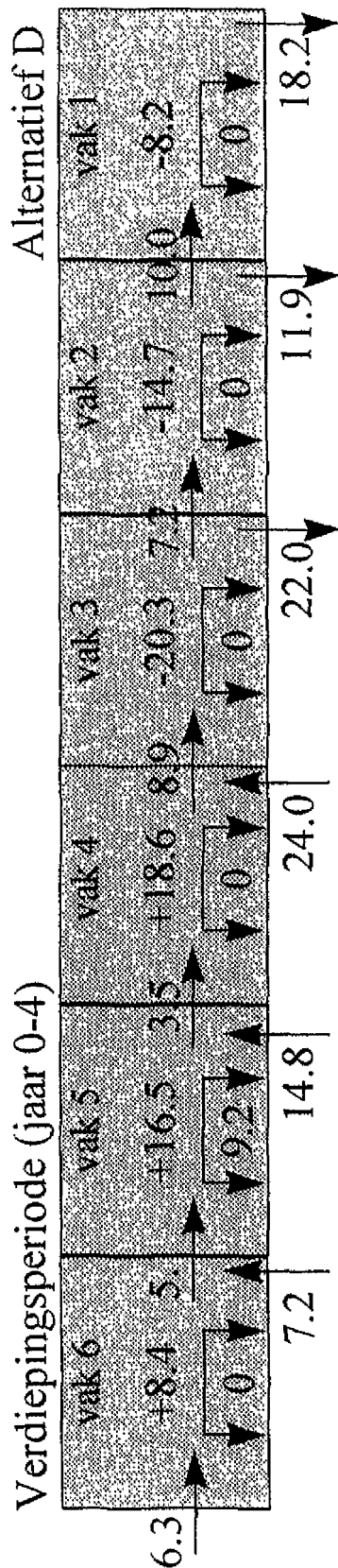


| | | |
|---|---------------|-------------|
| Berekende Zandbalans Stort alternatief B: minimale verstoring gebruik ASMITA model Estuarium+Mondingsgebied | ASMITA | Mai 1997 |
| | Westerschelde | |
| DELFT HYDRAULICS | Z 2310 | Fig.2.5 |



Berekende Zandbalans
 alternatief C: minimale aantasting huidige toestand
 ASMITA model Estuarium+Mondingsgebied

ASMITA Mei 1997
 Westerschelde



Berekende Zandbalans
 alternatief D: minimale versterking lange-termijn
 ASMITA model Estuarium+Mondingsgebied

ASMITA

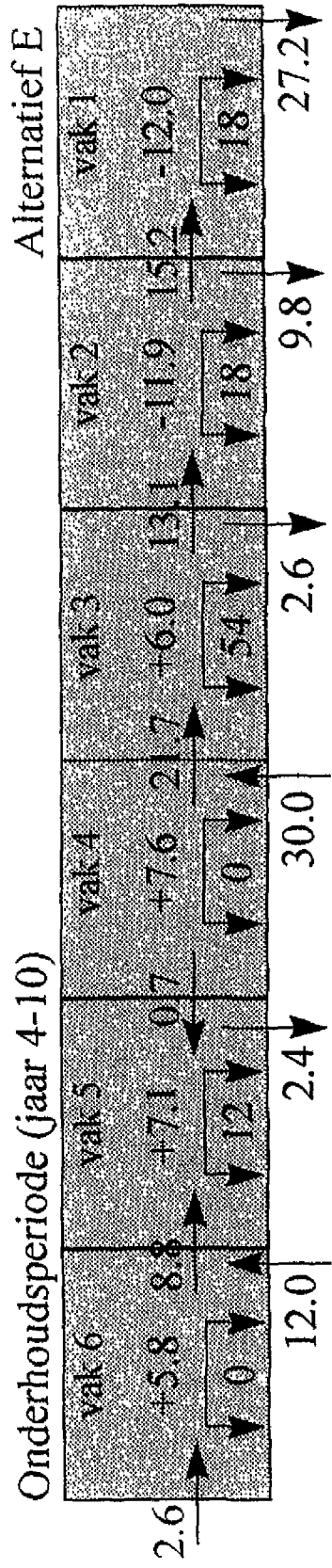
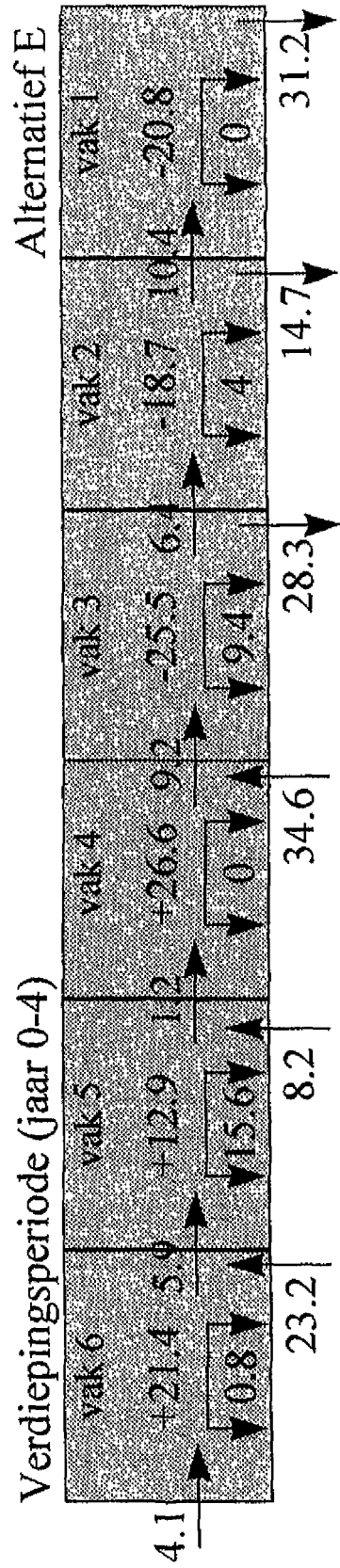
Mei
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

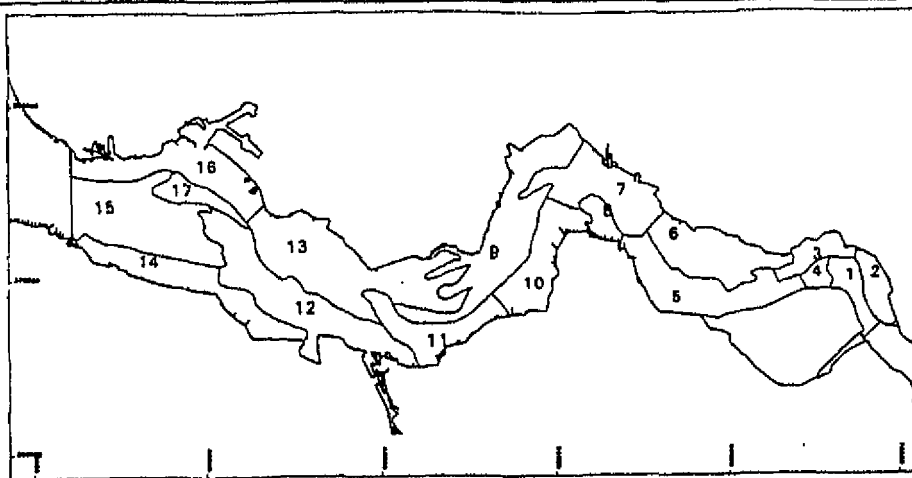
Z 2310

Fig.2.7



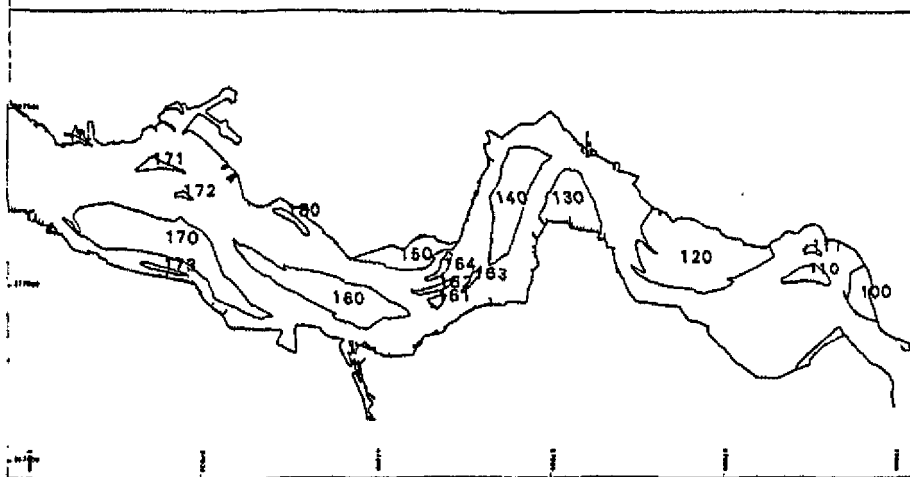
Berekende Zandbalans
 alternatief E: Versterkte baggerwerk
 ASMITA model Estuarium+Mondingsgebied

ASMITA Mei 1997
 Westerschelde



| ASMITA vak | Geulen | ASMITA vak | Geulen |
|------------|-----------------------------------|------------|----------------------------|
| 1 | Vaarwater boven Bath | 9 | Middelgat |
| 2 | Appelzak | 10 | Gat van Ossenisse |
| 3 | Nauw van Bath | 11 | Zuid Everingen |
| 4 | Schaar van Noord | 12 | Pas van Terneuzen |
| 5 | Zuidergat | 13 | Everingen |
| 6 | Schaar van Valkenisse | 14 | Vaarwater langs Hoofdplaat |
| 7 | Overloop en drempel van Hansweert | 15 | Schaar van de Spijkerplaat |
| 8 | Ebschaar Ossenisse | 16 | Honte |

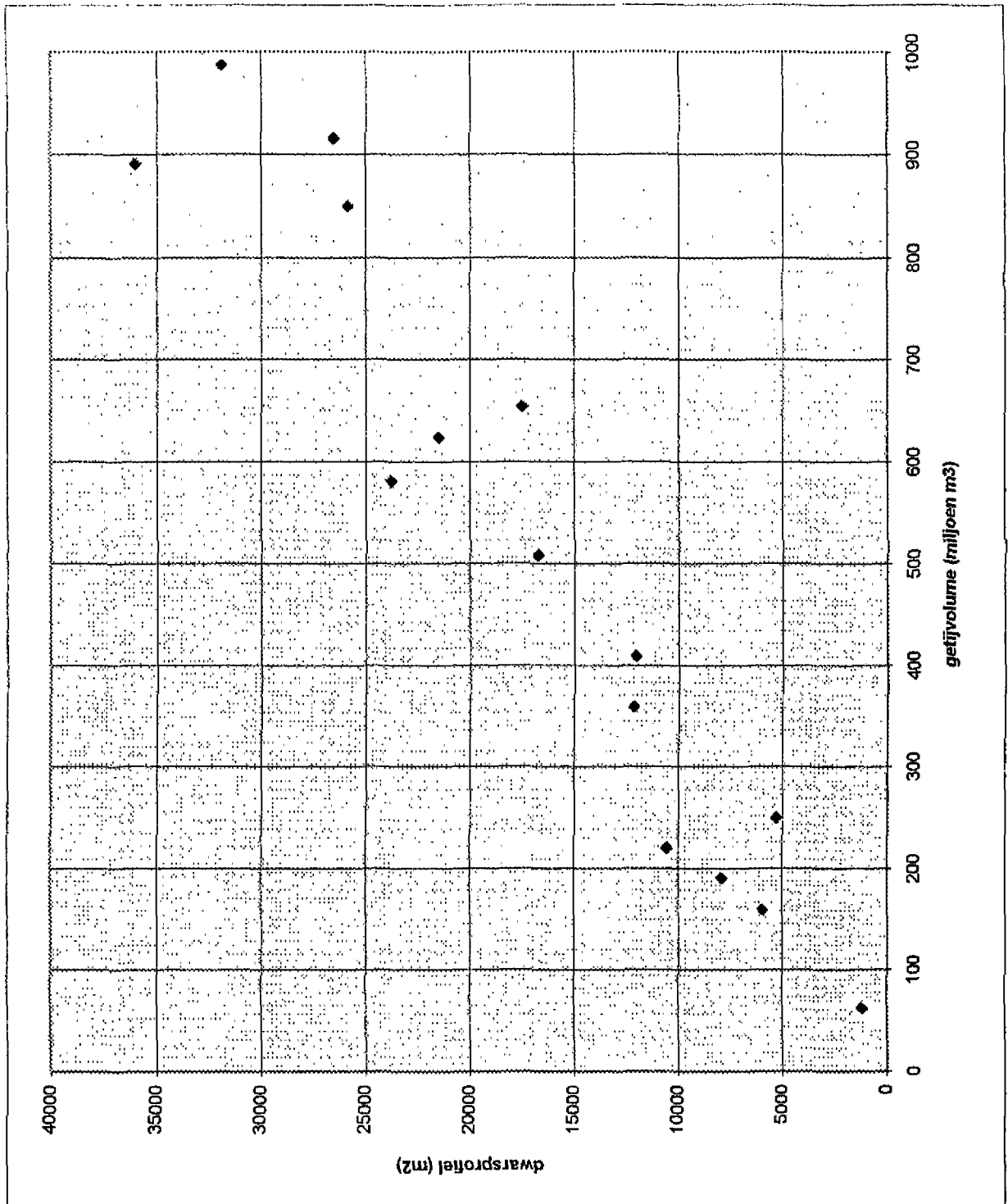
Plaatschematisatie 1994



| ASMITA vak | Platen | Plaat nr. (in Fig.) |
|------------|-----------------------|---------------------|
| 17 | Ballast | 100 |
| 18 | Plaat van Saeftinge | 110 |
| 19 | Platen van Valkenisse | 120 |
| 20 | Plaat van Ossenisse | 130 |
| 21 | Rug van Baarland | 140 |
| 22 | Plaat van Baarland | 150 |
| 23 | Middelplaat complex | 160 |
| 24 | Hooge Platen | 170 |

Morfologische eenheden
 In ASMITA model Geulen-Platen
 Huijs [1996]

ASMITA
 Mei 1997
 Westerschelde



Relatie tussen oppervlak dwarsprofielen
en getijvolumes uit DUFLOW

ASMITA W'Schelde

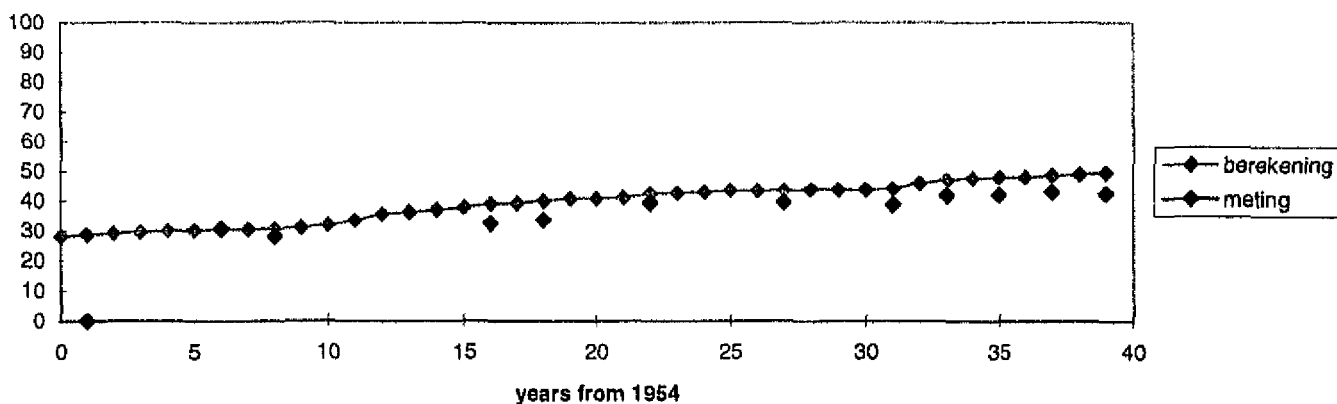
mei 97

Z2310

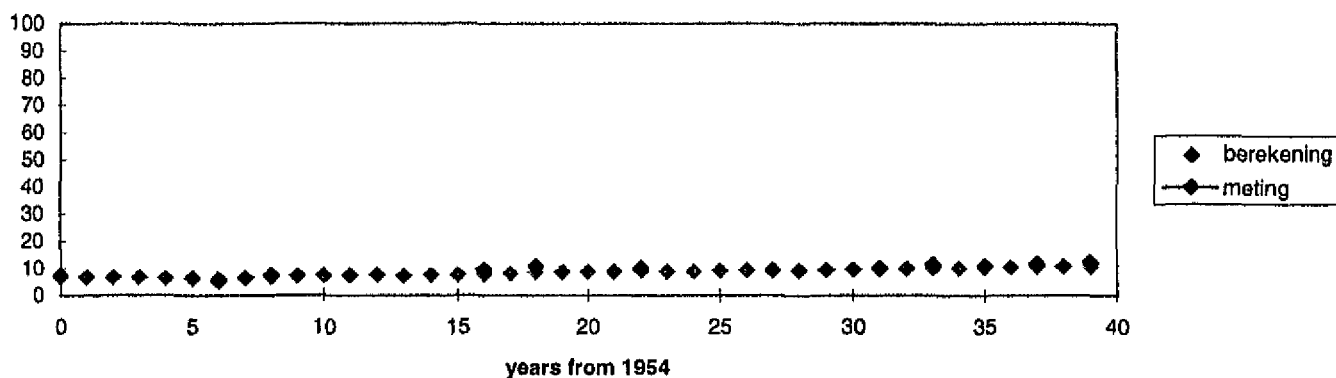
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.3

