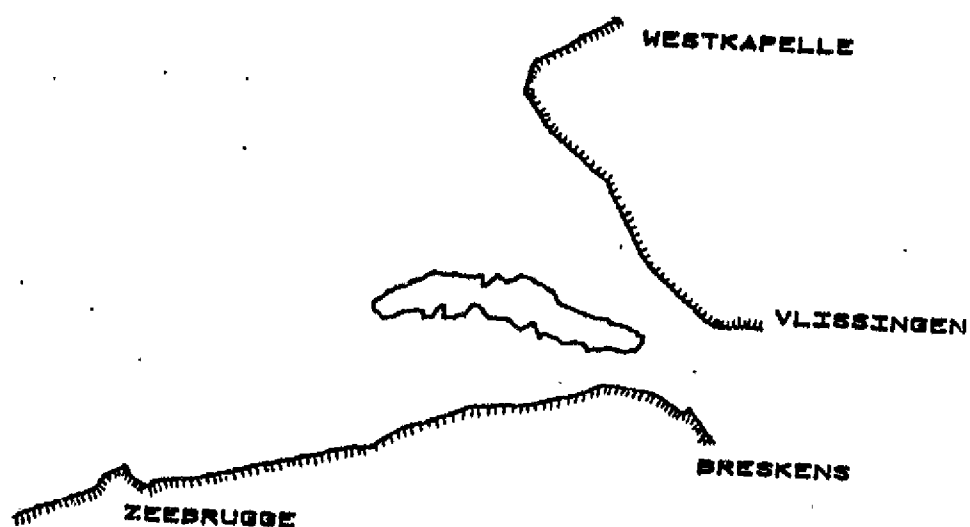


SLIBVERSPREIDINGSONDERZOEK
STORTPLAATS
TEN BEHOEVE VAN
VERDIEPING MONDINGSGEBIED WESTERSCHELDE



PROJEKT 690

JUNI 1986

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING
2. SAMENVATTING, KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN
 - 2.1 SAMENVATTING
 - 2.1.1 Randvoorwaarden voor het slibverspreidingsonderzoek en keuze van de baggermethode
 - 2.1.2 Bepaling stromingstoestand
 - 2.1.3 Het slibverspreidingsonderzoek
 - 2.2 KONKLUSIES
 - 2.2.1 Randvoorwaarden voor het slibverspreidingsonderzoek en keuze van de baggermethode
 - 2.2.2 Bepaling stromingstoestand
 - 2.2.3 Het slibverspreidingsonderzoek
 - 2.3 AANBEVELINGEN
 - 2.3.1 Randvoorwaarden voor het slibverspreidingsonderzoek en keuze van de baggermethode
 - 2.3.2 Bepaling stromingstoestand
 - 2.3.3 Het slibverspreidingsonderzoek
3. OMSCHRIJVING GEVRAAGD ONDERZOEK
 - 3.1 OMSCHRIJVING ONDERZOEK
 - 3.2 METHODOLOGIE
4. HET STROOMMODEL
 - 4.1 INLEIDING
 - 4.2 HET PROGRAMMA FINEL
 - 4.3 RANDVOORWAARDEN WIELINGEN
 - 4.4 IJKING STROOMMODEL
 - 4.5 PRODUKTIE STROOMMODEL

5. HET BAGGERONDERZOEK

- 5.1 ALGEMENE BESCHOUWINGEN I.V.M. HET BAGGERPROCES
- 5.2 ANALYSE VAN INFORMATIE EN GEGEVENS
- 5.3 BEREKENINGSMETHODIEK
- 5.4 BEREKENINGSRESULTATEN
- 5.5 DE WERKBAARHEID
- 5.6 KONKLUSIES

6. VERSPREIDINGSONDERZOEK

- 6.1 INLEIDING
- 6.2 HET PROGRAMMA TRASIL
- 6.3 RANDVOORWAARDEN WIELINGEN
- 6.3.1 Het achtergrondslibgehalte
- 6.3.2 Eigenschappen van het slib
- 6.4 RESULTATEN SLIBMODEL
- 6.4.1 Met afbraak, storting 75 kg/sec.
- 6.4.2 Zonder afbraak, storting 75 kg/sec.
- 6.4.3 Zonder afbraak, na afloop storting
- 6.4.4 Met afbraak, storting 750 kg/sec.
- 6.5 DICHTHEIDSSTROOMEFFEKTEN
- 6.6 KONKLUSIES
- 6.6.1 Verspreiding tijdens baggeren
- 6.6.2 Verspreiding na baggeren.

7. LITERATUUR

Lijst van figuren

Figuur

- 4.1 Modelrand FINEL-schematisatie
- 4.2 FINEL-elementen schematisatie Wielingen
- 4.3 Bodemschematisatie Wielingen
- 4.4 3-D weergave FINEL-bodemschematisatie Wielingen
- 4.5 Schematisatie Zeebrugge 1975 IJkingrun
- 4.6 Schematisatie Zeebrugge Produktierun
- 4.7 Orientatie WAQUA-schematisatie/FINEL-schematisatie
- 4.8 Vergelijking waterstand punt 3-groot (800 m - model)/punt 3-klein (400 m- model)
- 4.9 Bepaling faseverschuiving en amplitudecoefficient voor de punten 1 t/m 9-groot (800 m - model)
- 4.10 Debiet Honte
- 4.11 Debiet vaarwater Hoofdplaat
- 4.12 Debiet Schaar van Spijkerplaat
- 4.13 Waterstand Cadzand IJkingrun 1
- 4.14 Waterstand Breskens IJkingrun 1
- 4.15 Waterstand Cadzand IJkingrun 2
- 4.16 Waterstand Breskens IJkingrun 2
- 4.17 Waterstand Vlissingen IJkingrun 2
- 4.18 Waterstand Westkapelle IJkingrun 2
- 4.19 t/m 4.31 Vergelijking Flachsee/FINEL van 6 uur voor HW t/m 6 uur na HW
- 4.32 t/m 4.44 Vergelijking snelheidsvelden Stroomatlas/FINEL van 6 uur voor HW t/m 6 uur na HW
- 5.0 Overzicht van het te baggeren tracee
- 5.1 Statistische verwerking data tertiaire klei Zeebrugge Havencomplex
- 5.2 Cohesie/Plasticiteitsindex tertiaire klei Zeebrugge
- 5.3 Korrelverdelingsdiagram tertiaire klei Zeebrugge
- 5.4 Kumulatieve korrelgrootte verdelingen van de Boomse Klei
- 5.5 Bezinkingssnelheid en korreldiameter

- 5.6 Gevoeligheid voor verkneding/vloeibaarheidsindex
- 5.7 Hoeveelheid/lokatie holocene klei I
- 5.8 Hoeveelheid/lokatie schoon holocene zand II
- 5.9 Hoeveelheid/lokatie holocene zand met klei en
sliblagen III
- 5.10 Hoeveelheid/lokatie holocene zand met weinig slib
en/of klei II/III
- 5.11 Hoeveelheid/lokatie tertiair materiaal IV

- 6.1 Resultaten valsnelheidsproef
- 6.2 Zakking scheidingsvlak troebel/helder water bij
valsnelheidsproef
- 6.3 t/m 6.14 Slibconcentraties bij lozing van 75 kg/sec droge
stof zonder resuspensie
- 6.15 t/m 6.18 Neergeslagen slib bij lozing van 75 kg/sec droge
stof zonder resuspensie
- 6.19 t/m 6.24 Concentraties slib bij lozing van 75 kg/sec droge
stof met volledige resuspensie
- 6.25 t/m 6.36 Concentraties slib om de 2 uur berekend gedurende
een gehele getijcyclus bij lozing van 75 kg/sec
droge stof met volledige resuspensie
- 6.37 en 6.38 Concentraties slib, 5 getijden na stopzetting
lozing van 75 kg/sec droge stof met volledige
resuspensie
- 6.39 t/m 6.40 Concentraties slib, na 5 getijden lozing van 750
kg/sec droge stof zonder resuspensie
- 6.41 t/m 6.43 Neergeslagen slib na 5 getijden en na einde lozing
van 750 kg/sec droge stof zonder resuspensie
- 6.44 Gebied waar in de loop van een getij de verhoging
van de slibconcentratie boven het achtergrondslib-
gehalte 10 g/m³ bedraagt
- 6.45 Gebied waar in de loop van een getij de verhoging
van de slibconcentratie boven het achtergrondslib-
gehalte 1 g/m³ bedraagt

- 6.46 Sliblaagdikte en bijbehorend oppervlak van de
 slibdeken
- 6.47 Overzicht van invoer en resultaten van het
 slibverspreidingsmodel

1. INLEIDING

In het kader van het plan Verdieping Westerschelde 48'/43' is door Rijkswaterstaat de behoefte gevoeld aan een nader onderzoek met betrekking tot het gedrag van de specie die bij het baggeren van de gewenste diepte in de Wielingen, het Scheur en de Drempel van Vlissingen vrijkomt en die binnen dezelfde morfologische eenheid (het mondingsgebied van de Westerschelde) dient te worden gedumpt.

Het onderzoek behelst zowel het baggerproces als de verspreiding van het gebaggerde materiaal (slib) tijdens en na het baggeren.

Bij overeenkomst nr. Z 2590 werd de opdracht tot dit onderzoek verleend aan Ingenieursbureau SVASEK te Rotterdam.

Terzake van het uit te voeren onderzoek naar het baggerproces heeft Ingenieursbureau Svasek de assistentie ingeroepen van het nederlandse baggeradviesbureau ADC B.V. te 's-Gravenhage, welk bureau een uitgebreide ervaring heeft op dit gebied.

2. SAMENVATTING, KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN

2.1 SAMENVATTING

In de vraagstelling van Rijkswaterstaat werd uitdrukkelijk gesteld dat de verspreiding van slib onderzocht diende te worden d.m.v. een twee-dimensionaal modelonderzoek.

Het onderzoek spitst zich hierop toe.

Globaal kan het onderzoek in 3 gedeelten worden gesplitst:

2.1.1 Randvoorwaarden voor het slibverspreidingsonderzoek en keuze van de baggermethode

Veel aandacht is besteed aan de samenstelling van het te baggeren materiaal en aan de eigenschappen daarvan, met name het percentage dat tijdens baggeren en storten in suspensie komt als functie van de baggermethode. De kosten van de verschillende baggermethoden werden in beschouwing genomen. Middels enkele oriënterende proeven zijn schattingen gemaakt van valsnelheidskarakteristieken van het materiaal.

2.1.2 Bepaling stromingstoestand

De stromingstoestand in het mondingsgebied van de Westerschelde is bepaald m.b.v. het tweedimensionale model FINEL.

Dit model is opgezet met gebruikmaking van randvoorwaarden van verschillende Rijkswaterstaatmodellen en zodanig afgeregeld dat de waterstanden t.p.v. de stations Breskens, Vlissingen, Cadzand en Westkapelle een goede overeenstemming geven met de werkelijkheid. Het stroombeeld is vergeleken met (globale) beschikbare gegevens in het mondingsgebied.

Vervolgens is voor een periode van 5 getijden het stroombeeld in het mondingsgebied bepaald en in stappen van een half uur opgeslagen t.b.v. de invoer van het slibverspreidingsmodel.

2.1.3 Het slibverspreidingsonderzoek

De totale fraktie $< 60 \mu$ = 1290 miljoen kg droge stof is het uitgangspunt van de berekening.

In het slibverspreidingsmodel zijn verschillende situaties onderzocht die tezamen een beeld geven van de mogelijke direkte verspreiding van het gebaggerde en gestorte type materiaal (slib).

Deze situaties zijn:

- tijdens baggeren met beperkte lozing zonder resuspensie
- idem met volledige resuspensie
- idem met grote lozing zonder resuspensie
- na afloop van het baggergebeuren.

Bij de beperkte lozing wordt uitgegaan van een gelijkmatige lozing van de fraktie $< 60 \mu$ gedurende het gehele baggerproces (75 kg/sec gedurende ca 7 maanden).

Bij de grote lozing wordt aangenomen dat deze fraktie versneld wordt weggebaggerd (750 kg/sec gedurende ca 1 maand).

Op basis van de resultaten zijn konklusies getrokken ten aanzien van de verspreiding van het slib qua gebiedsgrootte en dikte van de slibdeken en het risico dat badstranden als gevolg van de lozing zullen vervuilen. Tenslotte is een beperkte studie verricht naar het risico dat tijdens het baggeren een direkte retourstroom ontstaat van het stortgebied naar de geul.

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 6.3 t/m 6.47. De concentraties dienen gezien te worden als een concentratieverhoging ten opzichte van het achtergrondslibgehalte, dit in verband met het sterk wisselende karakter van dit slibgehalte naar plaats en tijdstip.