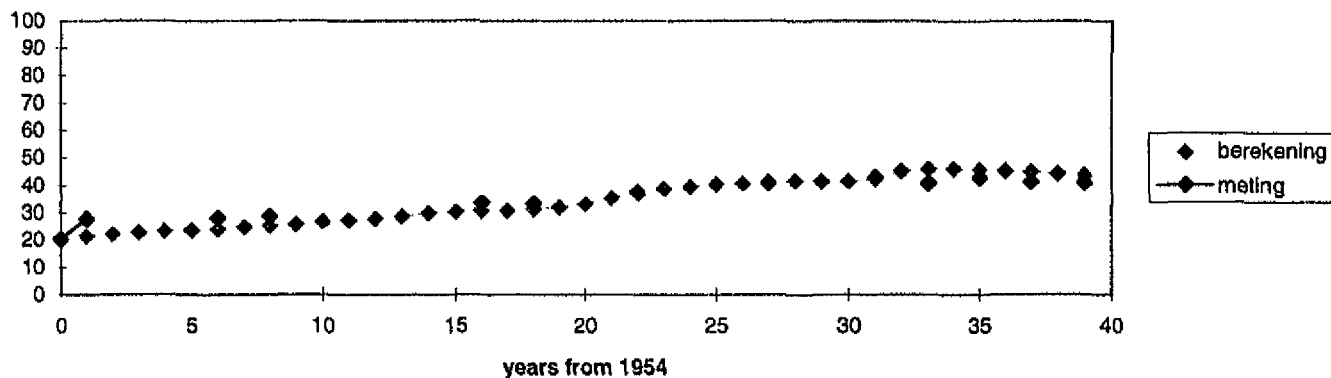
Vak 1



Vak 2



Vak 3



**Calibratie resultaten geulvolumes
onder NAP-2 (*10⁶). Vakken 1, 2, 3.**

Z2310

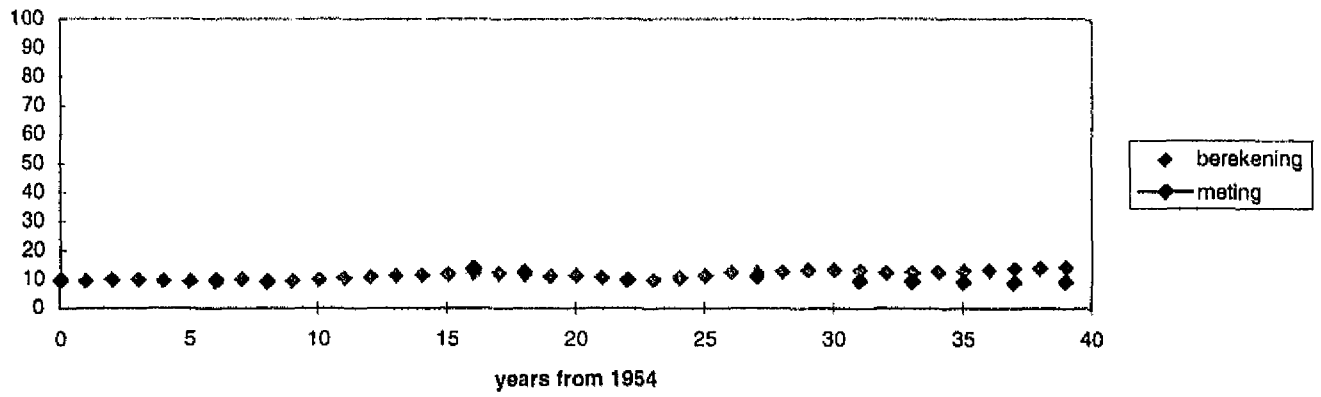
4-6-97

run 7

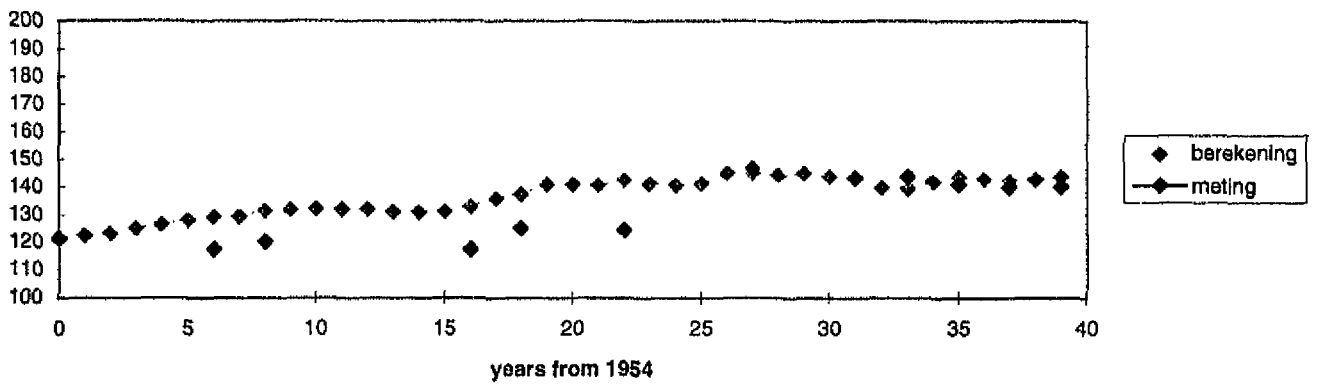
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4a

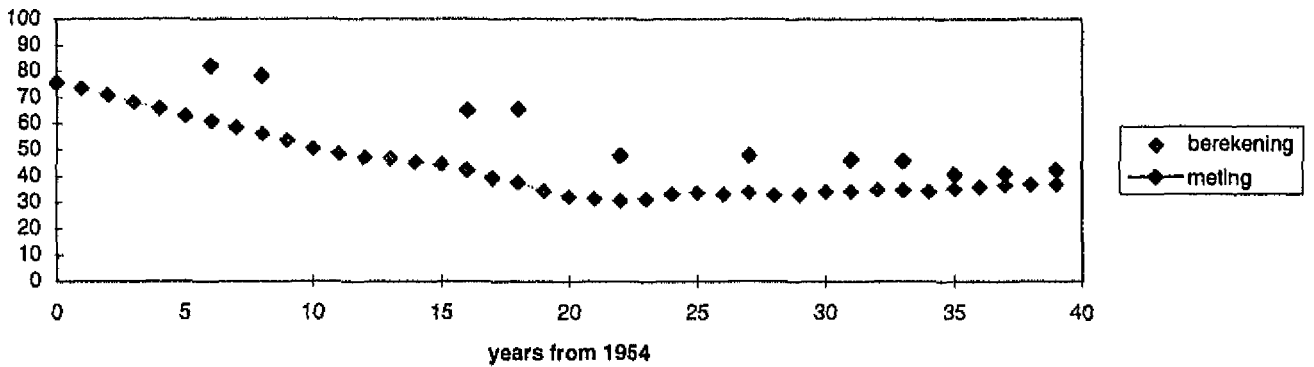
Vak 4



Vak 5



Vak 6



Calibratie resultaten geulvolumes onder NAP-2 (* 10⁶). Vakken 4, 5, 6.

Z2310

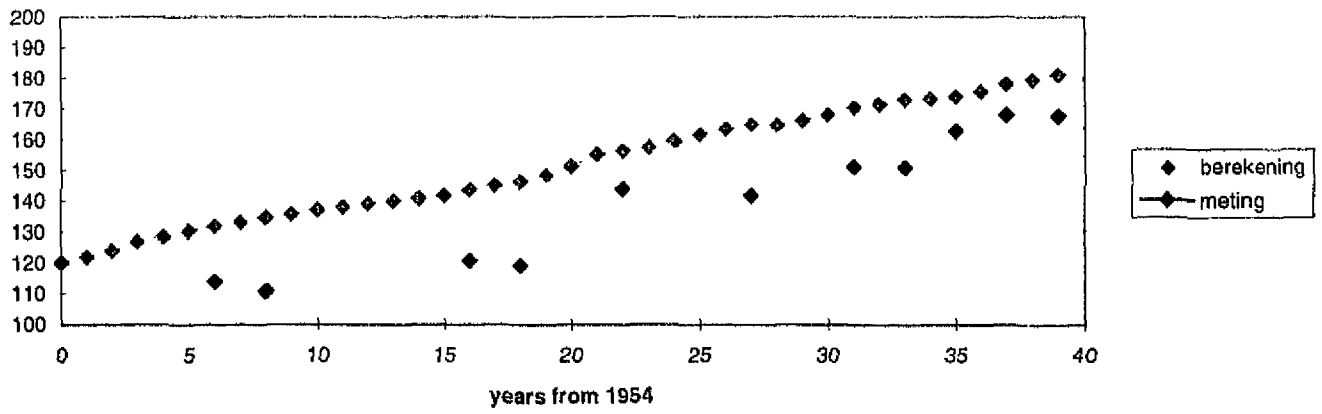
4-6-97

run 7

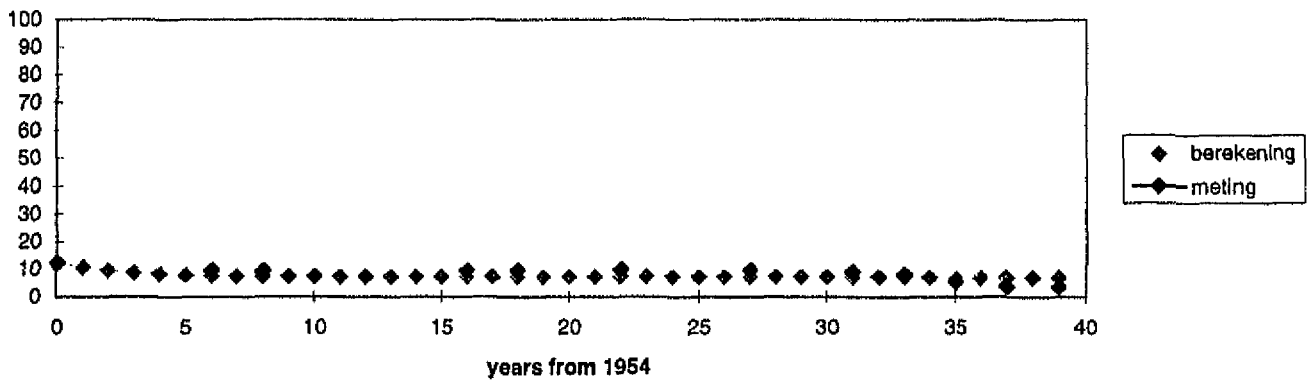
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4b

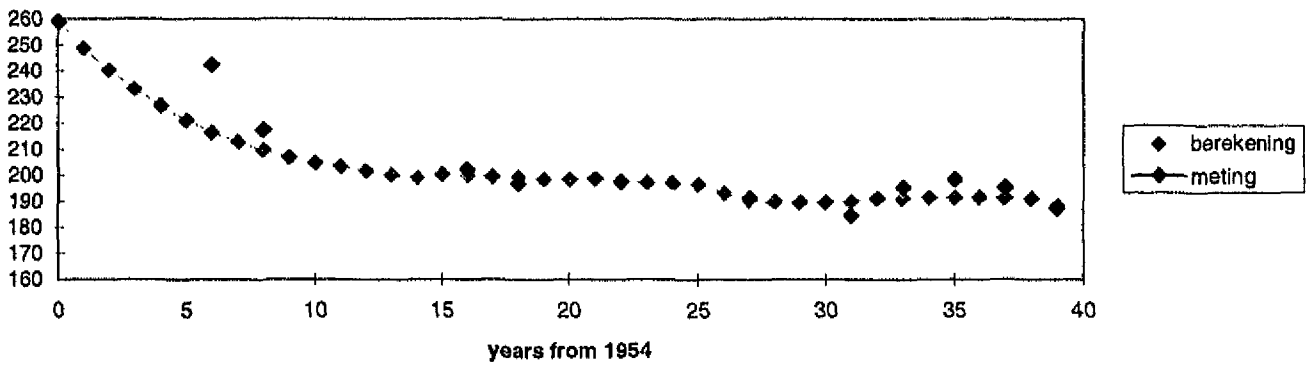
Vak 7



Vak 8



Vak 9



**Calibratie resultaten geulvolumes
 onder NAP-2 (*10⁶). Vakken 7, 8, 9**

Z2310

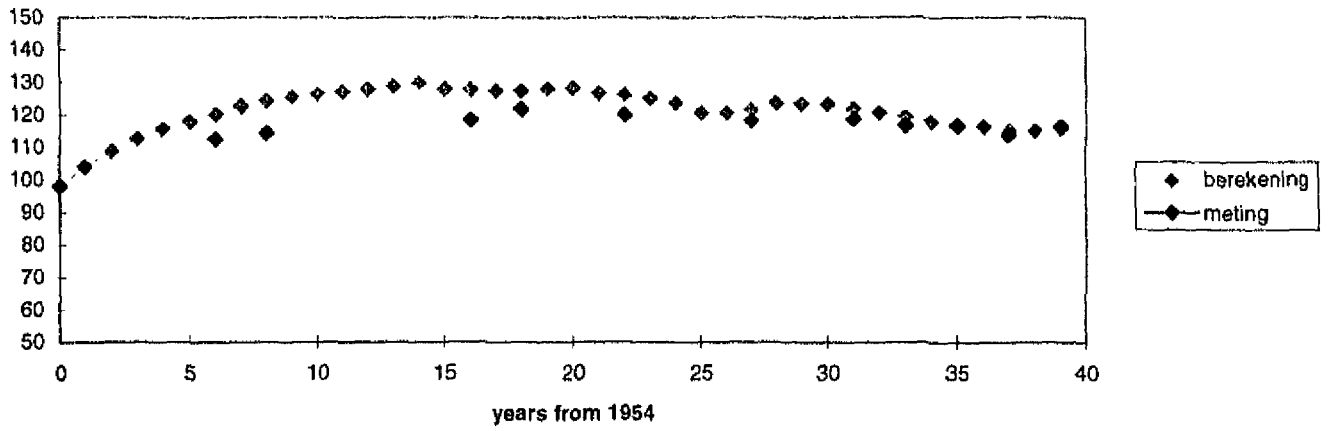
4-6-97

run 7

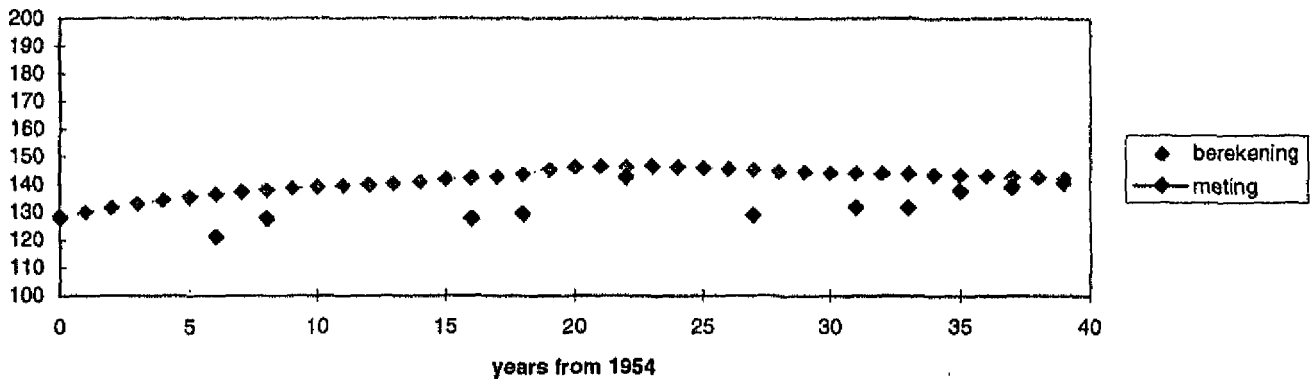
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4c

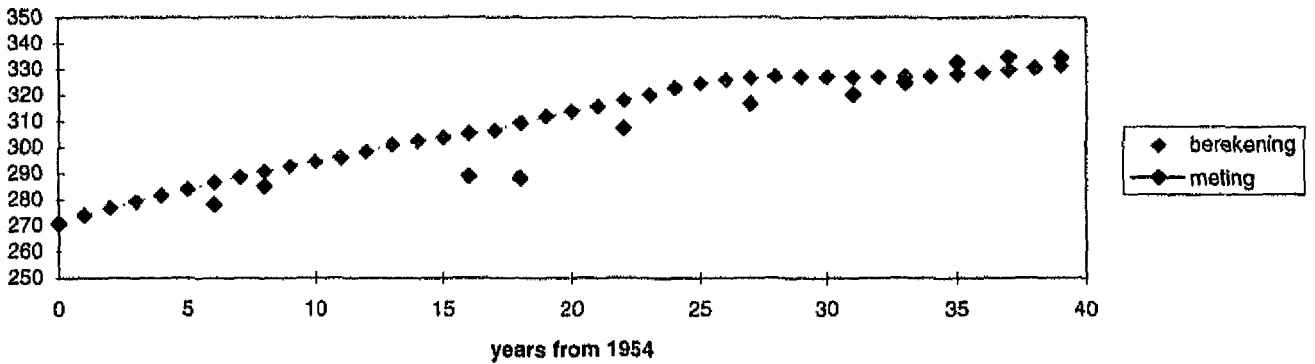
Vak 10



Vak 11



Vak 12



**Calibratie resultaten geulvolumes
 onder NAP-2 (*10⁶). Vakken 10,11,12**

Z2310

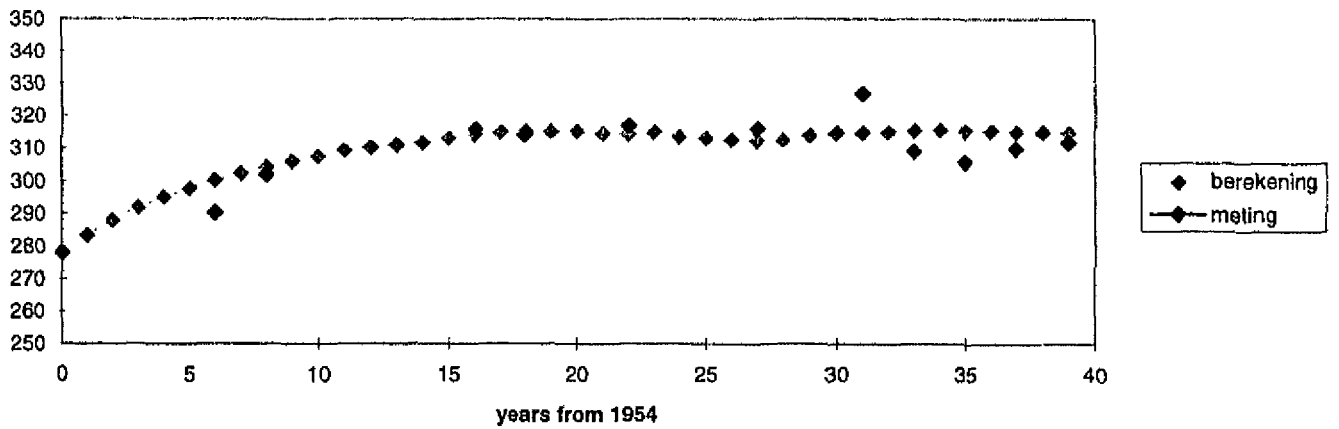
4-6-97

run 7

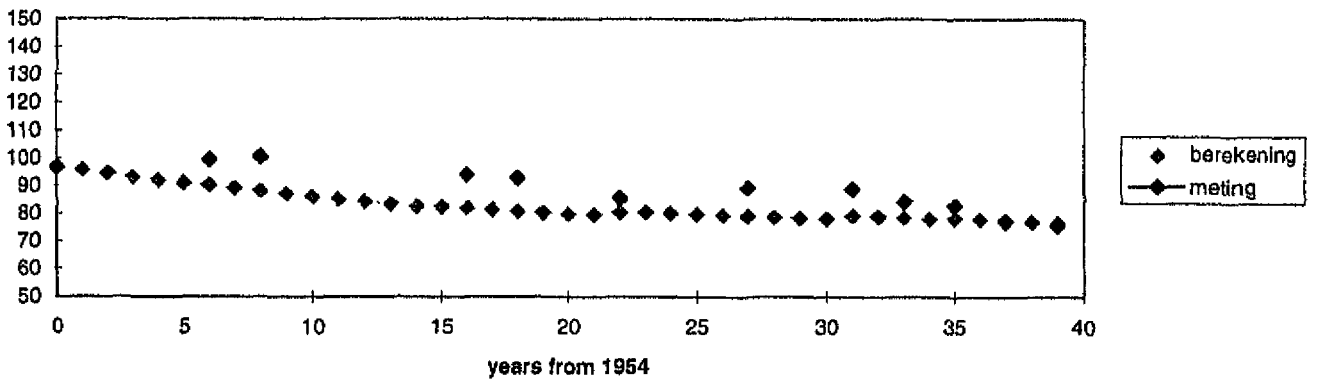
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4d