Een oriënterende studie werd gedaan naar dichtheidsstroom-effecten (zie 6.5). Het wel of niet ontstaan hiervan zal afhangen van de wijze van storten.

2.2 KONKLUSIES

2.2.1 Randvoorwaarden slibverspreidingsonderzoek en keuze baggermethoden

De eigenschappen van de slibfractie in de baggerspecie zijn vastgesteld op grond van vergelijking met waarden uit de literatuur (Chao Phya River Bangkok; Thames Estuary; Eemsmonding) en een valproef op een monster uit de holocene klei. De gelegenheid ontbrak om valproeven bij verschillende dichtheden op meerdere monsters te doen. Dit gegeven samen met onbekendheid over de aard van het achtergrondslib veroorzaakt onzekerheid over de slib-karakteristieken, vooral wat betreft het gedrag over een langere tijd dan enige getijden.

De keuze van de baggermethode spitste zich met name toe op de verwerking van het tertiaire materiaal. Het holocene materiaal (zand, slib en klei) kan eenvoudig met sleepzuigers gebaggerd worden.

Wegens onvoldoende gegevens over de tertiaire klei is de keuze van de baggermethode slechts indicatief:

- een cutterzuiger die de grond loswoelt gevolgd door een sleepzuiger die de specie ophaalt
- indien de eigenschappen van het materiaal geschikt blijken voor stroomresistente opvulling en afdekking van turbulentiegaten dient voor een emmerbaggermolen dan wel een backhoe gekozen te worden
- in geval van weinig samenhang kan aan een cutterzuiger met een scheprad voor desintegratie en vervolgens wegsputten buiten het tracee via een persleiding gedacht worden.

De berekende hoeveelheden zijn als volgt (W = Wielingen, D = Drempel van Vlissingen):

Type		In situ m ³	m ³	Droge stof < 60 µ %	kg
WI	Holocene klei	768.000	430.100	60	366,34 * 10 ⁶
WII	Holoceen zand	7.414.000	3.965.000	1,2	124,55 * 10 ⁶
WIII	Holoceen zand met slib & klei	1.765.000	44.165	5,5	117,04 * 10 ⁶
WII- III	Holoceen vuil zand met klei slib	707.000	353.500	3,4	31,80 * 10 ⁶
WIV	Tertiair mate- riaal	1.790.000	975.000	25	645,9 * 10 ⁶
DII	Holoceen zand	400.000	206.000	0,7	3,98 * 10 ⁶
Totaal droge stof < 60 µ:					1290 * 10 ⁶ kg

Het holocene zand (WII en DII) is uitstekend geschikt voor strandsuppletie, het holocene vuile zand (WII-III) eventueel.

2.2.2 Bepaling stromingstoestand

De ijking op de waterstandsmetingen van Vlissingen, Breskens en Cadzand (zie figuren 4.15 t/m 4.17) is alleszins bevredigend.

Westkapelle (fig. 4.18) geeft een afwijking in de amplitude. Dit valt mogelijk te wijten aan randeffekten en moet ook al vanwege de diepe geul voor de kust en de scherpe punt richting Domburg in het model niet als verontrustend beschouwd worden.

De ijking op de Flachseemetingen (fig. 4.19 t/m 4.31) vertoont geen systematische afwijkingen en de vergelijking met de geïnterpreteerde gegevens uit de stroomatlas zijn bevredigend (fig. 4.32 t/m 4.44).

Op basis van deze vergelijkingen wordt gekonkludeerd dat de betrouwbaarheid voldoende is voor het slibverspreidingsmodel.

2.2.3 Het slibverspreidingsonderzoek

Een overzicht van de invoer en de resultaten van het slibverspreidingsmodel is gegeven in figuur 6.47.

- De belangrijkste konklusie uit het slibverspreidingsonderzoek is dat er ter plaatse van het stortgebied een duidelijk zeewaarts gerichte reststroom heerst. Deze verzorgt een volledige verversing van het beschouwde gebied in ca 10 getijden en voorkomt bovendien dat grote concentratieverhogingen de stranden bereiken.

In figuur 6.44 en 6.45 staan de uiterste grenzen aangegeven van de gebieden waar in de loop van een getij tijdens de lozing van 75 kg/sec droge stof concentratieverhogingen ten opzichte van het achtergrondslibgehalte van respectievelijk 10 en 1 mg per liter optreden.

De verhoging van 10 mg/l beslaat een gebied van ca 225 km², deze verhoging zal niet de kust bereiken. De verhoging van 1 g/m³ zal zowel op Walcheren als in Zeeuws Vlaanderen de kust bereiken, doch deze verhoging is gering ten opzichte van het achtergrondslibgehalte in de Wielingen wat in de zomer varieert van 25 tot 150 mg/l bij maximum stroom en van 10 tot 50 mg/l op de kentering. In de winter zullen deze waarden ongeveer het dubbele bedragen.

- Het tempo van lozing van het slibrijke materiaal is van belang voor het percentage van de slibfractie dat in het mondingsgebied neerslaat.
Bij een gelijkmatige verdeling over de totale baggeractiviteiten (ca 7 maanden) zal ongeveer de helft van het slib neerslaan in het mondingsgebied. Indien bijvoorbeeld de holocene klei versneld wordt weggebaggerd dan zal de slibfractie praktisch geheel in het mondingsgebied neerslaan.
- In figuur 6.46 is de relatie tussen de dikte van de sliblaag en het oppervlak van de slibdeken gegeven voor een lozing verspreid over 7 maanden (75 kg/sec) en een lozing in kortere tijd (750 kg/sec gedurende één maand).
- Het wel of niet ontstaan van een dichtheidsstroom zal afhangen van de wijze van storten. Indien een dichtheidsstroom ontstaat is het waarschijnlijk dat deze inderdaad in de geul terechtkomt.

2.3 AANBEVELINGEN

2.3.1 Randvoorwaarden slibverspreidingsonderzoek en keuze baggermethode

- Het opzetten van een meetsysteem voor de kwaliteit van de badstranden in de huidige ongestoorde situatie, teneinde eventuele veranderingen tijdens de uitvoering van het werk op adequate wijze te kunnen bemeten. Hetzelfde geldt voor gebieden in zee: over langere tijd zou op systematische wijze en op verschillende hoogtes boven de bodem het achtergrondslibgehalte in kaart moeten worden gebracht.
- Het uitvoeren van laboratoriumonderzoek naar het gedrag (met name valsnelheid en resuspensie als functie van de consolidatiegraad) van zowel het holocene als het tertiaire slib.
- Het uitvoeren van aanvullend grondonderzoek met laboratoriumproeven naar de samenstelling van de tertiaire laag.
- Het nader uitwerken van de te kiezen baggermethode in het licht van deze grondeigenschappen en de werkbaarheid/produktie in open zee (misschien blijkt zelfs een sleepzuiger met verzwaarde sleepkop een mogelijkheid).
- Ter beperking van de kans op het ontstaan van een dichtheidsstroom wordt aanbevolen om de wijze van storten zo diffuus mogelijk te maken bij een lage stortsnelheid.

2.3.2 Bepaling stromingstoestand

- De conclusies van dit onderzoek zijn gebaseerd op de getijsituatie van 2, 3 en 4 september 1975. Het is niet uitgesloten dat bij andere getijsituaties met name springtij en storm de slibwolk over een groter gebied wordt verspreid.
- Indien de verspreiding van de slibwolk ten westen van het onderzoeksgebied en een eventuele retourstroom vanuit het Noorden van belang wordt geacht is uitbreiding van het stroommodel gewenst.

2.3.3 Het slibverspreidingsonderzoek

- Het nader analyseren van de slibverspreiding in een groter gebied dan thans is gezien met scherper gedefinieerde eigenschappen van het slib dan thans kon worden bereikt.
- Een met behulp van proeven te staven nader onderzoek naar het optreden van een dichtheidsstroom van stortplaats naar geul.

3. OMSCHRIJVING GEVRAAGD ONDERZOEK

3.1 OMSCHRIJVING ONDERZOEK

Het gevraagde onderzoek, als omschreven in bijlage nr. 1 bij overeenkomst nr. Z2590, kan als volgt worden samengevat:

3.1.1 Inleiding

In opdracht van de Technische Scheldecommissie dient onderzoek uitgevoerd te worden naar de verdieping van Scheur en Wielingen, in het kader van de verdieping van de Westerschelde. De in de Wielingen te baggeren hoeveelheid bedraagt in de beun gemeten 20 à 22 miljoen m³ en is sterk slibhoudend (deels Boomse klei).

Een potentiële stortplaats is geprojecteerd langs de rechteroever van de Wielingen. De mogelijkheden en risico's van deze stortplaats moeten worden onderzocht.

3.1.2 Morfologisch onderzoek

Ten behoeve van het morfologisch onderzoek van het te verdiepen gedeelte in de Wielingen zal door RWS en RGD het volgende onderzoek worden uitgevoerd:

- steekboringen met luchthamercorer
- aanvullend onderzoek met subbottom profiler
- tekenen van lengte- en dwarsprofielen van de bodem
- boorbeschrijving en zeefkrommes.

3.1.3 Uit te voeren onderzoek

Het onderzoek valt te onderscheiden in:

- A) baggerproces
- B) verspreiding van materiaal vanaf de stortplaats.

A. Baggerproces

- inventarisatie praktijkgegevens van elders inzake baggeren van kwartair materiaal en Boomse klei
- advisering over de wijze van baggeren met betrekking tot de gevolgen voor suspensie
- advisering over baggerprocedure met zo min mogelijk suspensie
- advisering en uitwerking van laboratoriumproeven naar valsnelheid van gesuspendeerd slib en cohesie van gebaggerde specie
- advisering over de gevolgen van de baggerprocedure voor de kosten.

B. Verspreiding van slib

Geadviseerd dient te worden over de gevolgen van baggeren en storten voor de gehalten aan slib.

In concreto:

- ruimtelijk beeld verhogingen over mondingsgebied voor "steady state" tijdens de baggerperiode
- idem na afloop baggerperiode: gedrag stortplaats en termijn resuspensie
- verwachte verhoging slibgehalte van badstranden Zeeuwsch-Vlaanderen en Walcheren
- gevaar van retourtransport van specie vanaf de stortplaats naar de vaargeul?
- afzettingsgebieden van slib en geschatte laagdikte.

Dit alles uitgevoerd met een twee-dimensionaal mathematisch model.

3.1.4 Beschikbare gegevens

Stroomsituatie stortplaats rechteroever Wielingen.

RWS zal metingen uitvoeren op de stortplaats:

- Flachseemeting in centrum stortplaats
- 13-uursmeting in 2 vertikalen van stroom, richting, slib- en zandconcentratie
- golfwaarnemingen gedurende 1 jaar
- gegevens t.b.v. morfologisch onderzoek worden beschikbaar gesteld
- WAQUA-schematisatie
- dieptelijnen kaarten
- waterstand- en snelheidsgegevens van het gehele gebied
- stroomsnelheden uit stroomatlas
- waterstanden continue meetlokaties
- achtergrond slibgehalte in onderzoeksgebied.

3.2 METHODOLOGIE

Het geproduceerde stroommodel diende samen met de resultaten van het baggeronderzoek wat betreft de te verwachten hoeveelheid materiaal die in suspensie gaat, als basis voor het verspreidingsonderzoek.

Het baggeronderzoek resulteerde na uitgebreide bestudering en interpretatie van de beschikbare gegevens alsmede door een vergelijking met soortgelijke elders (Boom, Zeebrugge) voorkomende gronden en het doen van aanvullende proeven op enige relevante monsters in de keuze van de baggermethode en een bepaling van de hoeveelheid materiaal die in suspensie gaat (fraktie $< 60 \mu$)

Voor het stroommodel waren als randvoorwaarden 5 getijden (om het half uur) van het 400 m - model van het mondingsgebied van de Westerschelde beschikbaar en 3 getijden (om het uur) van het WAQUA 800 m- model voor de Noordzee in dezelfde periode. De zeeranden van het 400 m - model waren te krap bemeten voor het onderzoek.

Door toepassing van een faseverschuiving en een amplitude coëfficiënt werd het getij uit het 400 m - model kloppend gemaakt met de 3 getijden uit het 800 m - model en vervolgens cyclisch gemaakt na 5 getijden.

De resultaten van het verspreidingsmodel dienen gesuperponeerd te worden op het achtergrond slibgehalte. Op grond van de volgende overwegingen is dit achtergrond-slibgehalte niet meegenomen in de berekening:

- De thans gesimuleerde situatie is ongunstiger dan met het achtergrondslibgehalte: invoering van het achtergrondslibgehalte geeft hogere concentraties en er zal dus meer neerslaan dan nu het geval is.
- Het doorrekenen naar een evenwichtssituatie duurt zonder achtergrondslibgehalte langer, maar geeft een beter beeld: gehalten van 10 mg/l zouden al in de achtergrondruis wegvallen. Doorrekenen van 10 naar 0 duurt langer dan doorrekenen van 60 naar 50 mg/l.
- Er zijn sterke aanwijzingen dat het achtergrondslibgehalte voor een groot deel andersoortig is: sneller neerslaat en sneller in suspensie komt, en wel binnen het tijdsbestek van 1 getij.
- De verdeling van het achtergrondslibgehalte in het mondingsgebied is slechts globaal bekend en vertoont een grillig karakter.