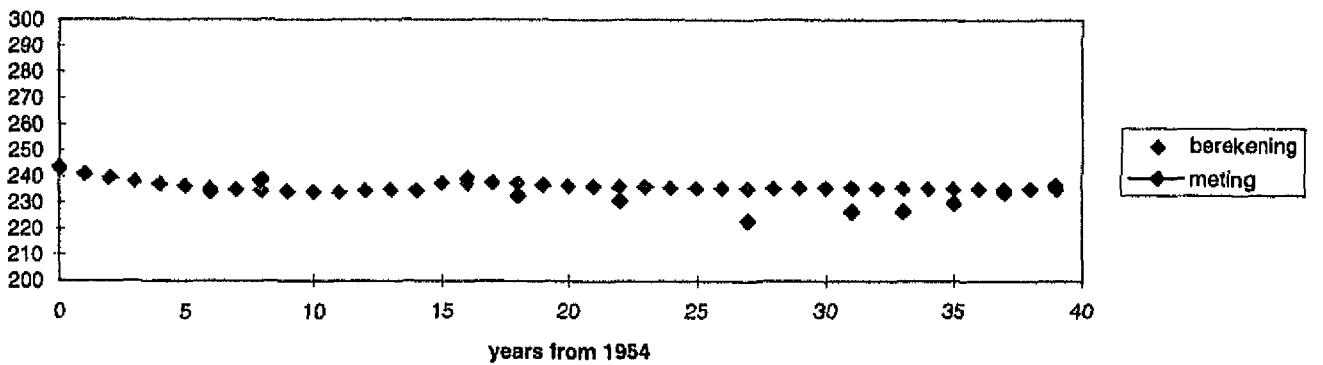
Vak 13



Vak 14



Vak 15



**Calibratie resultaten geulvolumes
 onder NAP-2 (*10⁶). Vakken 13,14,15**

Z2310

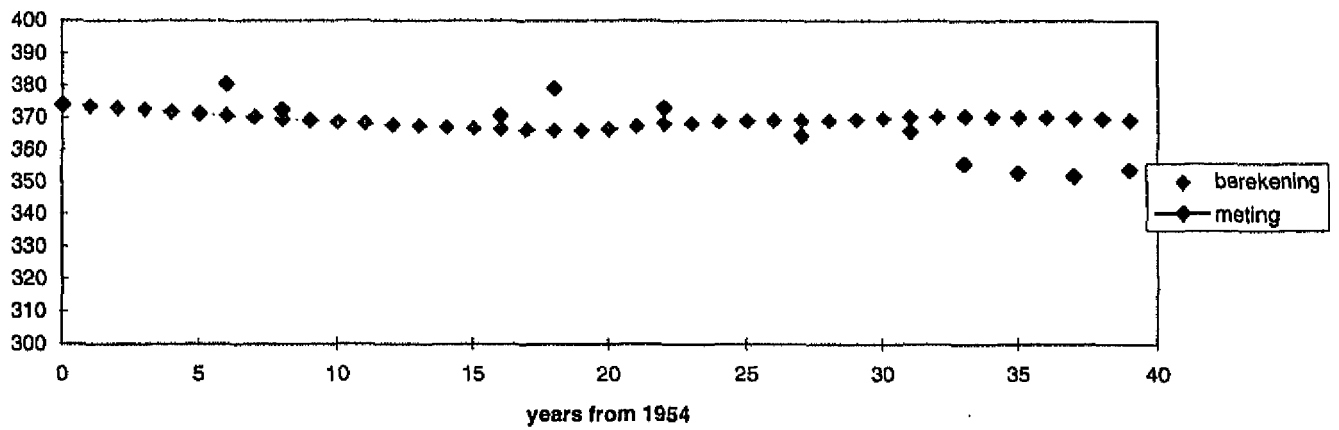
4-6-97

run 7

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4e

Vak 16



**Calibratie resultaten geulvolumes
onder NAP-2 ($\cdot 10^6$). Vak 16**

Z2310

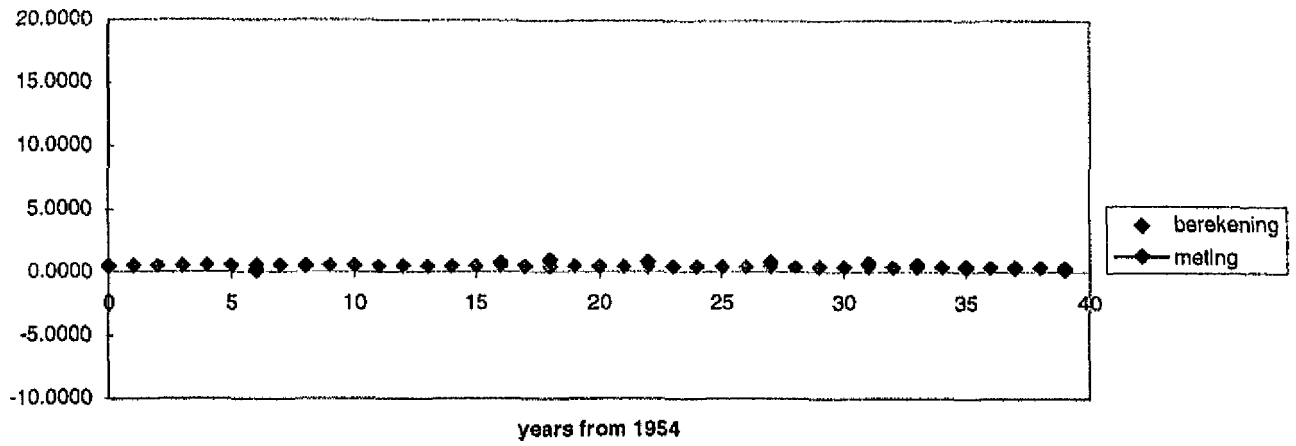
4-6-97

run 7

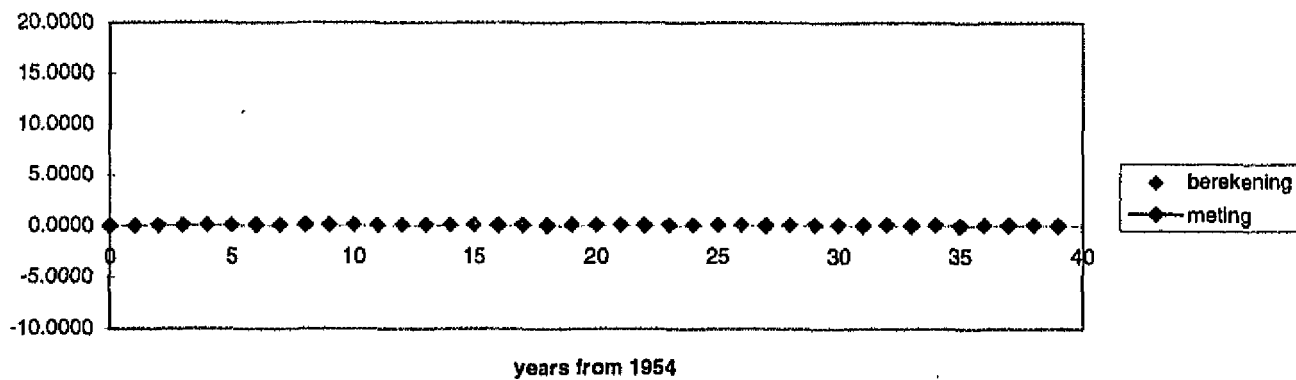
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4f

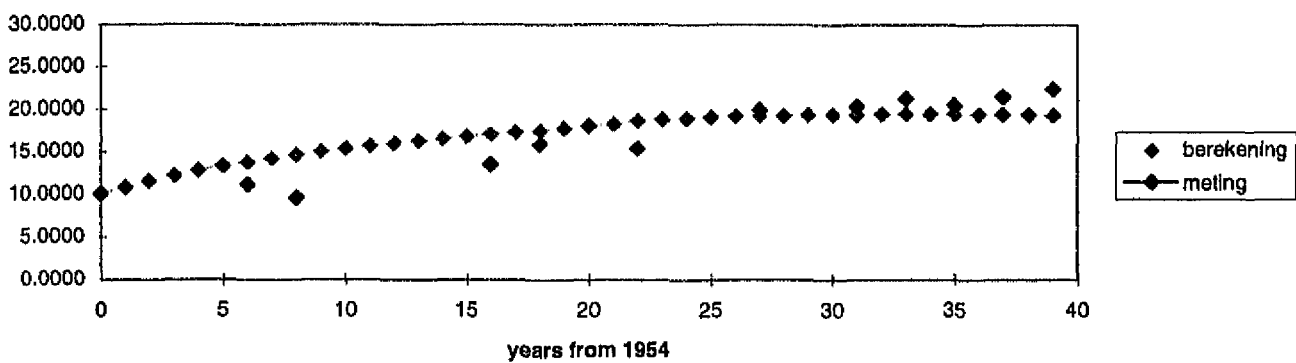
Vak 17



Vak 18



Vak 19



**Calibratie resultaten plaatvolumes
boven NAP-2 (*10⁶). Vakken 17,18,19**

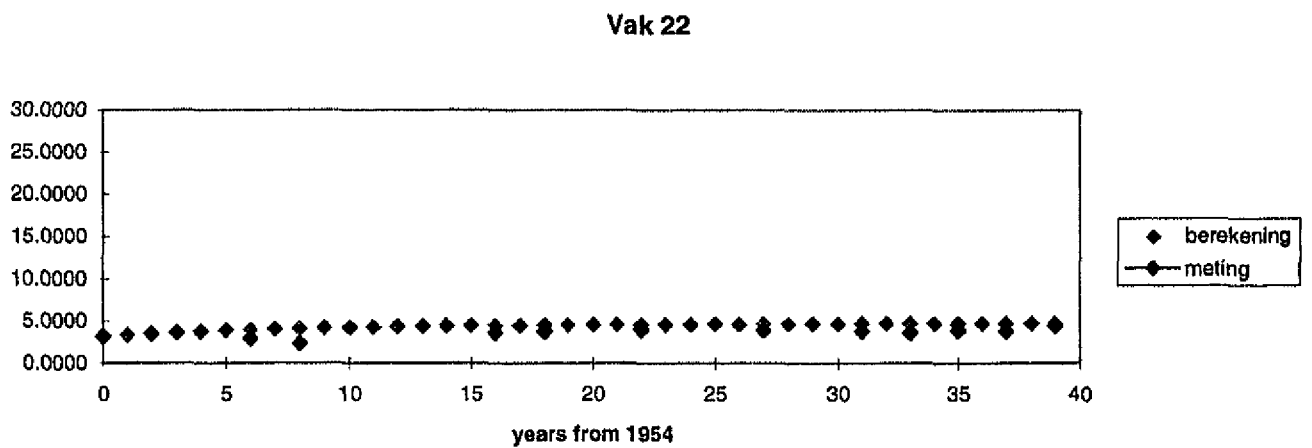
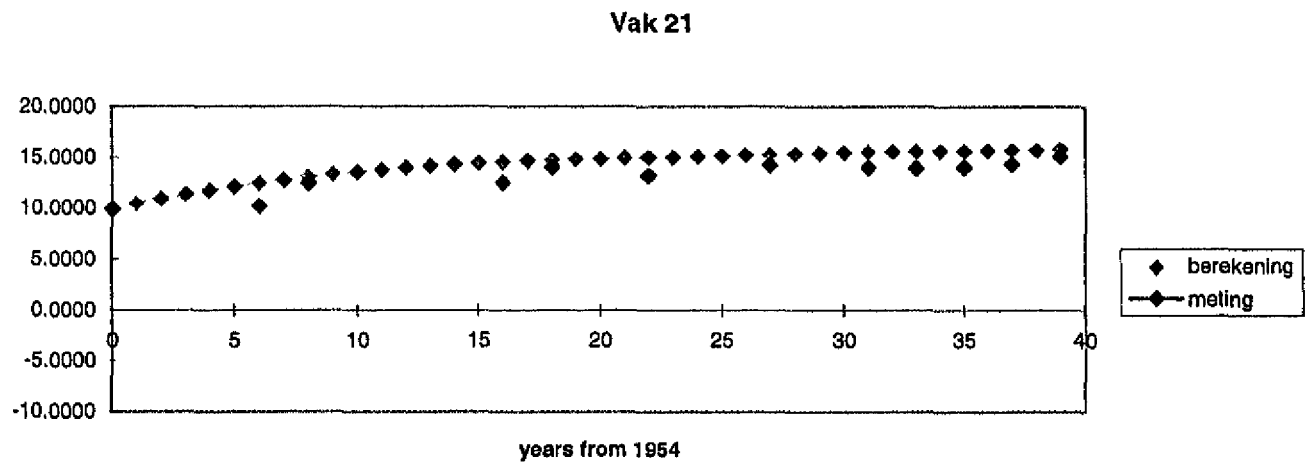
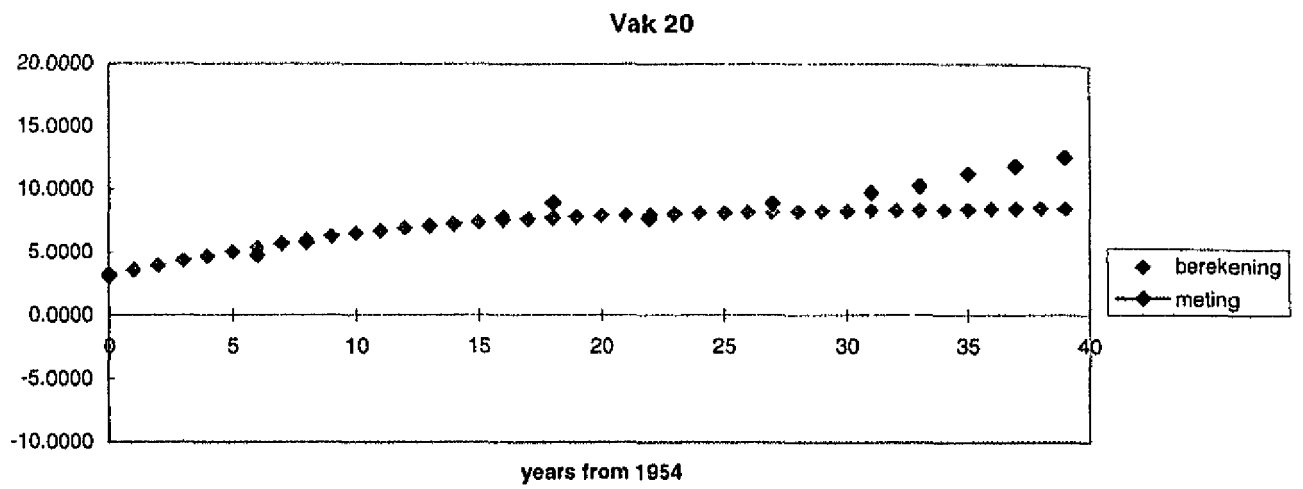
Z2310

4-6-97

run 7

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4g



**Calibratie resultaten plaatvolumes
boven NAP-2 (*10⁶). Vakken 20,21,22**

Z2310

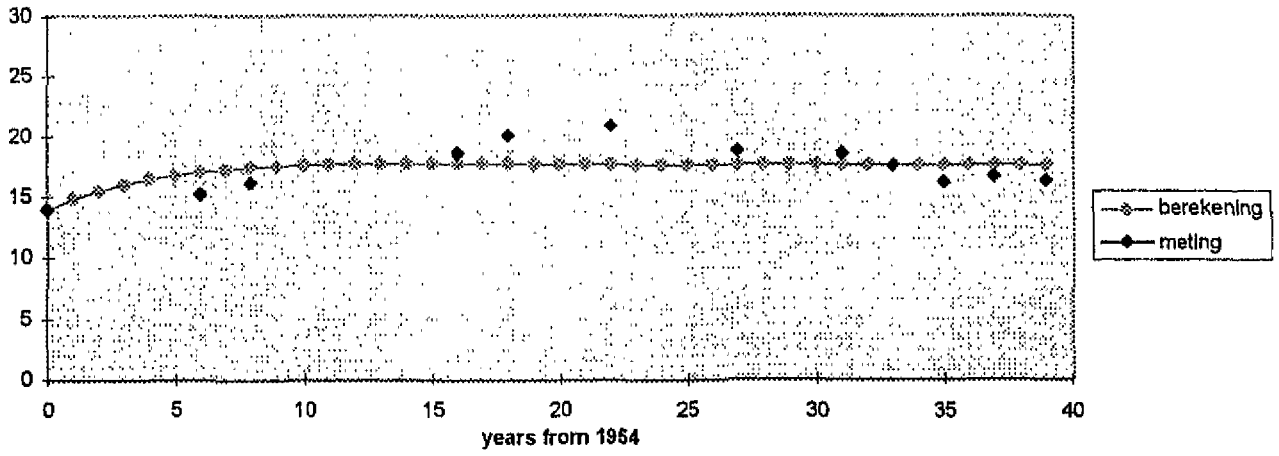
4-6-97

run 7

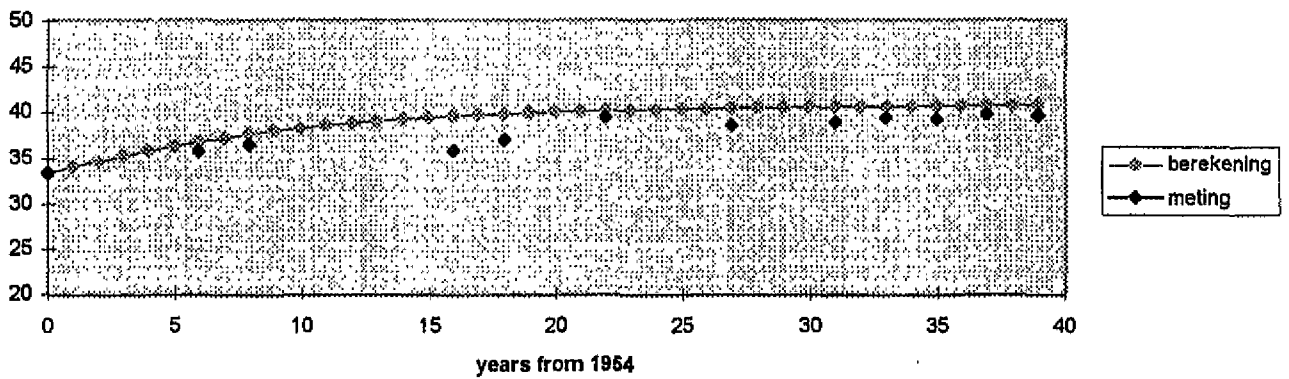
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4h

Vak 23



Vak 24



**Calibratie resultaten plaatvolumes
boven NAP-2 (*10⁶). Vakken 23,24**

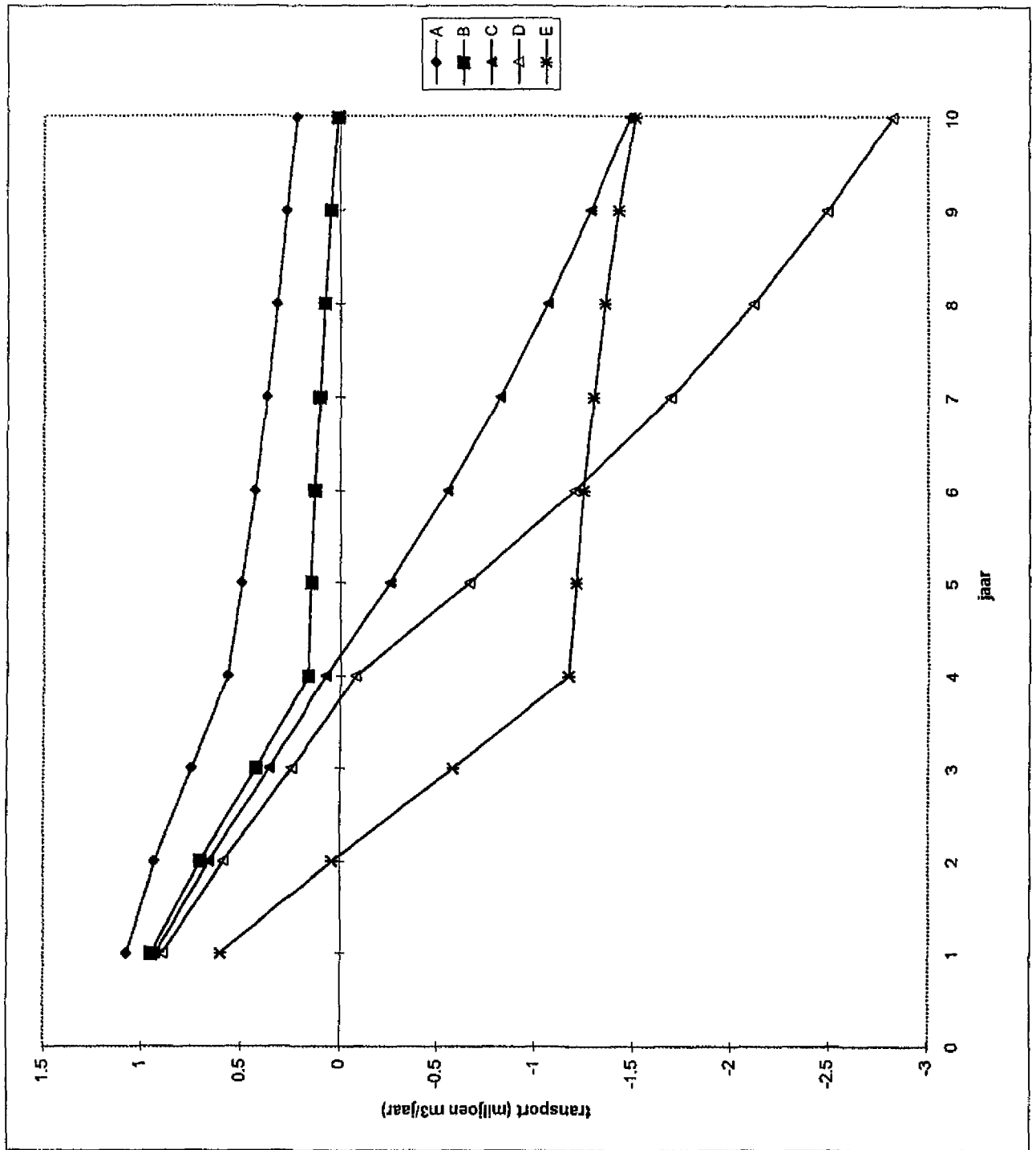
Z2310

4-6-97

run 7

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4i



Berekende transport van de monding naar het estuarium
bij de vijf alternatieven

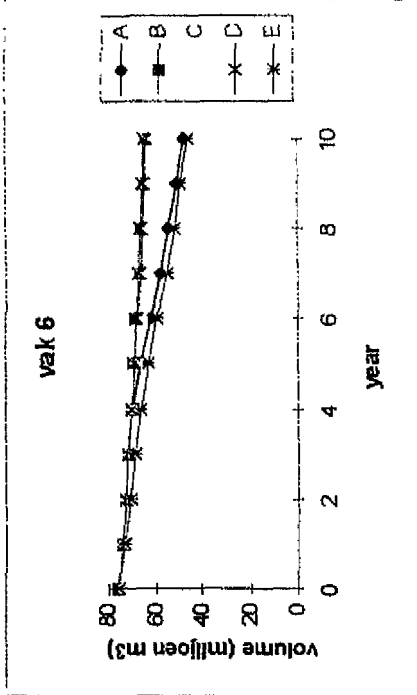
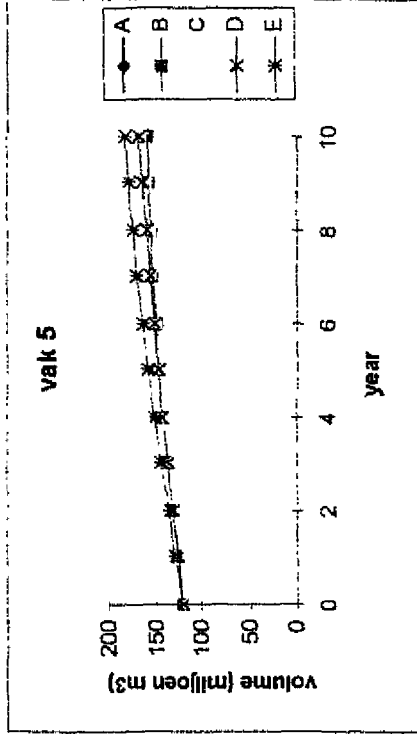
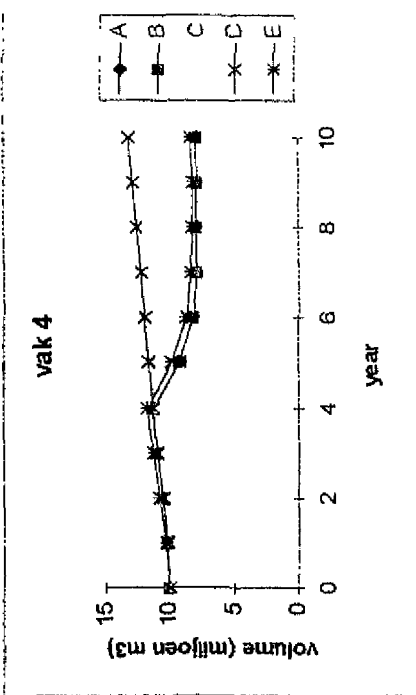
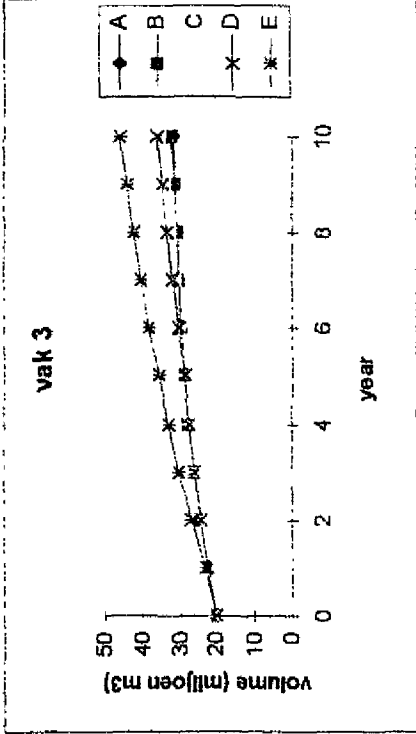
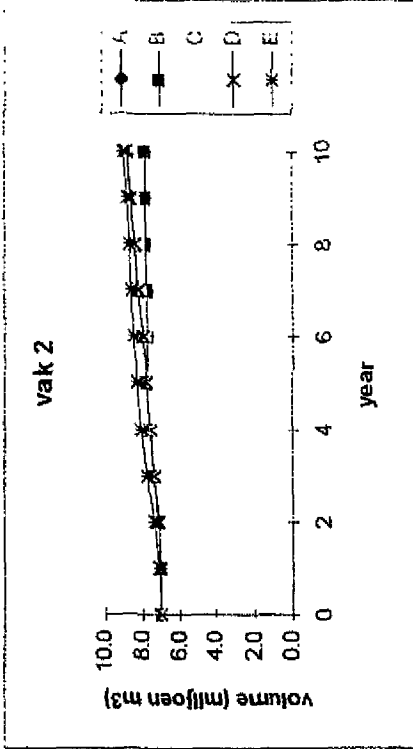
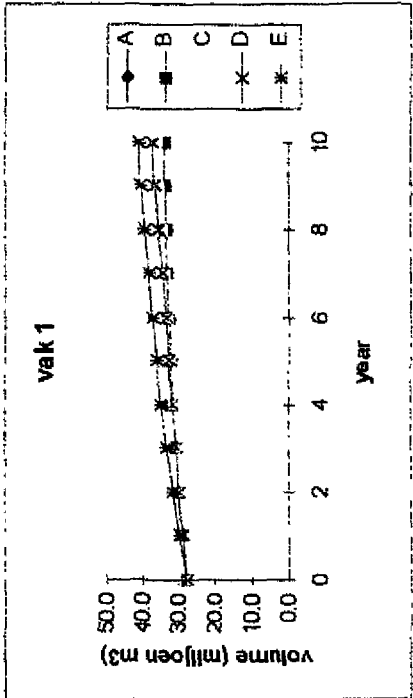
ASMITA W'Schelde

mei 97

Z2310

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.5



Berekende vofume veranderingen van de vakken 1 t/m 6 bij de vijf alternatieven

ASMITA W'Schelde

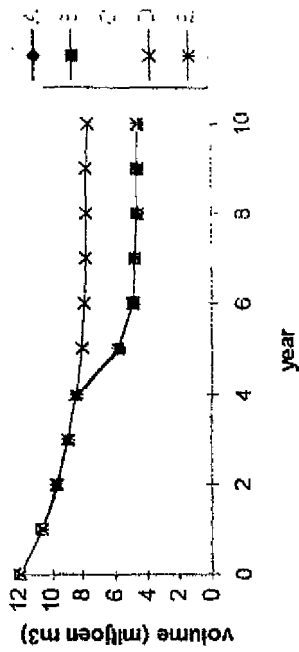
mei 97

Z2310

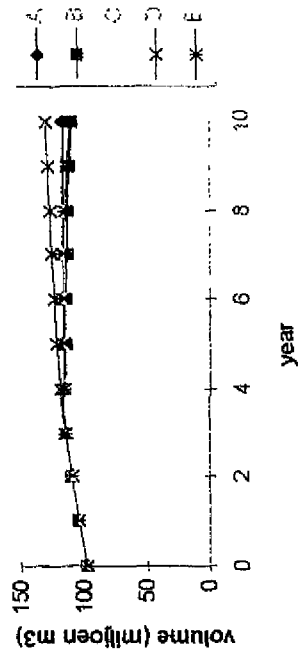
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.6

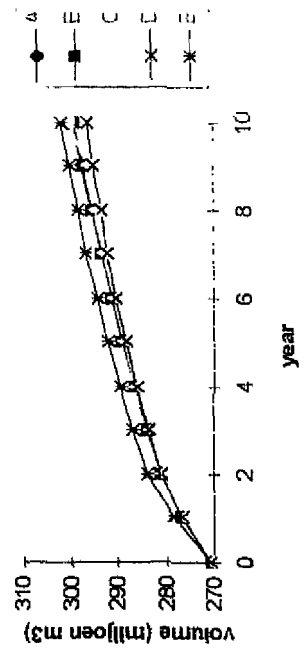
vak 8



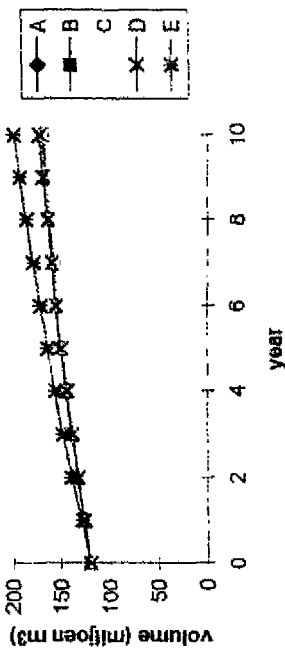
vak 10



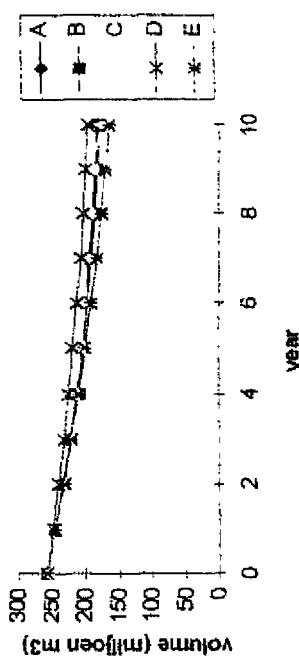
vak 12



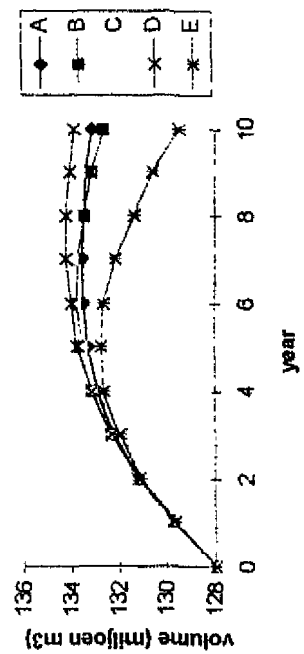
vak 7



vak 9



vak t1



Berekende volume veranderingen van de vakken 7 t/m 12
bij de vijf alternatieven

ASMITA W'Schelde

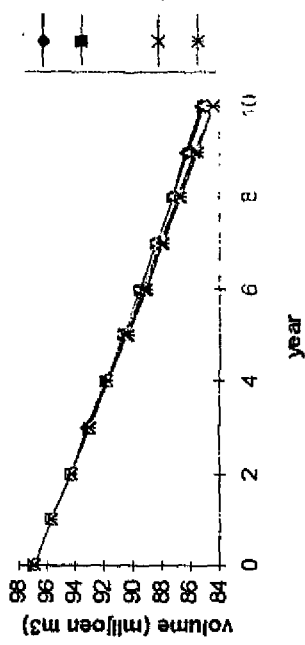
mei 97

Z2310

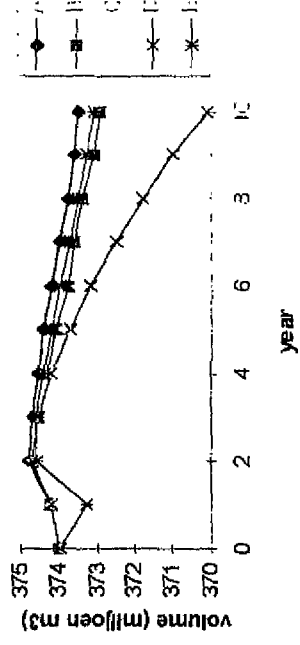
DELFT HYDRAULICS

Fig.3.7

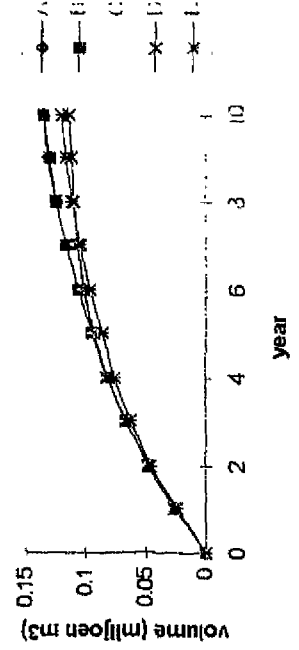
vak 14



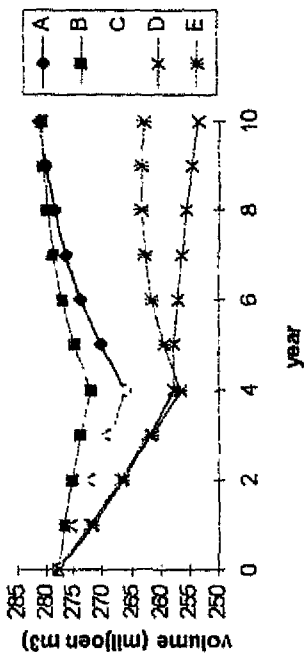
vak 16



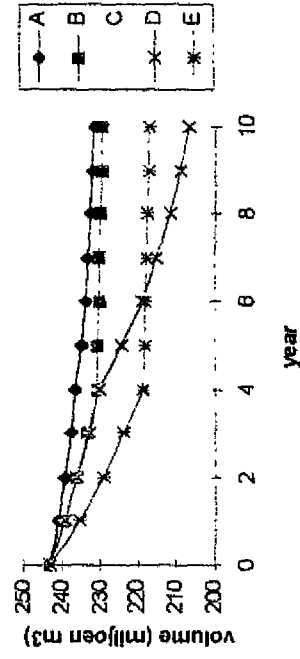
vak 18



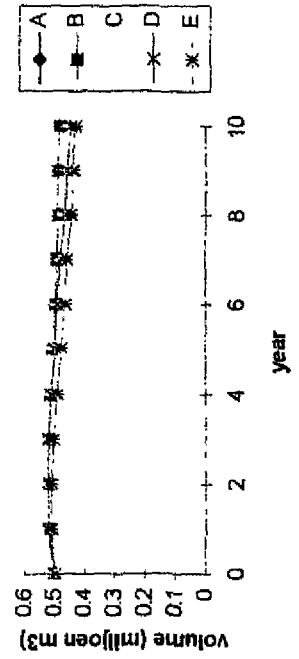
vak 13



vak 15



vak 17



Berekenende volume veranderingen van de vakken 13 t/m 18 bij de vijf alternatieven

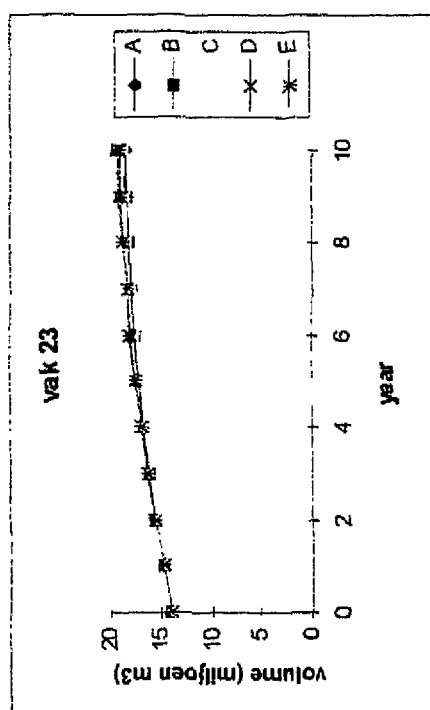
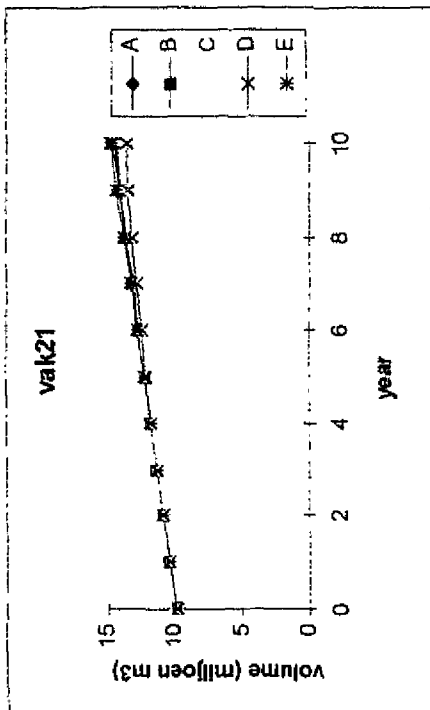
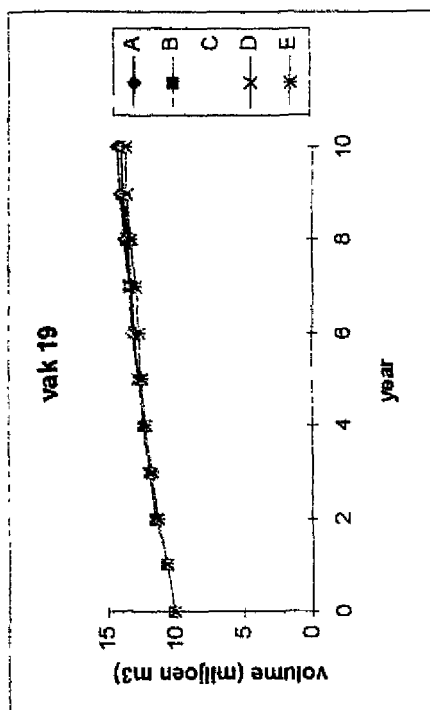
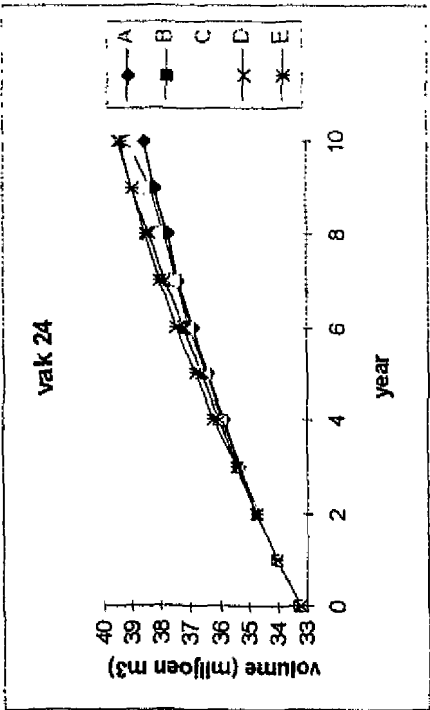
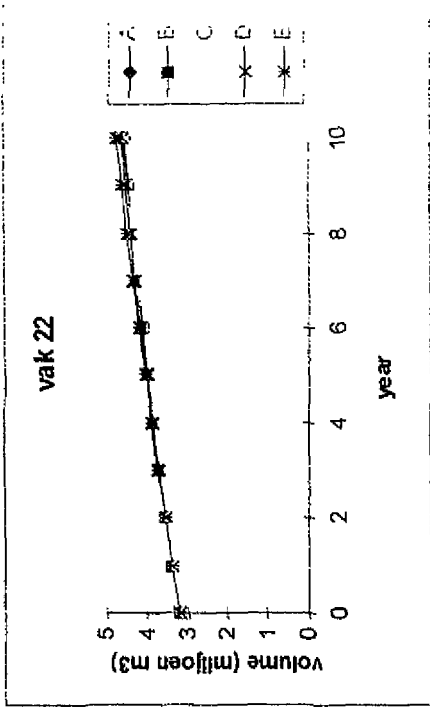
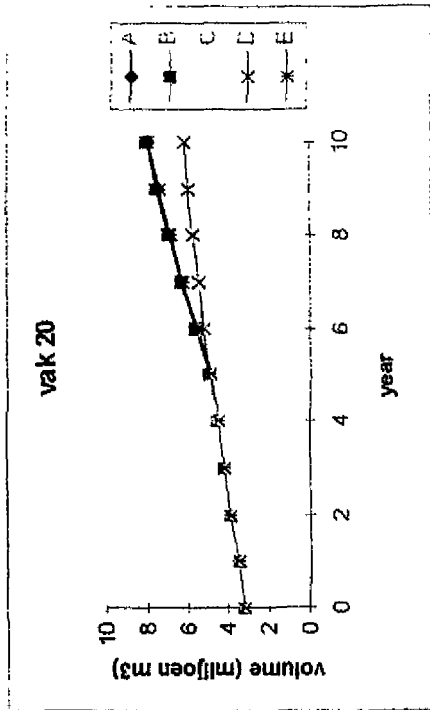
ASMITA W'Schelde