Het probleem van de mate waarin resuspensie zal optreden werd opgelost door twee uiterste gevallen door te rekenen tot evenwicht:

- Een zo goed mogelijk benaderde afbraak zonder resuspensie.
- Volledige resuspensie (dus geen afbraak).

4. HET STROOMMODEL (model van de waterbeweging)

4.1 INLEIDING

De waterbeweging is beschreven met behulp van het 2-dimensionale model FINEL. In het slibonderzoek wordt in principe telkens de "steady state" bepaald, d.w.z. dat zo lang wordt doorgerekend, dat opwoeling, verspreiding, bezinking en afvoer via de open zee-randen, gemiddeld over het getij gezien, met elkaar in evenwicht zijn. Dit stelt eisen aan de omvang van het model. Bij een maximum getijstroom van 1 à 1,5 m/s bedraagt de afgelegde afstand van het water over een half getij ca. 9 km. Rekening houdend met diffusie en een bezinkingstijd van enige getijden alsmede een reststroom van enkele kilometers per getij is de grootte van het model in alle richtingen gemeten vanaf de stortplaats ca. 15 km.

De omvang van het model bedraagt dan:

- oostelijke grens : raai Vlissingen-Breskens
- westelijke grens : lijn 3 08' OL
- zuidelijke grens : kust (Zeeuws) Vlaanderen
- noordelijke grens : lijn 51 34' NB

De oppervlakte van het model is dan ca. 570 km² (zie figuur 4.1).

Ten behoeve van een goede weergave van plaatranden en geulen in het model wordt een gemiddelde vakgrootte per element van ca. 0.5 km² voldoende geacht (varierend van 2 tot ca. 0,05 km²).

Het aantal elementen komt daarmee uit op ca. 1150. (zie figuur 4.2).

De bodemschematisatie is gebaseerd op de dieptelijnenkaarten schaal 1:10.000/1:25.000 van de opneming 1973-1975. (zie figuur 4.3). In figuur 4.4 wordt een 3-dimensionale weergave van de bodem gepresenteerd.

De randvoorwaarden van het stromingsveld aan de open zeerland en op de rand Vlissingen-Breskens werden geleverd door het WAQUA-model.

IJking vond plaats door vergelijking met de gemeten waterstanden in de periode 2-5 september 1975 van de lokaties Vlissingen, Breskens, Cadzand en Westkapelle, alsmede door vergelijking met de stroommetingen met Zeekoe (Flachsee) tijdens gemiddelde tij 1970-1971 en een interpretatie van gegevens uit de stroomatlas door Rijkswaterstaat.

Alvorens tot produktie van het stroommodel over te gaan zijn eerst de sedert 1975 aangelegde havendammen bij Zeebrugge in de schematisatie aangebracht. (Zie figuur 4.5 en 4.6).

4.2 HET PROGRAMMA FINEL

FINEL is een eindig elementen model voor de numerieke berekening van waterstanden en over de diepte gemiddelde snelheden in estuaria en kustgebieden.

De lange golfvergelijkingen worden omgezet in een omvangrijk stelsel van gewone differentiaalvergelijkingen, dat wordt opgelost door middel van een half-impliciete Euler-methode. Het voordeel van de eindige elementen methode boven de eindige differentie methode ligt in de betere aanpassingsmogelijkheid van de elementgrootte aan lokale topografische en geometrische verschillen, zonder dat ten behoeve van voldoende nauwkeurigheid een zeer kleine maaswijdte voor de gehele schematisatie toegepast behoeft te worden.

Voor de oplossing van het stelsel partiele differentiaalvergelijkingen zijn begin- en randvoorwaarden nodig.

In FINEL wordt onderscheid gemaakt tussen open (zee-zee) en gesloten randen (zee-land). Afhankelijk van het beschouwde probleem worden op open randen waterstanden, snelheden en/of debieten voorgeschreven.

Op gesloten randen wordt of alleen de snelheidscomponent loodrecht op de kust nul gesteld (free slip) of beide componenten worden nul gesteld (no slip boundary condition).

Het voorschrijven van randvoorwaarden is een moeilijk probleem. De berekeningen dienen gestart te worden op een geschikt moment, bijvoorbeeld bij hoog water en een zekere inspeelperiode is vereist.

In FINEL is een procedure ingebouwd om droogval op de juiste wijze te simuleren.

4.3 RANDVOORWAARDEN WIELINGEN

Als randvoorwaarden voor het model waren beschikbaar de bodemschematisering, waterstanden en u en v snelheden van het uitgebreide tweedimensionale waterbewegingsmodel (400 m - net) van de Westerschelde, voor de periode 75.09.02 - 06.00 h tot en met 75.09.04 - 24.00 h (66 uur) met een tijdsinterval van 30 minuten.

Omdat de randen van dit model te krap bemeten waren voor het slibverspreidingsonderzoek werd aanvullende informatie gehaald uit het grote WAQUA RDII (800 m) - model.

Hiervan waren beschikbaar waterstanden en u en v snelheidscomponenten voor de periode 75.09.02 - 00.00 h tot en met 75.09.02 - 24.00 h (24 uur) met een tijdsinterval van 1 uur. Zie voor de orientatie van de randen figuur 4.7.

De onregelmatige verdeling van de voor de vergelijking gebruikte randpunten van de 400 m schematisatie valt te wijten aan een onjuist kopiëren naar tape van de informatie (oorspronkelijke recordlengte was 100 karakters, op tape slechts 80).

Om te komen tot de randvoorwaarden op de zeerand voor het FINEL-model werd de waterstandskromme in een punt op de rand van het 400 meter model (3-klein) vergeleken met die van een punt uit het 800 meter model op de rand van de FINEL-schematisatie (3-groot) (zie figuur 4.8). Door middel van een faseverschuiving en een aanpassing van de amplitude werd de juiste kromme in het punt 3-groot gevormd uit de kromme in het punt 3-klein. Vervolgens werden door vergelijking en aanpassing door middel van een faseverschuiving en invoering van een amplitude-coëfficiënt de krommes in de punten 1 t.m. 9-groot gegenereerd, zodat de zeerand was vastgelegd. (Zie figuur 4.9).