mei 97

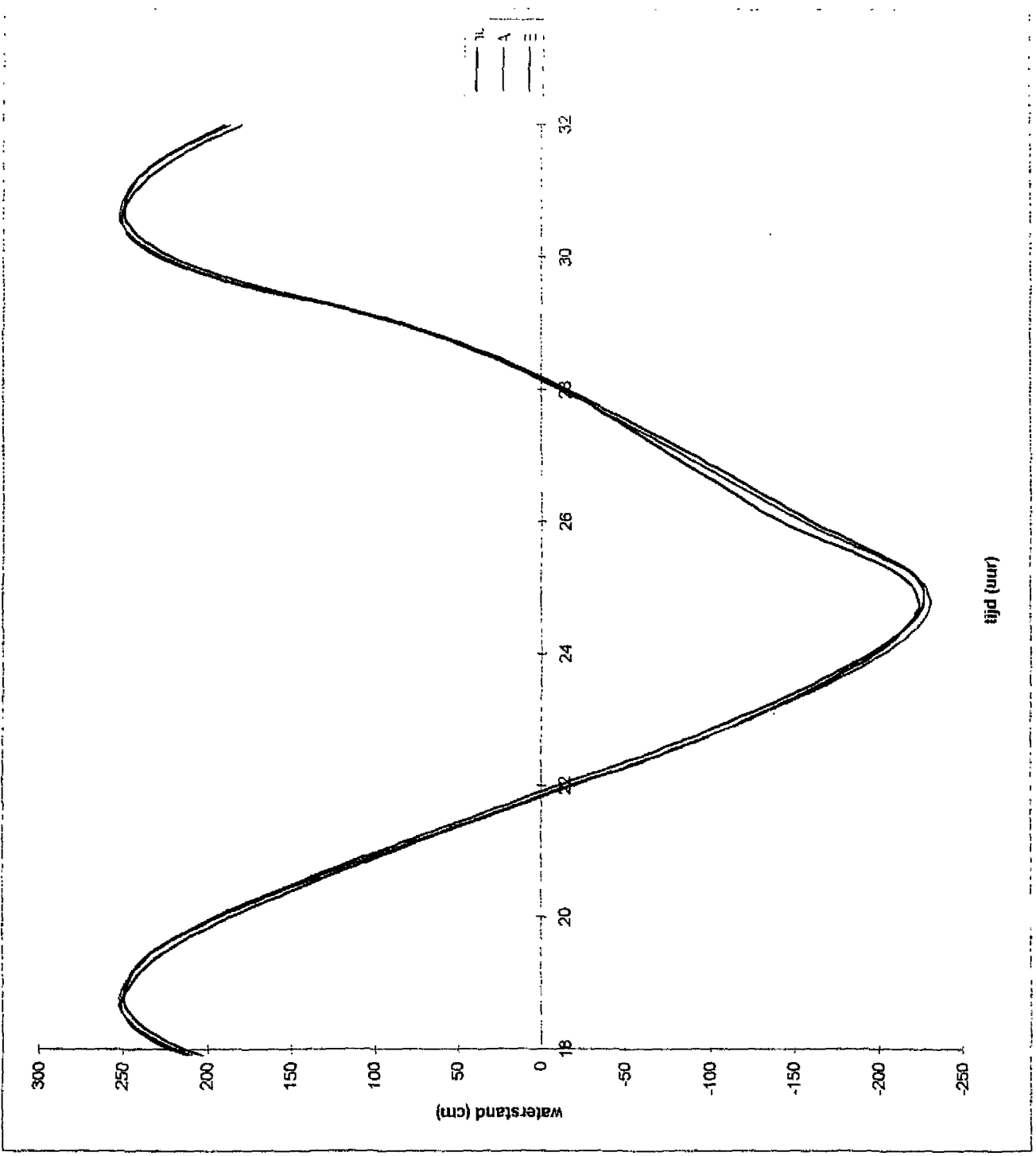
Z2310

DELFT HYDRAULICS

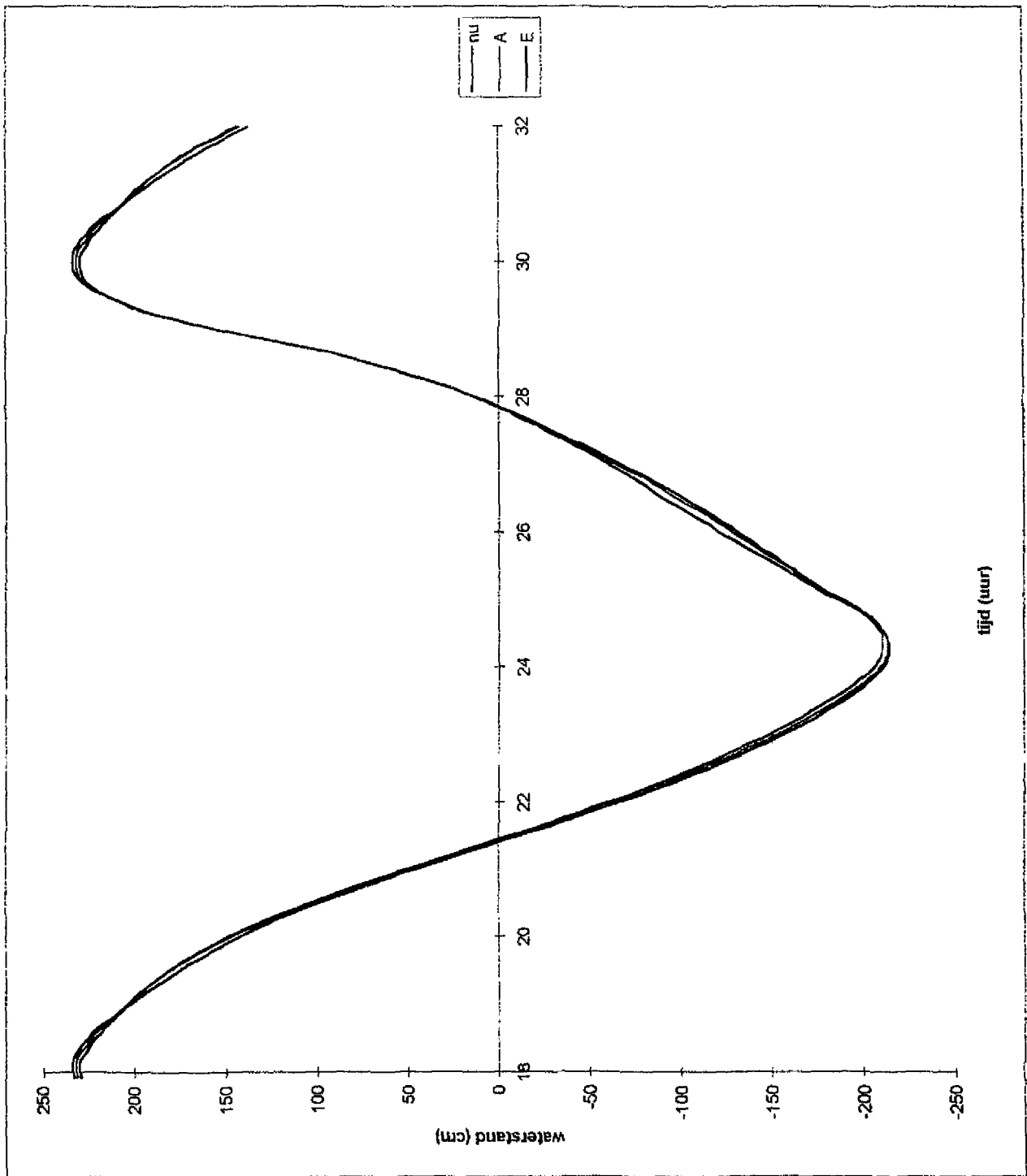
Fig.3.8



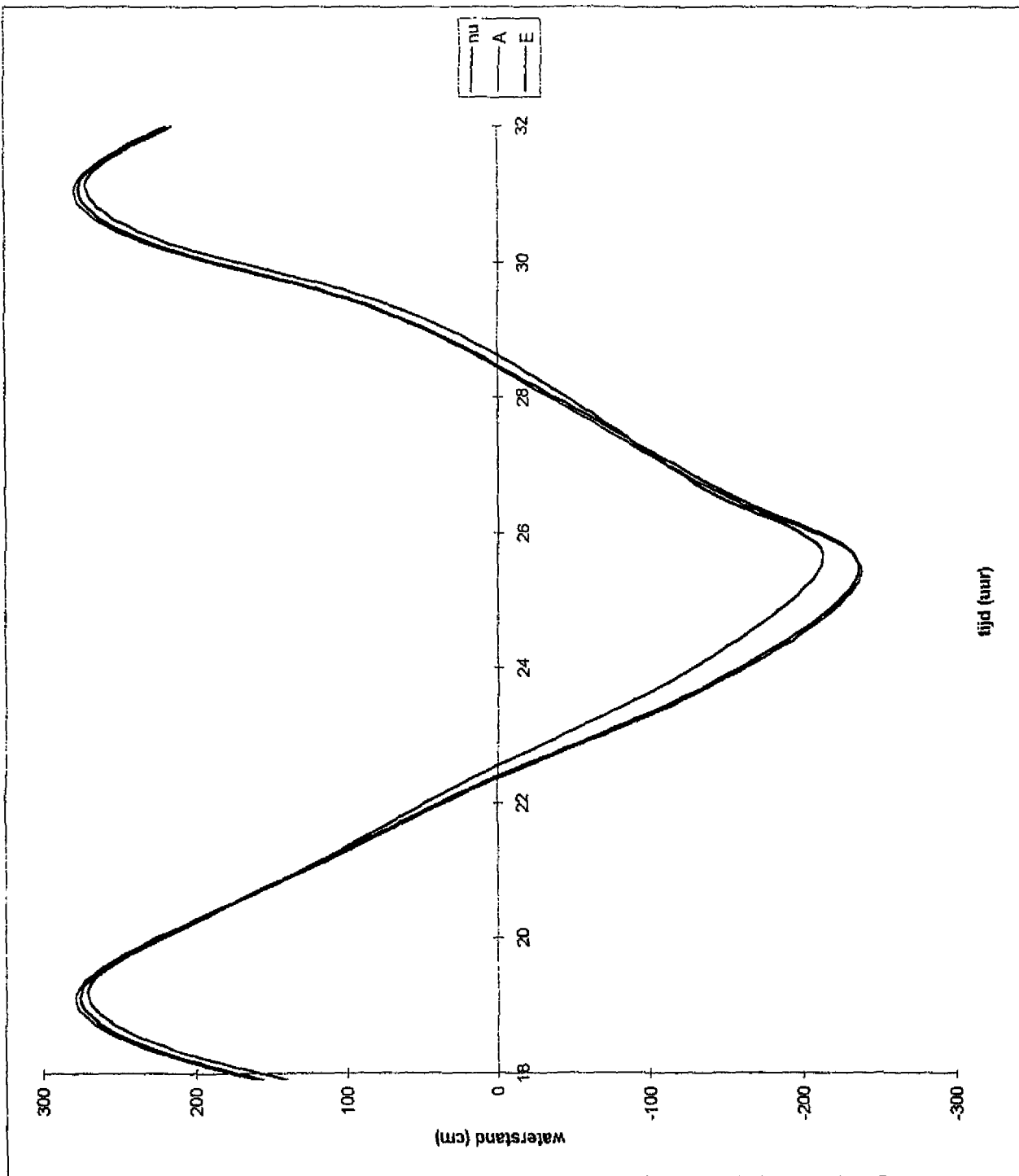
| | | |
|---|------------------|---------|
| Bereken de volume veranderingen van de vakken 19 t/m 24 bij de vijf alternatieven | ASMITA W'Schelde | |
| | mei 97 | Z2310 |
| DELFT HYDRAULICS | | Fig.3.9 |



| | | |
|--|------------------|-------|
| Waterstand in Terneuzen Huidige situatie vergeleken met scenario's na 10 jaar | ASMITA W'Schelde | |
| | mei 97 | Z2310 |
| DELFT HYDRAULICS | Fig.4.1 | |



| | | |
|--|------------------|-------|
| Waterstand in Hansweert Huidige situatie vergeleken met scenario's na 10 jaar | ASMITA W'Schelde | |
| | mei 97 | Z2310 |
| DELFT HYDRAULICS | Fig.4.2 | |



Waterstand in Bath
 Huidige situatie vergeleken met scenario's na 10 jaar

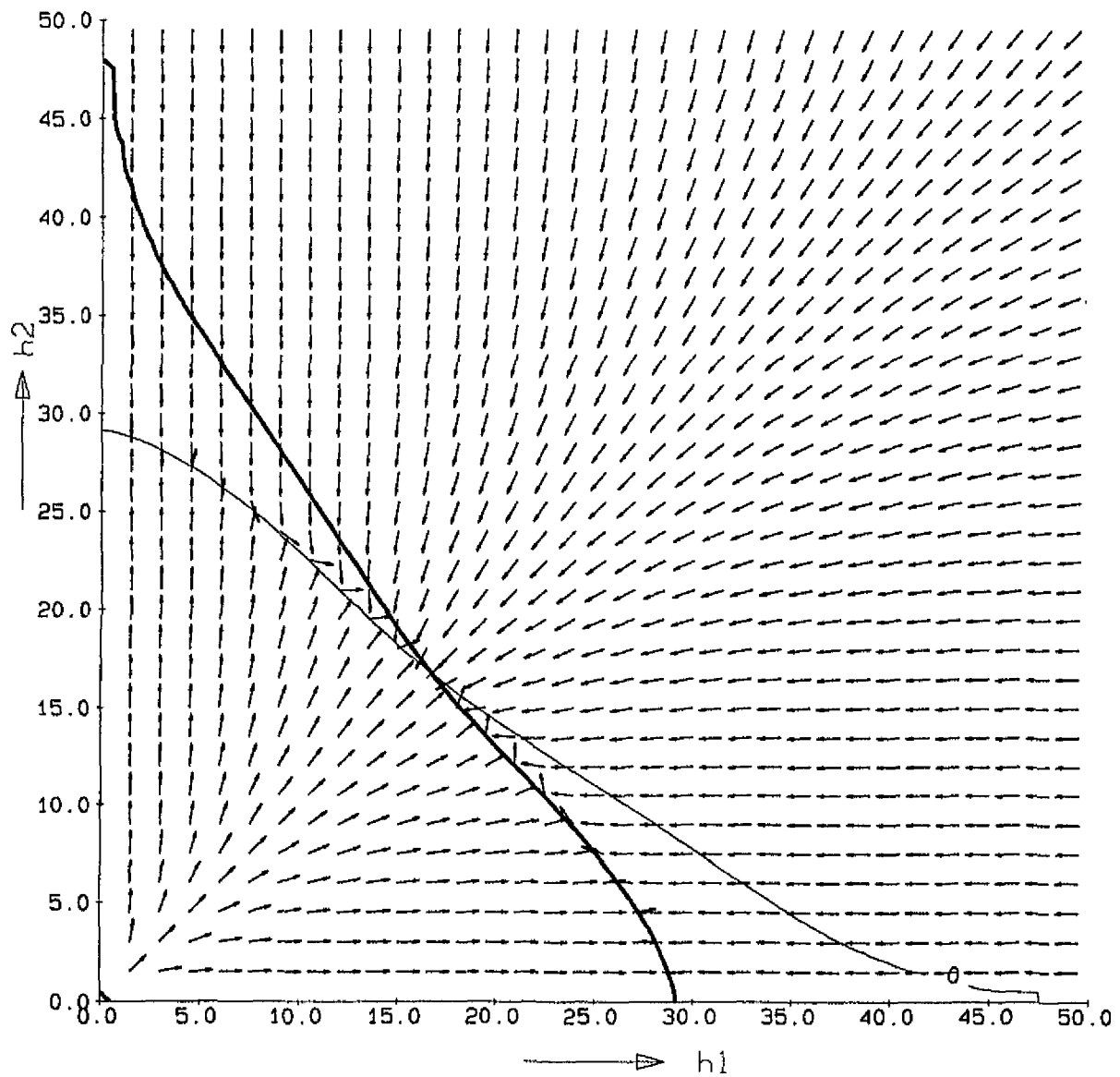
ASMITA W'Schelde

mei 97

Z2310

DELFT HYDRAULICS

Fig.4.3



————— $dh_1/dt = 0$ ————— $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Symmetrisch geval zonder ingreep
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