Op de rand Vlissingen-Breskens werden in eerste instantie de snelheden uit het 400 m - model gezet. Verschillen tussen de bodemschematisatie van FINEL en WAQUA resulteerden evenwel in onjuiste debieten. Om dit op te lossen werden debieten van de Honte, Vaarwater Hoofdplaat en Schaar van Spijkerplaat, als resulterend uit het 400 m - model weergegeven in nota WWKZ-85.V002 gedigitaliseerd en op deze rand ingevoerd. (zie figuur 4.10, 4.11 en 4.12).

4.4 IJKING STROOMMODEL

Voor de ijking van het stroommodel waren beschikbaar:

- waterstandmetingen van Vlissingen, Breskens, Cadzand en Westkapelle
- Flachsee metingen tijdens gemiddeld getij 1970-1971, ieder uur
- een interpretatie door Rijkswaterstaat van gegevens uit de stroomatlas van de monding van de Westerschelde.

Een eerste ijkingsrun werd gemaakt met een smoothing van 3 op 1 en een Manning coefficient = 0.024.

Dit gaf voor Cadzand en Breskens een te geringe amplitude en een aanzienlijk faseverschil (zie figuur 4.13 en 4.14). Om dit bij te stellen werd doorgestart met een geringere smoothing (5:1) en een wat gladdere bodem (Manning coefficient = 0.015). Hiermee werd een aanzienlijke verbetering bereikt (ijkingsrun 2, zie figuur 4.15 en 4.16). Zoals te verwachten geeft ook Vlissingen een bevredigend beeld (zie figuur 4.17).

Westkapelle (zie figuur 4.18) geeft een afwijking in de amplitude; dit valt mogelijk te wijten aan randeffekten en moet ook al vanwege de diepe geul voor de kust en de scherpe punt richting Domburg in het model niet als verontrustend beschouwd worden.

De vergelijking met de Flachsee stroommetingen staat weergegeven in figuur 4.19 tot en met figuur 4.31.

De gestreepte pijlen geven de FINEL-resultaten weer. Om het getij van begin september 1975 te kunnen vergelijken met het gemiddelde getij 1970-'71 werd een coefficient voor de amplitude ingevoerd. Aangezien het stromingsveld slechts om het half uur afleesbaar is kan er discrepantie in de tijd tot maximaal een kwartier optreden, dit zal vooral te merken zijn op momenten van kentering.

Het beeld van 6 uur voor HW (zie figuur 4.19) doet vermoeden dat het model iets voorloopt, dit wordt bevestigd 1 uur voor HW (zie figuur 4.24) als de stroming bij Westkapelle reeds naar het noordoosten gedraaid is. Voor het overige lijkt met name rond Westkapelle (mp 1 en mp 5) sprake te zijn van hogere snelheden in het model dan tijdens de meting. Dit kan veroorzaakt zijn door randeffekten in het model of door diepteverschillen tussen model en prototype.

In het algemeen kan gesteld worden dat er verder geen systematische afwijkingen van de resultaten van de Flachseemetingen gevonden worden. De optredende verschillen dienen bezien te worden in samenhang met de - overigens onbekende - verschillen in bodemligging. De vergelijking met de geïnterpreteerde gegevens uit de stroomatlas staan weergegeven in de figuren 4.32 tot en met 4.44.

NB: in deze figuren is de verlenging van de havenhoofden van Zeebrugge reeds opgenomen.

De overeenkomst in deze figuren is meer significant dan in de figuren 4.19 - 4.31, voor wat betreft de orientatie van de stroombanen. Het is derhalve aannemelijk dat de daar gesignaleerde verschillen goeddeels te wijten zijn aan verschil in topografie van de bodem.

Op basis van deze vergelijking wordt gekonkludeerd dat, hoewel voor een systematische ijking van het stroommodel aanzienlijk meer gegevens nodig zijn, niettemin voor het onderhavige doel (slibverspreidingsmodel) de betrouwbaarheid van het stroommodel voldoende is.

4.5 PRODUKTIE STROOMMODEL

Na acceptatie van de ijking werd overgegaan tot de produktie, nadat de sedert 1975 bij Zeebrugge uitgevoerde havenwerken in de schematisatie waren opgenomen.

Hiertoe werden de vijf getijden uit het 400 m model cyclisch gemaakt, door de opgaande tak aan het eind van het laatste getij te verbinden met de opgaande tak aan het begin van het eerste getij.

De gegevens werden om het half uur weggeschreven (totaal 126 tijdstippen).

Deze snelheidsvelden dienen als invoer voor het slibverspreidingsmodel, waarbij indien nodig tussen de verschillende tijdstippen wordt geïnterpoleerd.

In de figuren 4.32 t/m 4.44 (vergelijking met stroomatlas) is het snelheidsveld om het uur voor één volledige getijcyclus van deze produktierun weergegeven.

5. HET BAGGERONDERZOEK

5.1 ALGEMENE BESCHOUWINGEN IN VERBAND MET HET BAGGERPROCES

Definitie van de zone die verdiept moet worden en identificatie van de baggerproblemen.

5.1.1 Aanlegdiepte in de Wielingen en de Drempel van Vlissingen

De te hanteren aanlegdiepte wordt gedefinieerd als N.A.P. -17.70 m. De zone Wielingen is volledig ten westen van Vlissingen gelegen. In verband met een zekere mate van verticale tolerantie worden hoeveelheden berekend tot een diepte van N.A.P. -18.00 m.

Het inplotten van deze aanlegdiepte in de lengte-as van de vaargeul laat zien dat alleen verdiepingsbaggerwerk nodig is ten Westen van de meridiaan 3'28' Oosterlengte. De hier te bespreken baggerzone strekt zich derhalve uit tussen de Meridianen 3'20' O.L. en 3'28' O.L.

Voor het overzicht van het te baggeren tracee wordt verwezen naar tekening (kaart) 5.0.

5.1.2 Indeling van het baggergebied in relatie tot de grondsoorten

In het te baggeren tracee van circa 8,5 kilometer is het grondgebeuren als volgt te schematiseren:

1) Zone 1: tussen km 11.000 + km 8.000

In het Noorderlijke deel van de geul bestaat de bovenlaag uit een ca 1 m dikke laag holocene klei en/of slib. Daaronder, tot op de aanlegdiepte van N.A.P. -18.00 m is matig grof schoon zand aanwezig. In het zuidelijke deel van de geul en in de as bestaat de bovenlaag uit zand met slib en klei laagjes.