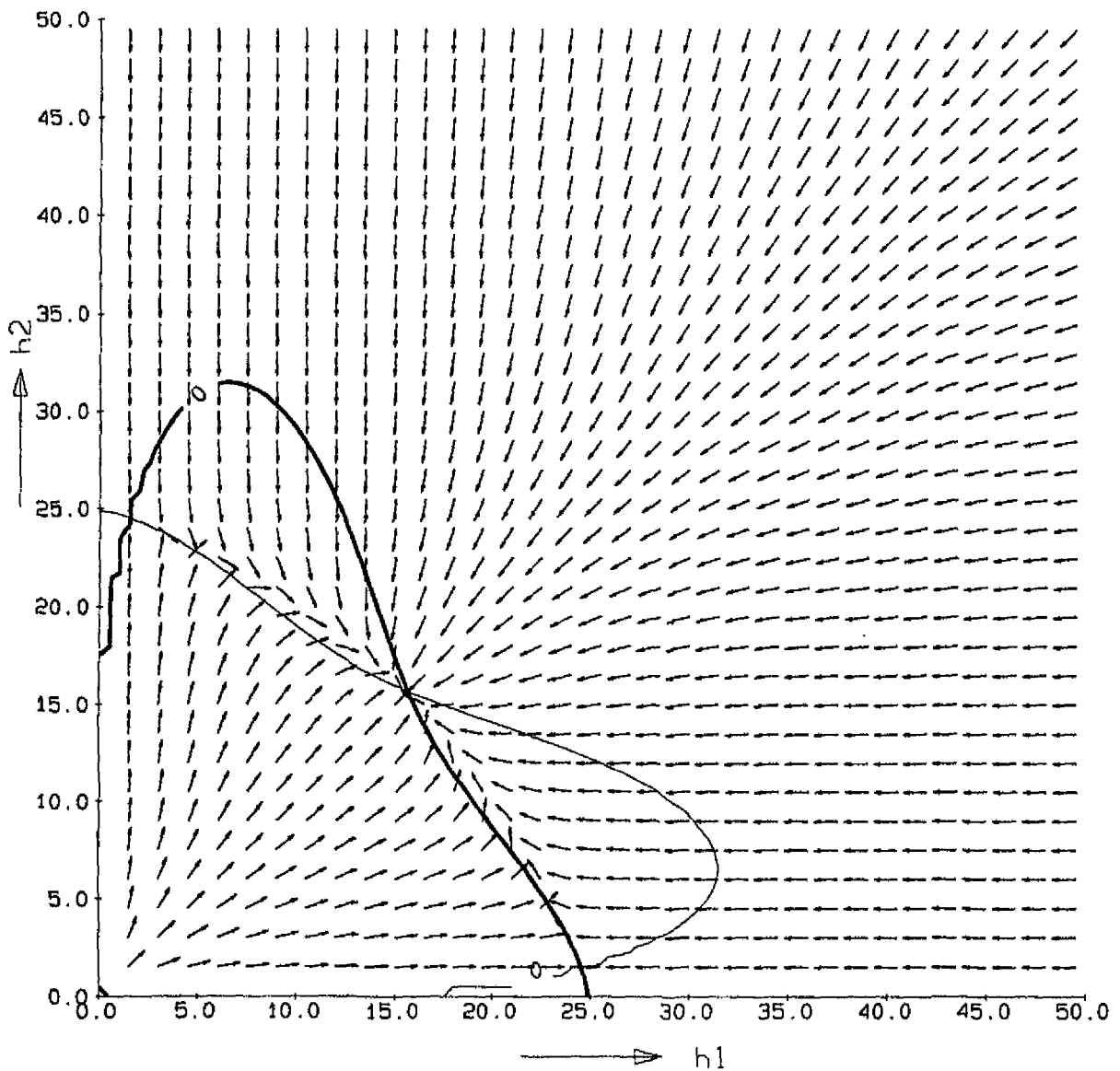
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

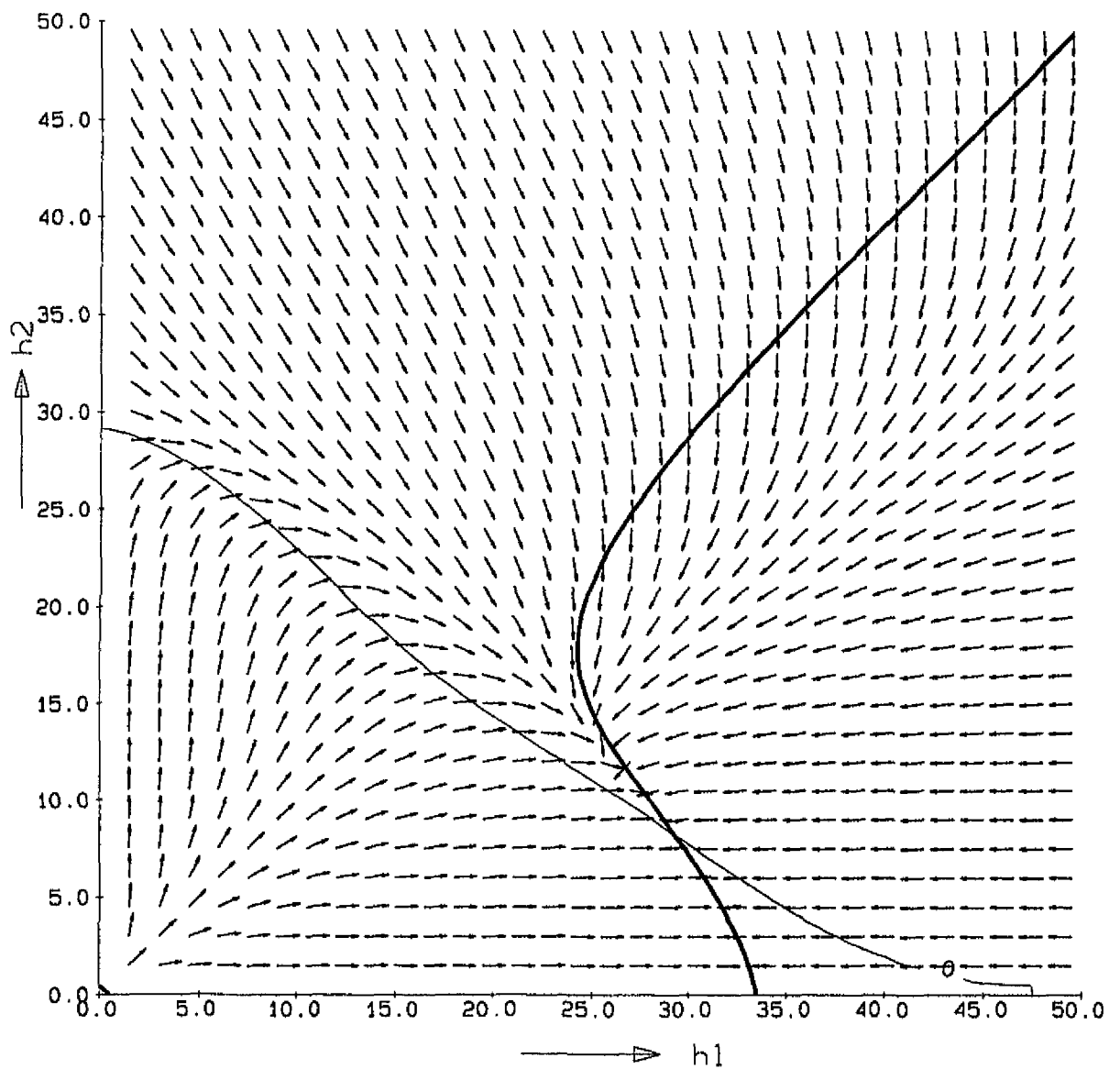
Z2310

Fig.5.1



————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

| | | |
|--|---------------|------------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Symmetrisch geval zonder ingreep Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$ | | 1997-05-27 |
| | Westerschelde | |
| DELFT HYDRAULICS | Z2310 | Fig.5.2 |



————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Symmetrisch geval, 50% van het totale transport boggeren
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

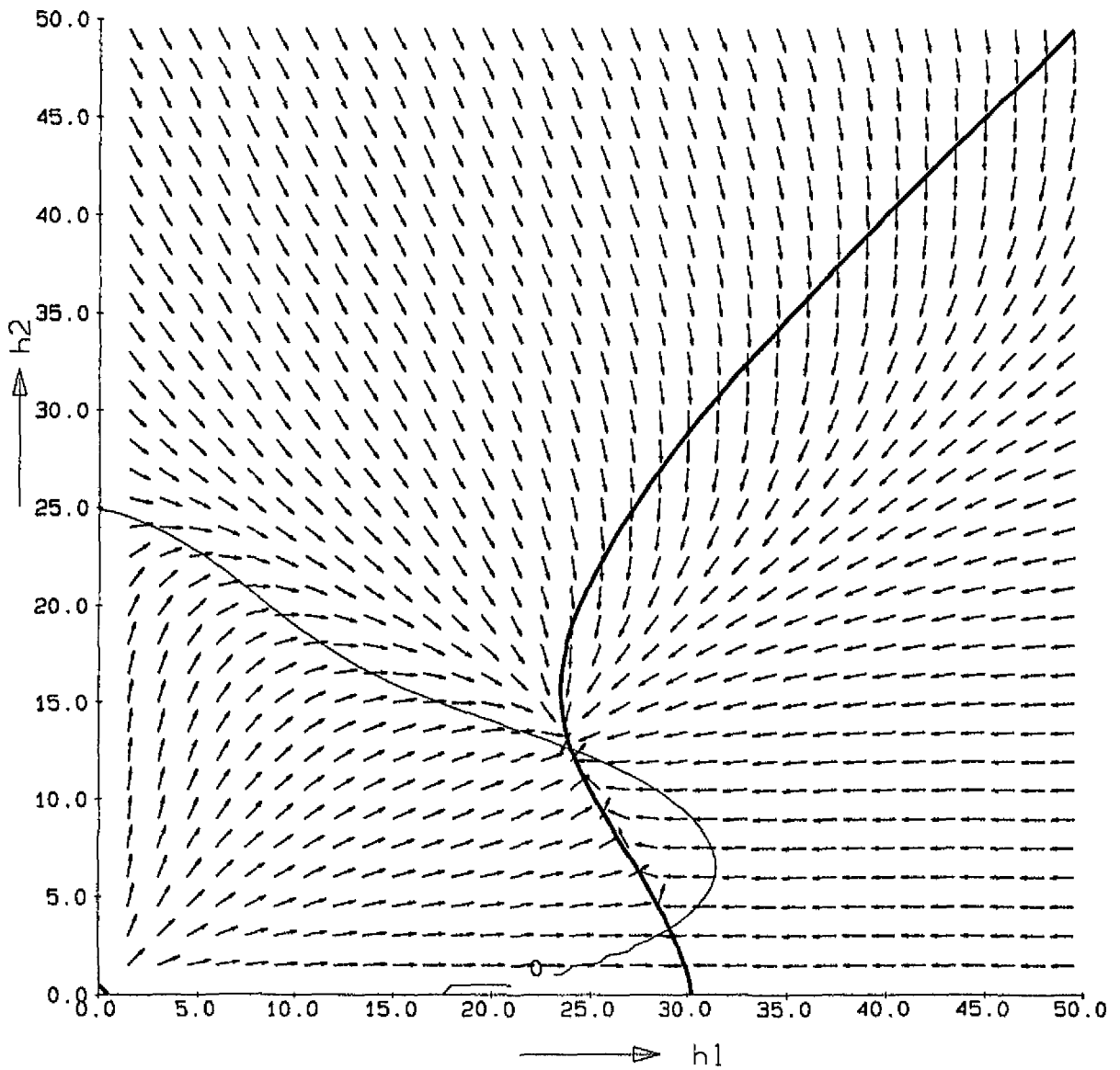
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

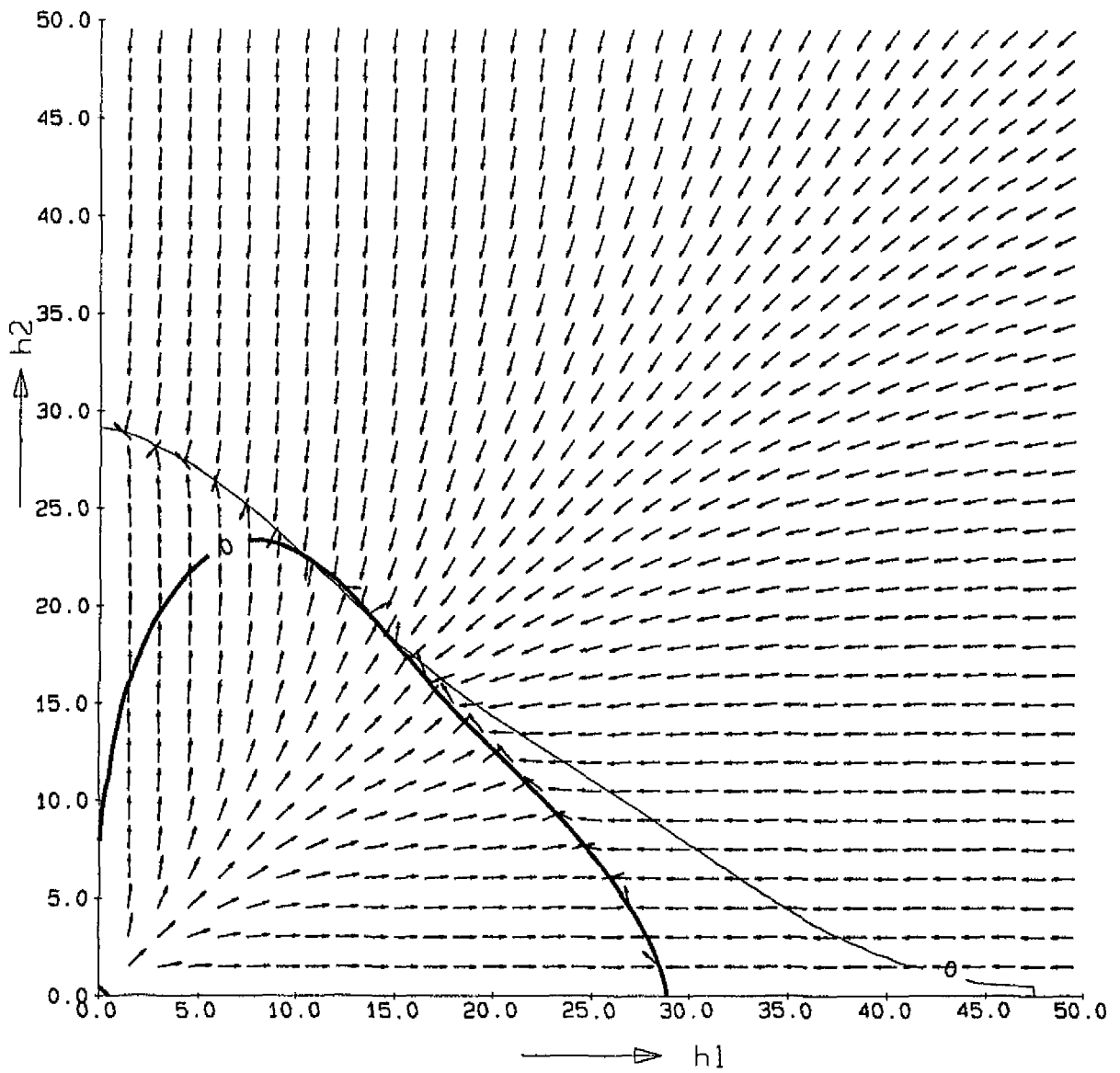
Z2310

Fig.5.3



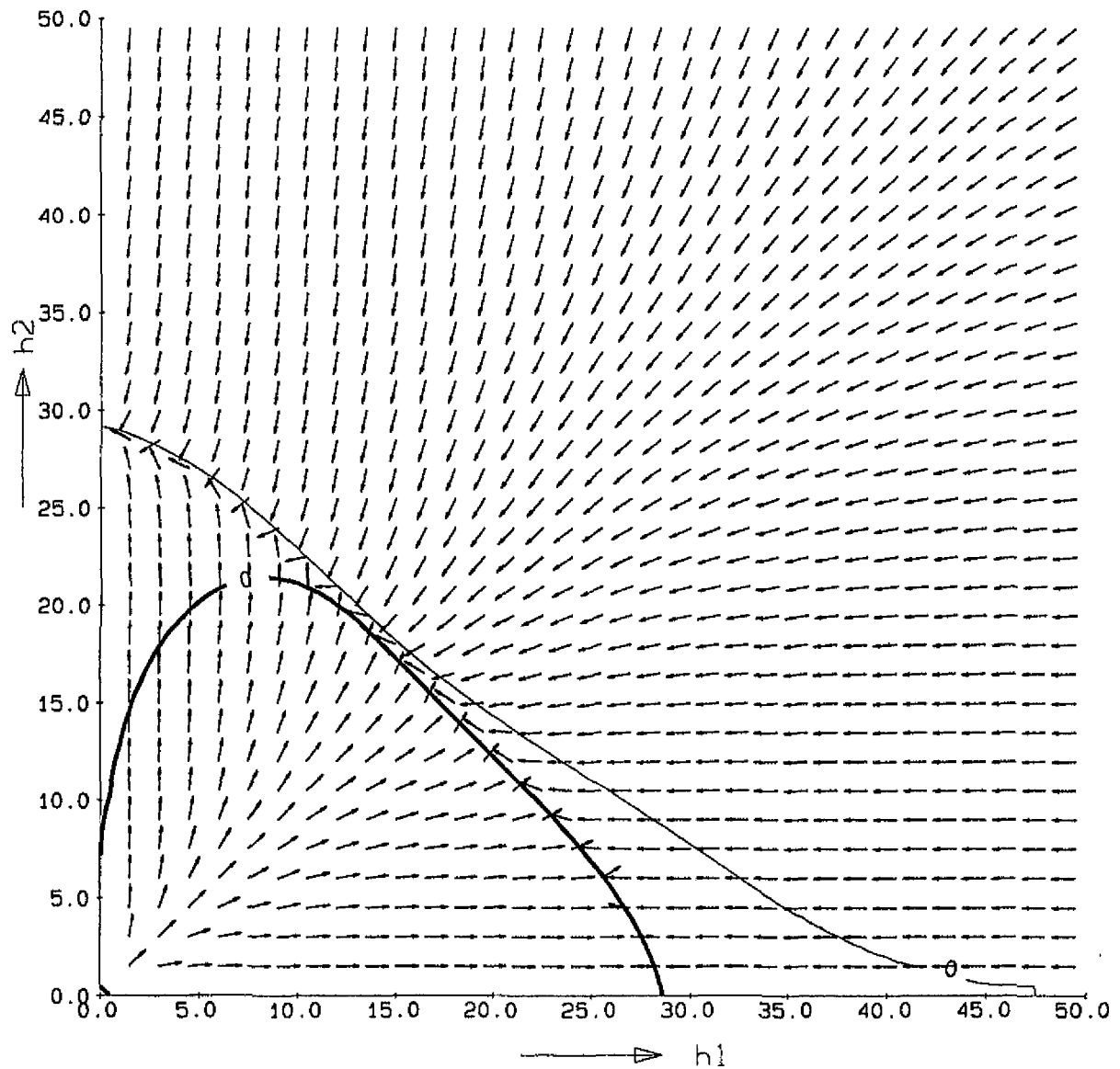
————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

| | |
|--|-------------------------------------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Symmetrisch geval, 50% van het totale transport baggeren Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$ | 1997-05-27 |
| DELFT HYDRAULICS | Westerschelde Z2310 Fig.5.4 |



————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

| | |
|--|-------------------------------------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Symmetrisch geval, 5% van het totale transport starten Transport formule Englund-Honsen, $k=2$ | 1997-05-27 |
| DELFT HYDRAULICS | Westerschelde Z2310 Fig.5.5 |



$dh_1/dt = 0$

 $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Symmetrisch geval, 10% van het totale transport starten
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

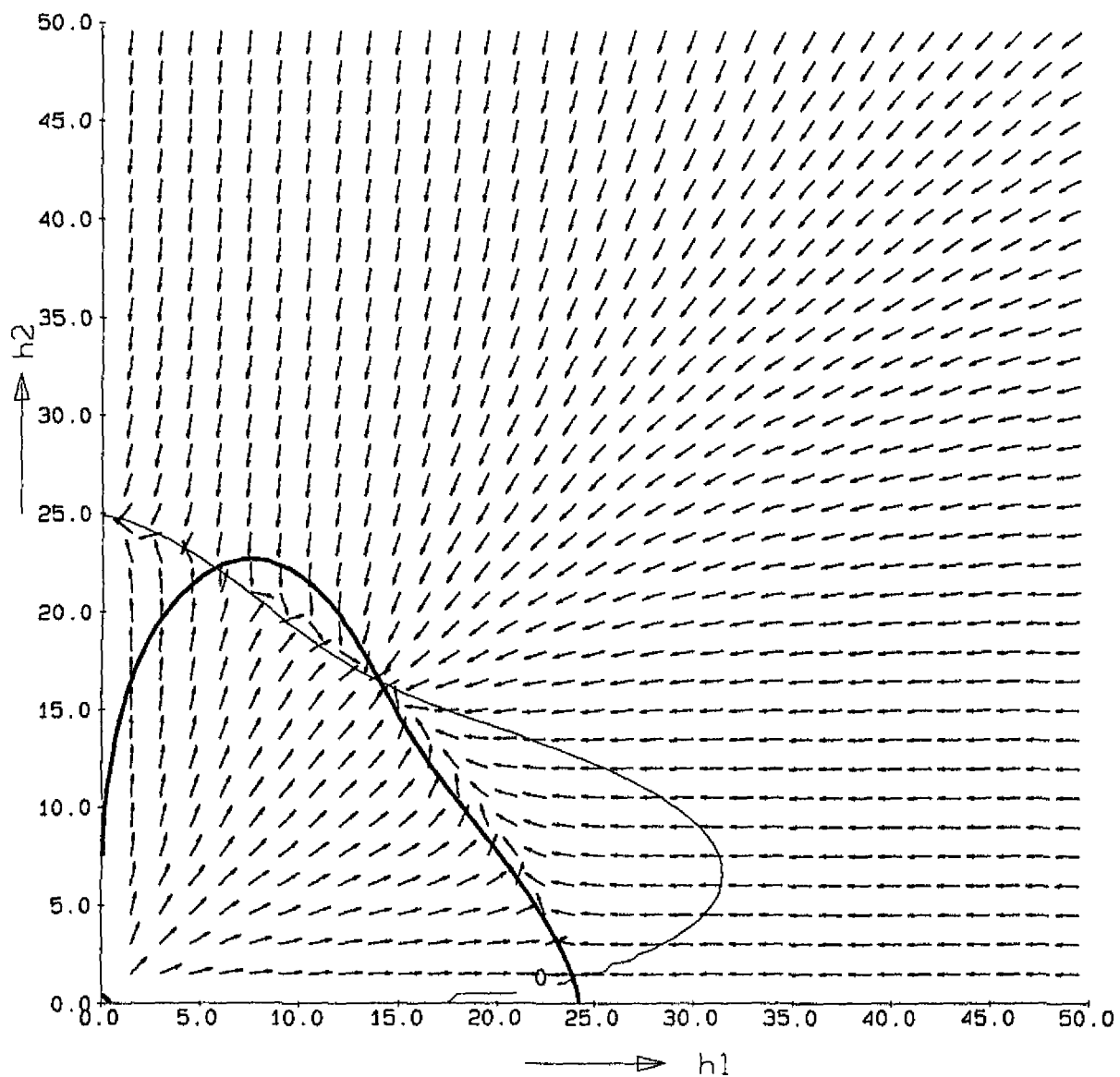
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.6



————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Symmetrisch geval, 10% van het totale transport storten
 Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$

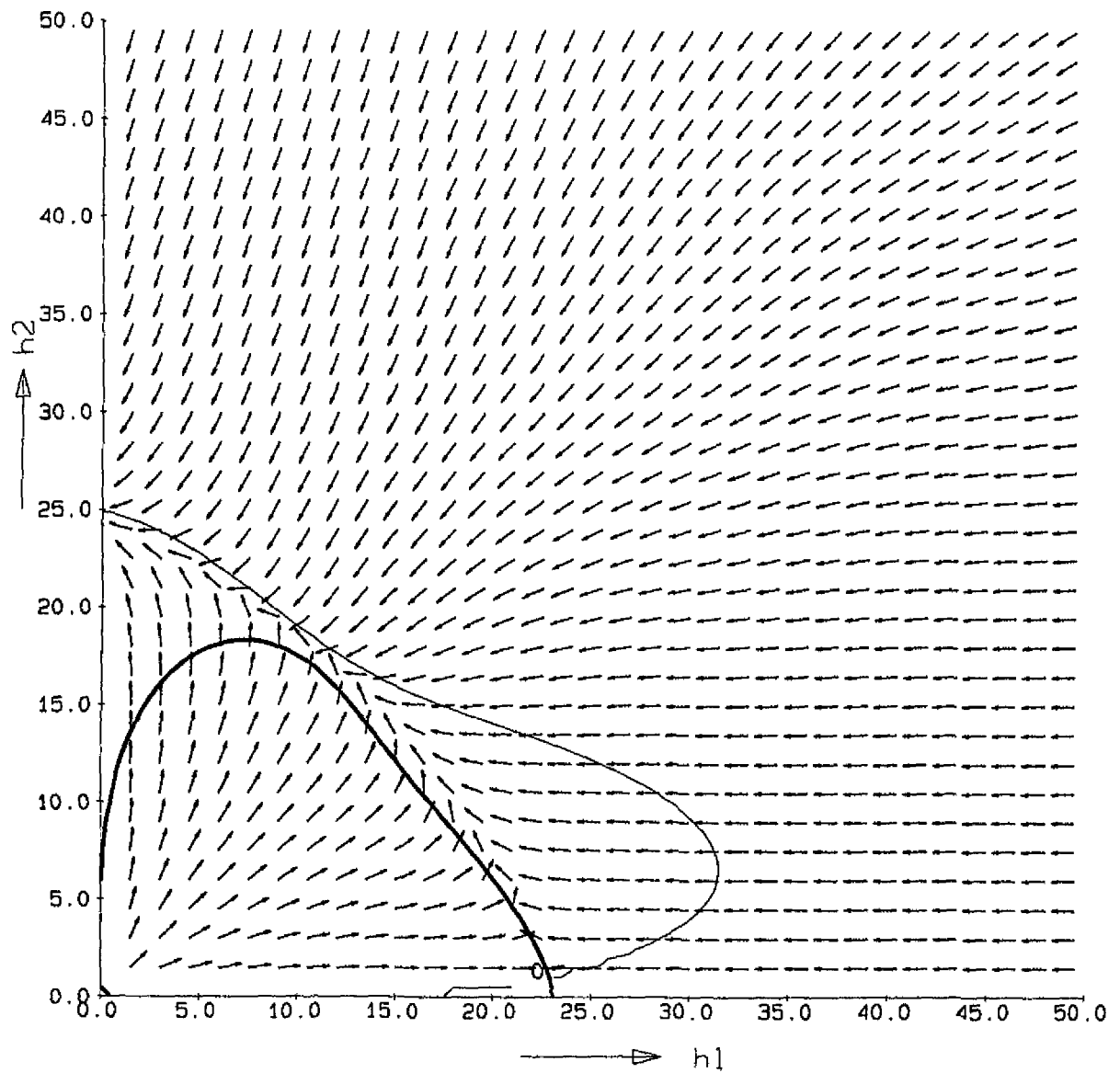
1997-05-27

Westerschelde

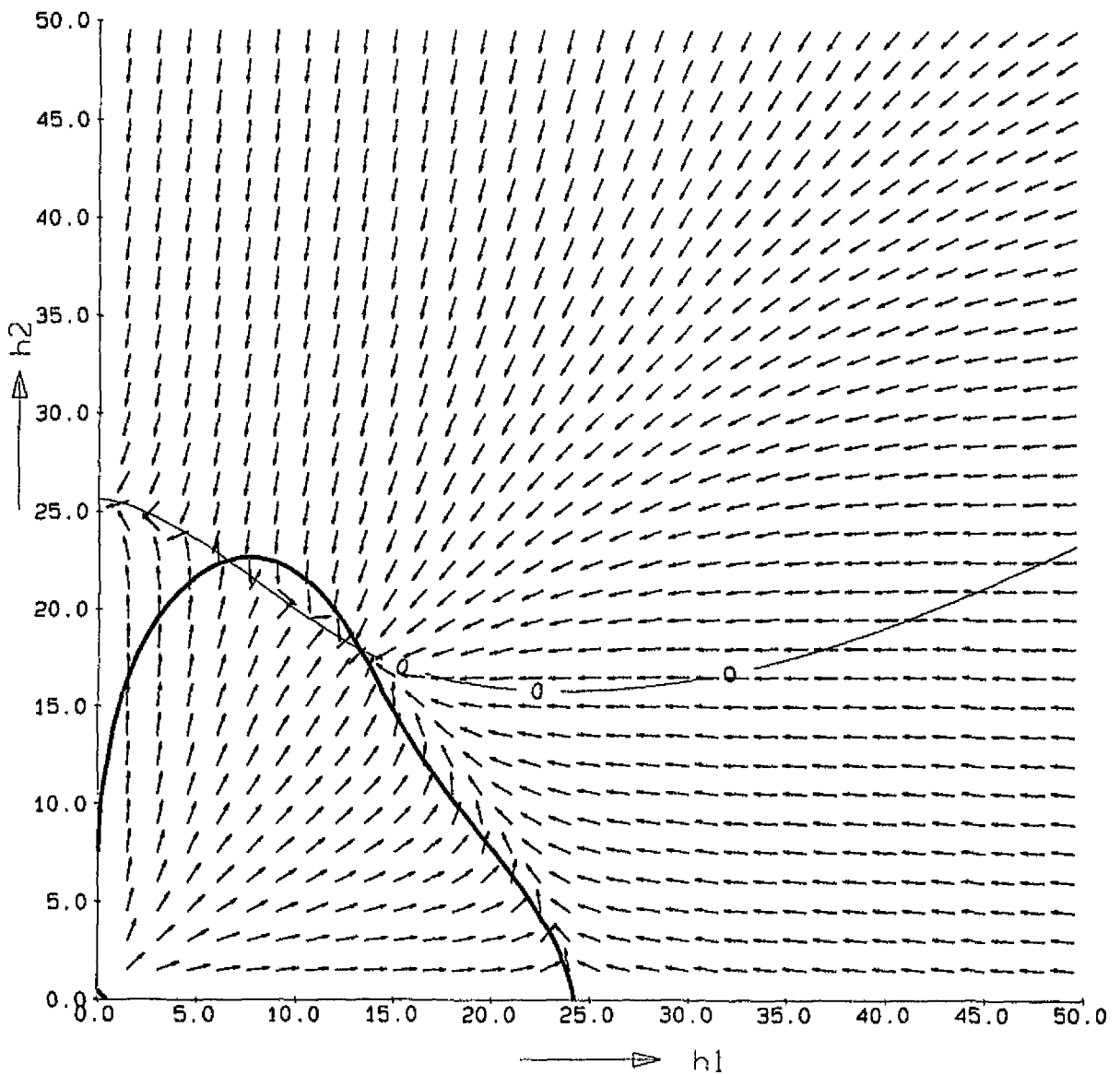
DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.7



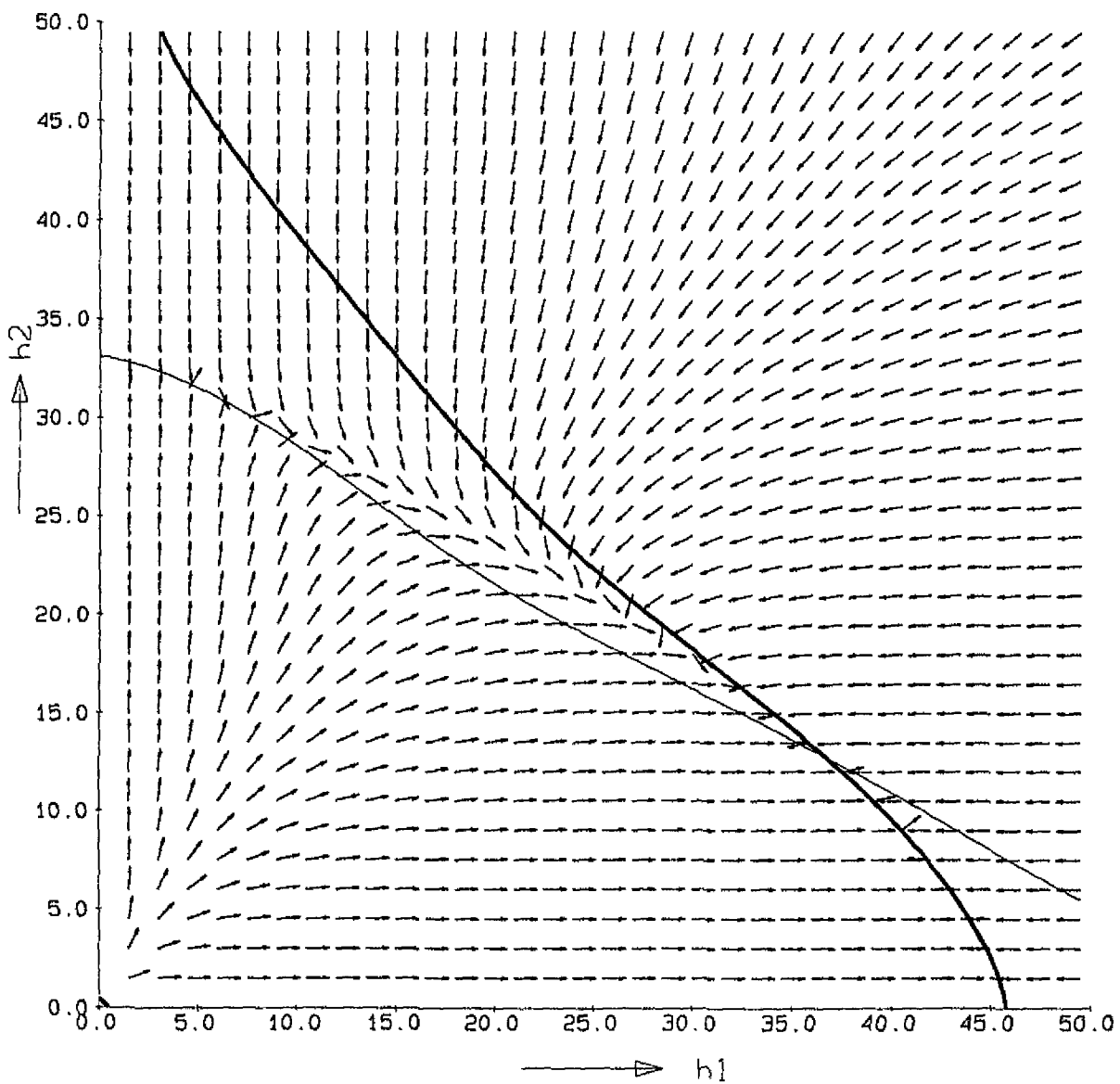
| | | |
|---|---------------|------------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Symmetrisch geval, 30% van het totale transport starten Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$ | | 1997-05-27 |
| | Westerschelde | |
| DELFT HYDRAULICS | Z2310 | Fig.5.8 |



$dh_1/dt = 0$

 $dh_2/dt = 0$

| | | |
|---|---------------|---------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Symmetrisch geval, 10% van S0 baggeren en starten Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$ | 1997-05-27 | |
| | Westerschelde | |
| DELFT HYDRAULICS | Z2310 | Fig.5.9 |



Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Terneuzen-Everingen zonder ingreep
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

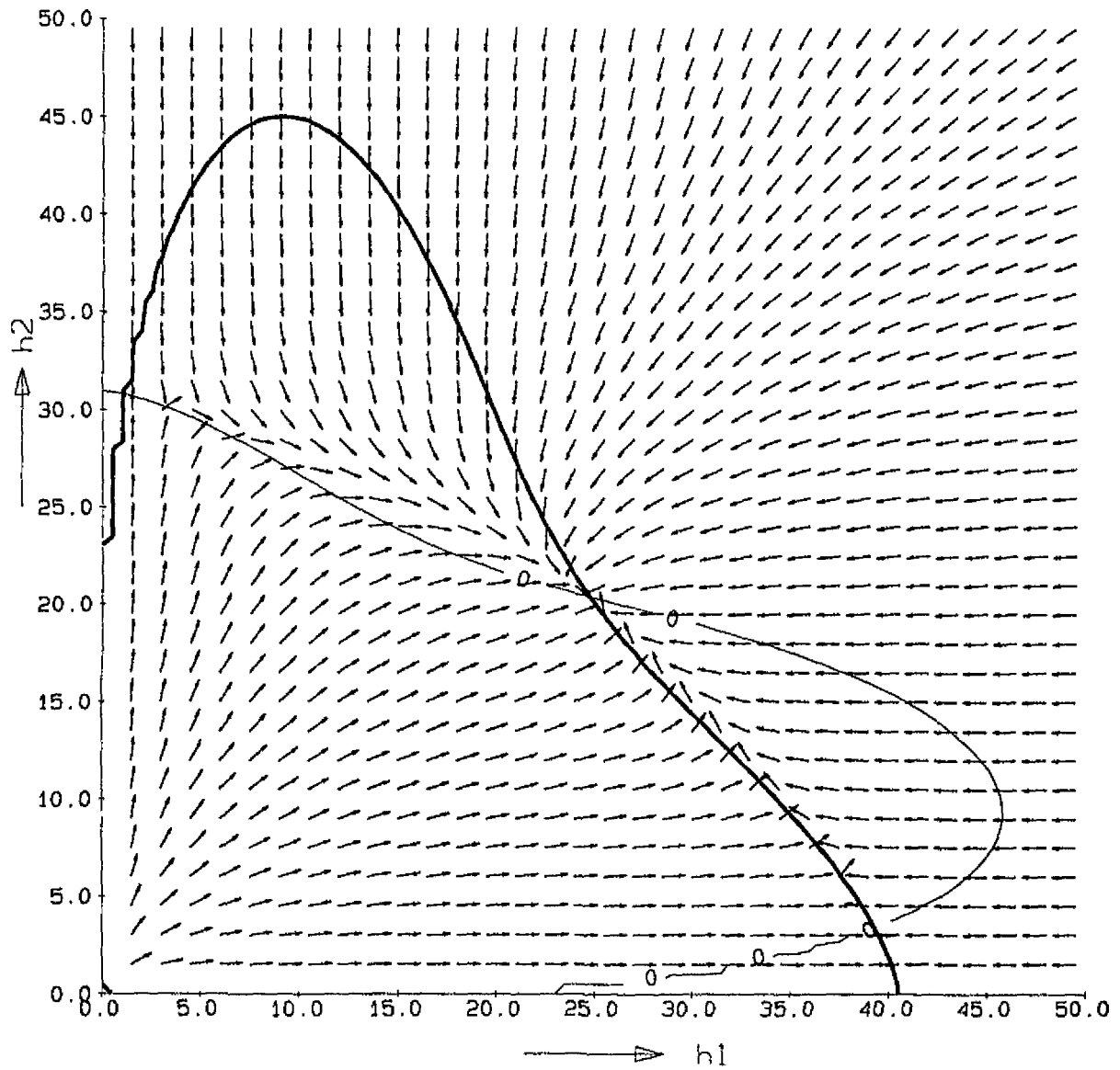
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.10



$dh_1/dt = 0$

 $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Terneuzen-Everingen zonder ingreep
 Transport formule Meyer-Peter-Muller, $k=2$