2) Zone 2: tussen km 8.000 en km 5.000

De bovenlaag bestaat hier uit matig grof tot grof grijs of blond/bruin zand, met dunne kleilagen. Daaronder tot op de aanlegdiepte van N.A.P. -18.00 m ligt matig grof schoon zand, dat tussen km 7.000 en km 6.000 zelfs aan de oppervlakte komt.

3) Zone 3: tussen de km 5.000 en km 3.000

Onder een vrij dunne laag (enkele decimeters) tertiair matig-grof zand, met sporen klei en/of slib, wordt tot voorbij de aanlegdiepte een zeer taaie laag tertiaire klei aangetroffen, waarin de luchthamer-corer niet erg diep kan indringen.

Van de tertiaire grond (grondsoort type IV) zijn thans weinig gegevens bekend aangezien de luchthamer-corer in de oppervlakte bleef steken. Beschouwingen over de baggerbaarheid kunnen dan ook vooralsnog slechts op aannamen/veronderstellingen, een en ander door vergelijking met uitgebreide gegevens van het tertiaire materiaal in het Zeebrugge-havencomplex, gebaseerd zijn. De totale in situ hoeveelheid tertiair materiaal = 1.790.000 m³.

5.1.3 Baggerbaarheid per zone - Volumetrische analyse van de voornaamste grondsoorten

Ten Westen van zone 1, op Belgisch grondgebied, wordt een dunne laag holocene klei aangetroffen. Deze oppervlakte-laag kon destijds met behulp van een zwakke luchthamer-corer van de RWS worden doorponst. De praktijkervaring hier leerde dat het inzetten van grote, zware sleepzuigers altijd voldoende was om deze jonge kleilagen weg te baggeren.

Deze cohesieve laag (grondsoort type I) zal als visceuse massa in de hopper terecht komen, het wordt ten sterkste aanbevolen om met sleepzuigen te stoppen zodra de hopper vol is (ongeveer 15 minuten) teneinde extra gevaar voor vervuiling van de Belgische kust en oncontroleerbare terugvloeit te voorkomen. De totale in situ hoeveelheid te baggeren "holocene" klei = 768.000 m³.

De problemen van benodigde snijkrachten voor het baggerproces zijn minimaal in de zone 2, waar enkel matig/grof tot grof zand aangetroffen wordt.

In dit zand zal een sleepzuiger grote producties halen: praktisch volle hopperladingen in korte tijd.

Men kan stellen dat zowel zone 1 als zone 2 gemakkelijk met sleepzuigers alleen kan worden verdiept.

Het middelgrof zand aldaar zal, bij inzet van voldoende grote beunvolumes, vlug bezinken. De gemiddelde laadtijd in deze zandzones bedraagt 50 à 70 minuten afhankelijk van het hopper-type.

Hieruit kan afgeleid worden dat de zones 1 en 2 geen bijzondere problemen zullen bieden m.b.t. hun verdiepingsproces. Dit is echter niet het geval voor zone 3, waar de tertiaire klei aangetroffen wordt.

De benadering van een bijzonder aangepast baggerproces zal verder beperkt worden tot de zone 3. Daarbij is het tertiaire materiaal weliswaar niet in volume de belangrijkste specie, maar wel zullen de cohesie en vastheid ervan de bepalende factor bij de keuze van het snijproces zijn.

Het is dan ook niet te verwonderen dat vroegere pogingen (o.m. zone 3) om deze grondsoort te baggeren met een sleepzuiger zonder mechanische voorbehandeling, niet succesvol zijn geweest.

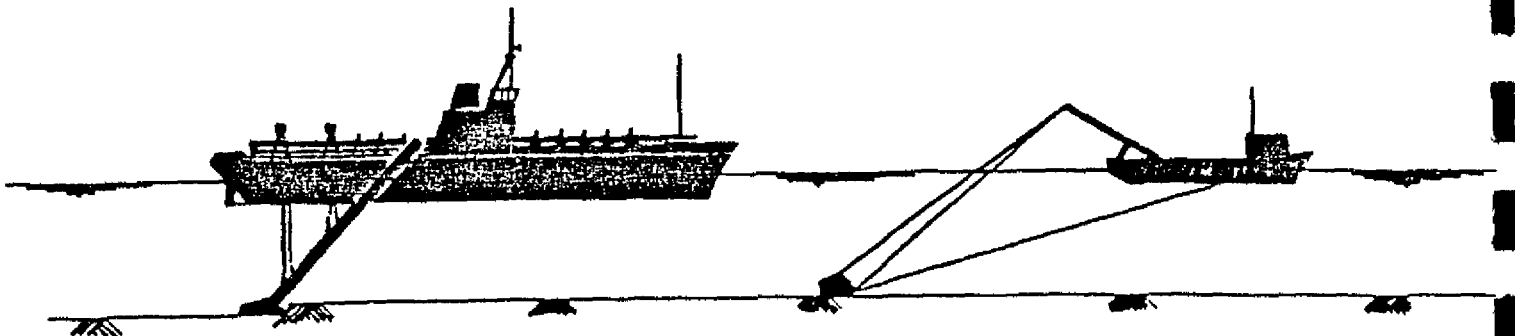
5.1.4 Baggerproces in de tertiaire kleizone

Zoals uit het voorgaande blijkt zal in de zone 3, een mechanische voorbewerking/desintegratie van de grond noodzakelijk zijn. De verdere verwerking van de gedesintegreerde grond (hydraulisch opvoeren, en het al of niet storten in het middel van vervoer naar de dump/stort) alsmede het suspensief gedrag zal echter in grote mate afhangen van de vorming van "kleiballen".