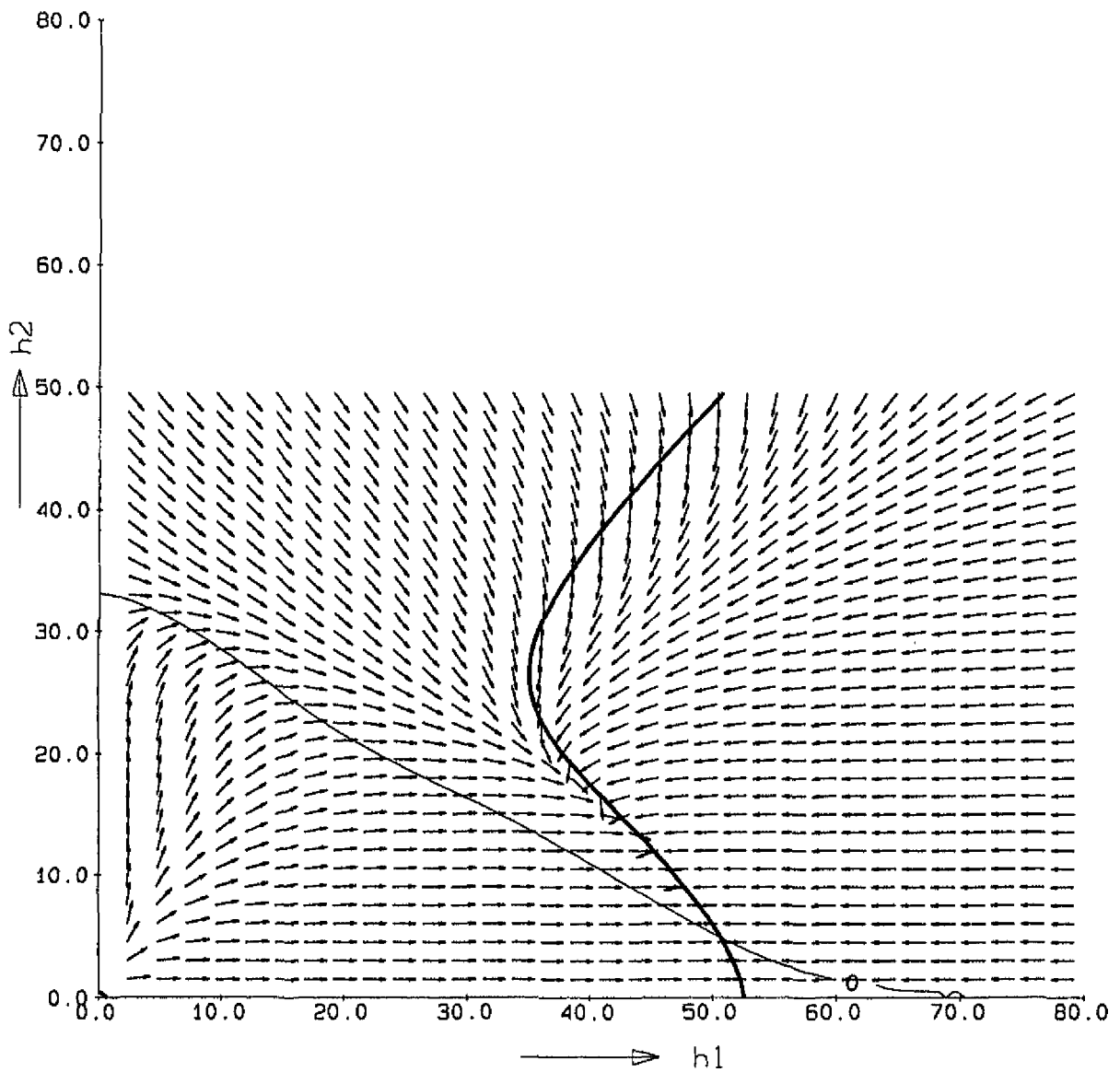
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.11



————— $dh_1/dt = 0$

————— $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Terneuzen-Everingen, 50% van het totale transport baggeren
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

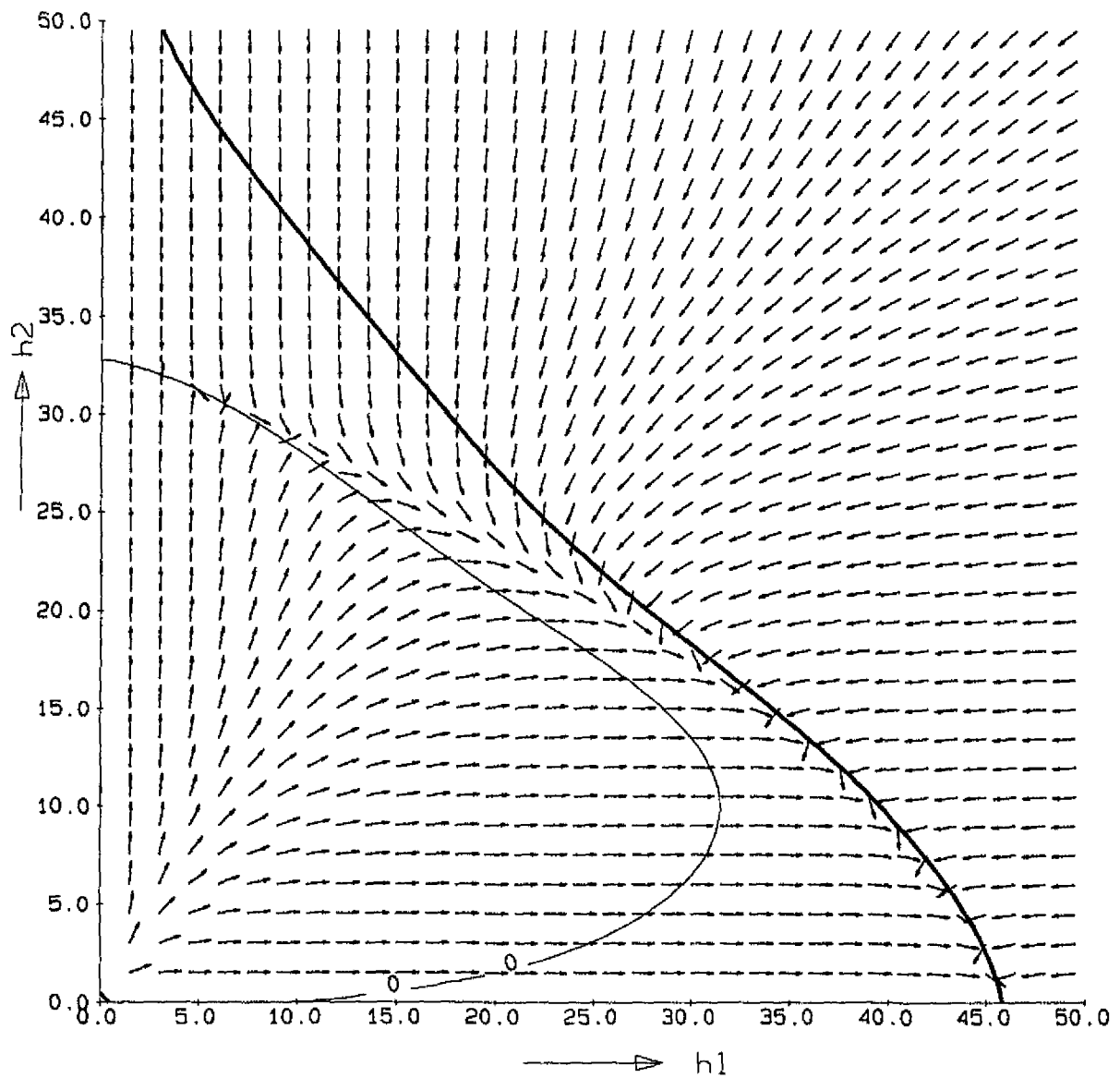
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.12



————— $dh_1/dt = 0$ - - - - - $dh_2/dt = 0$

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Terneuzen-Everingen, 5% van het totale transport starten
 Transport formule Englund-Hansen, $k=2$

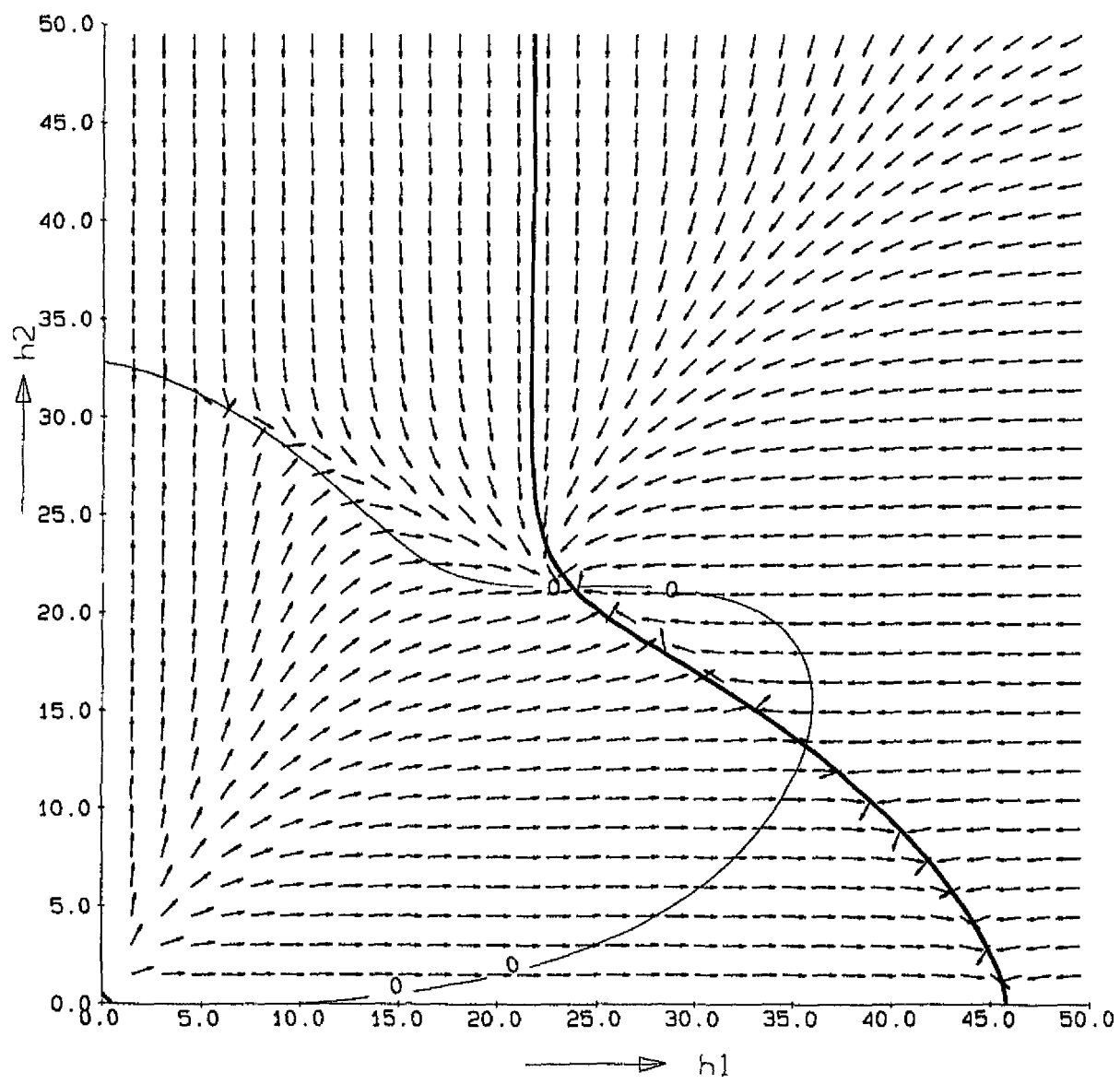
1997-05-27

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z2310

Fig.5.13



$dh_1/dt = 0$
 $dh_2/dt = 0$

| | | |
|--|-------|---------------|
| Evenwichtssituatie en hun stabiliteit Terneuzen-Everingen, 5% van het totale transport starten Transport formule Englund-Hansen, $k=4$ | | 1997-05-27 |
| | | Westerschelde |
| DELFT HYDRAULICS | Z2310 | Fig.5.14 |

DELFT HYDRAULICS

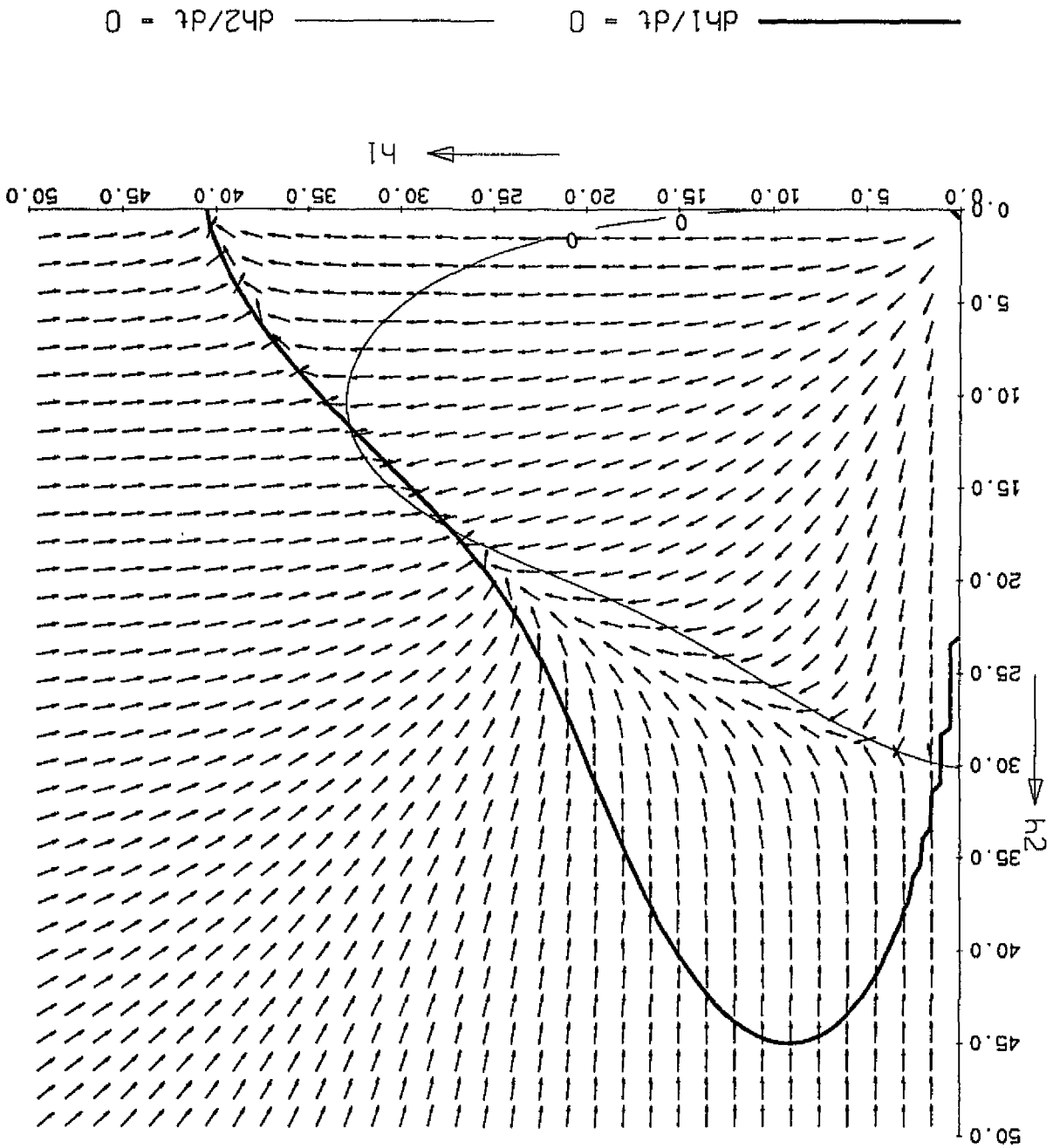
Z2310

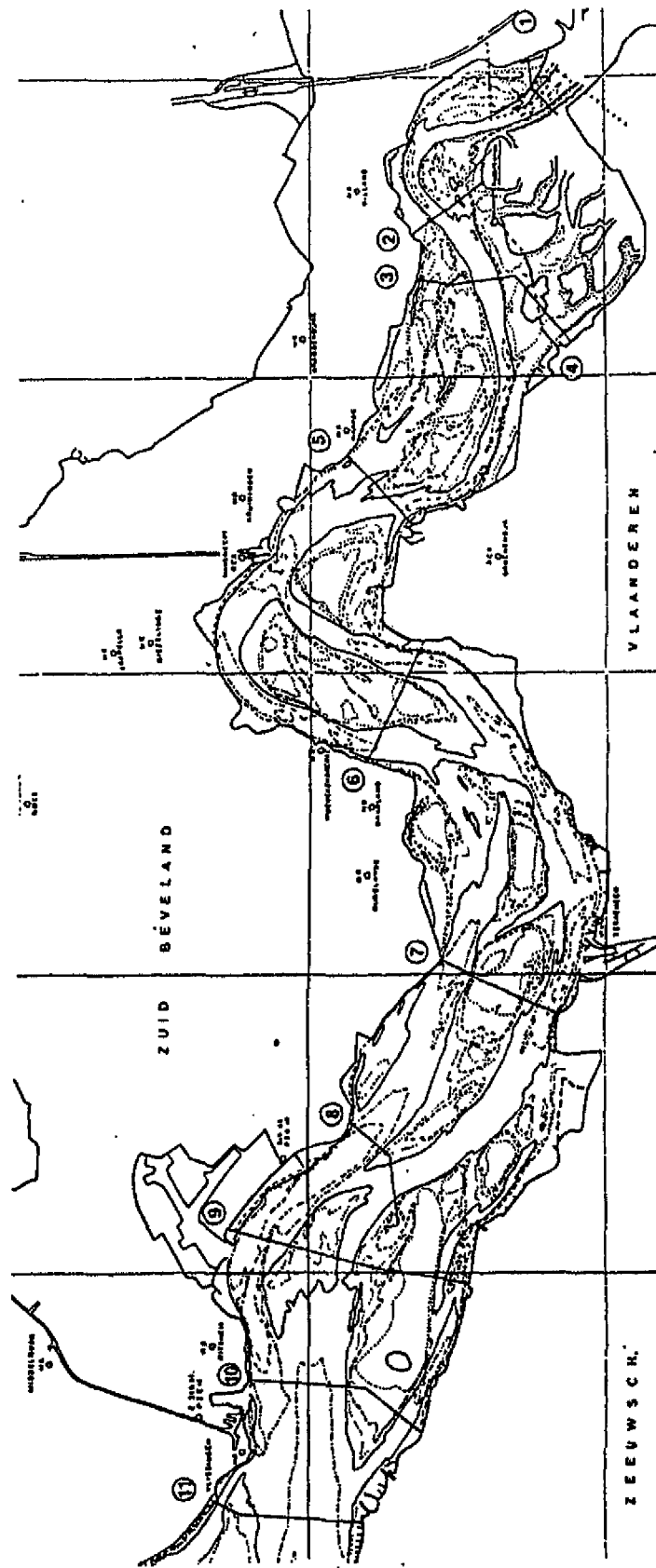
Flg. 5.15

Evenwichtssituatie en hun stabiliteit
 Tenuuzen-Overlingen, 10% van het totale transport storten
 Transport formule Meyer-Peter-Müller, $k=2$

Westerschelde

1997-05-27





Ligging van de debietraaien
Na Storm (1996)

ASMITA

Mei
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2310

Fig.5.16