In principe zijn voor het op diepte brengen van de geul een 6-tal baggermethoden onderscheiden die hierna schematisch zijn weergegeven

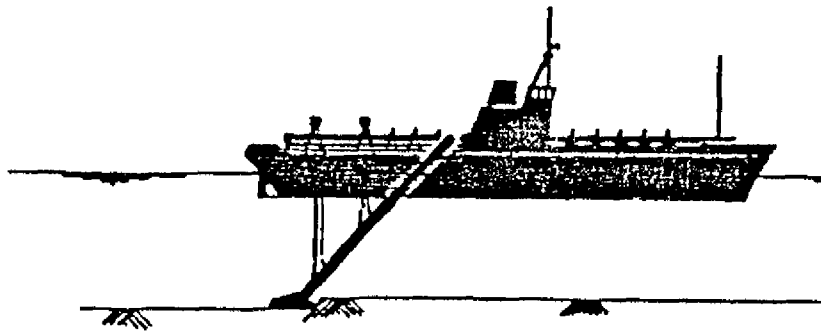
Baggermethode 1:

zware onderwater-ploeg (fase 1) en sleephopperzuiger (fase 2)



Baggermethode 2:

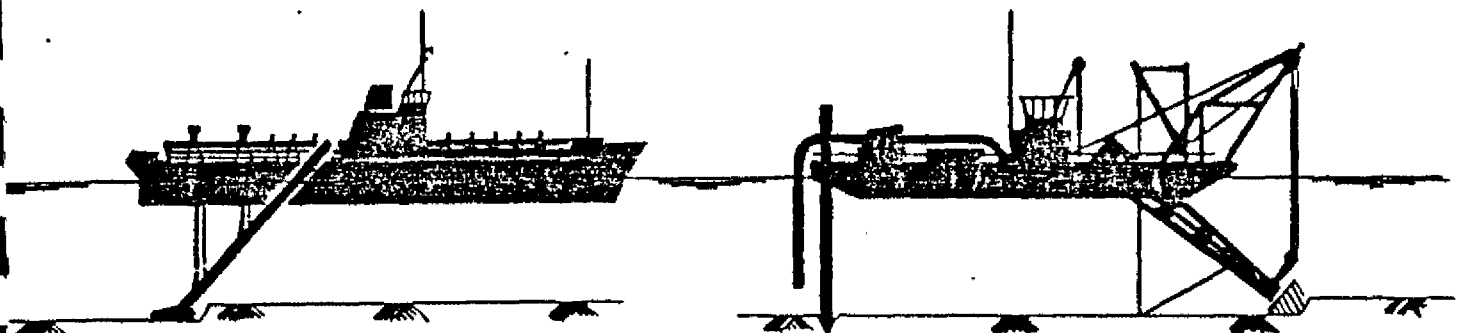
Sleepzuiger met verzwaarde sleepkop, uitgerust met zware tanden en snijmechanisme in de sleepkop.



Baggermethode 3:

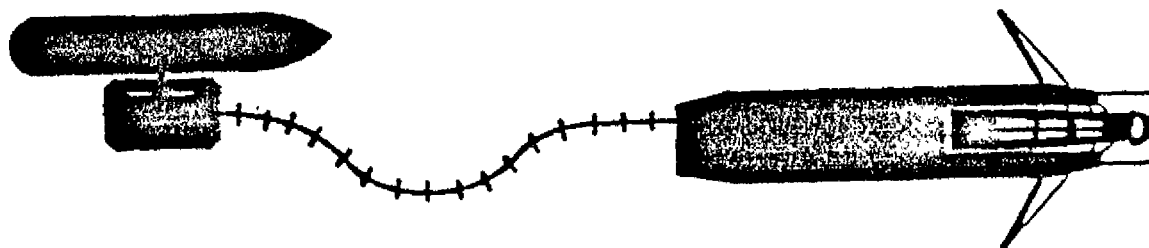
Zeewaardige cutterzuiger die de grond loswoelt, het achter zich deponeert via een telescopische neerwaartse verlenging van de zwanehals, (fase 1).

Sleepzuiger, (fase 2).



Baggermethode 4:

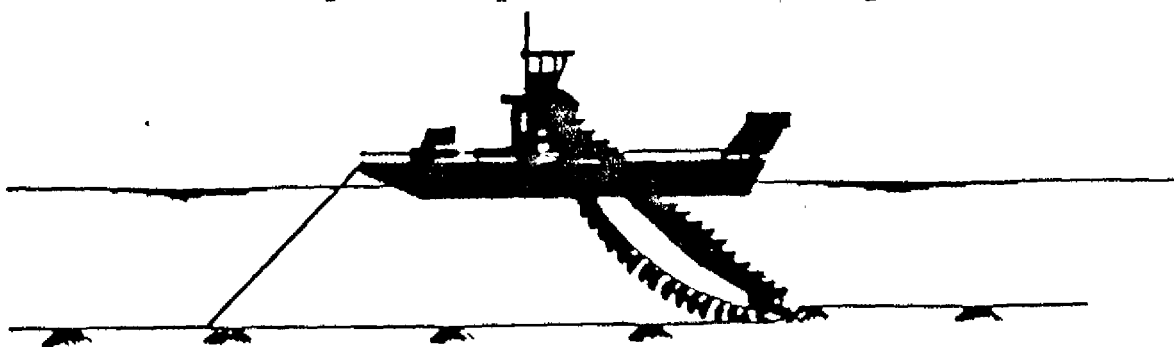
Een cutterzuiger, met een drijvende leiding, verbonden aan een sproeiponton door middel waarvan zeewaardige hoppers of splijt-bakken worden gevuld, die de specie (zonder inzet van sleephopperzuigers) rechtstreeks naar de stortplaats afvoeren. Een alternatief kan zijn rechtstreeks vullen van splijt-bakken via sproeipijpen, waarbij de bakken met tussenliggende zeer zware fenders, langs de cutterzuiger afmeren.



Baggermethode 5:

Mechanische ontgraving en opvoering bij specie geschikt voor stroomresistente bodemafdekking:

- A) Bij redelijke werkomstandigheden een emmerbaggermolen met 900 à 1000 liter-emmerinhoud. Bij deze methode wordt de samenhang van de te baggeren specie het minst verstoord, waardoor deze geschikt zou kunnen zijn voor opvulling van turbulente gaten langs de zuidoever ten oosten van Breskens. De baggermolen laadt de gebaggerde grond in langszij gemeerde splijt-bakken, die vervolgens de specie naar de stortplaats afvoeren.



B) Bij sterke golfslag en stroming kan een "dipper-dredger" of "backhoe-dredger" uitkomst brengen. Het casco is hierbij namelijk gefixeerd door middel van zware spuds met een mogelijkheid tot gedeeltelijke opheffing uit het water. De gebaggerde grond wordt in langs zij gemeerde splijtbakken gestort, welke de specie naar de stortplaats afvoeren.

Baggermethode 6:

Alhoewel geen zeefkrommen gemaakt zijn van tertiaire grondsoorten, kan de tendens van de korrelverdeling worden afgeleid uit de interpretatie van op monster 47-H10-10 bepaalde Attenbergse cijfers door invulling in de gesommeerde resultaten van het Zeebrugge-haven project met betrekking tot de grondmechanische karakteristieken van de tertiaire grondsoorten (zie figuur 5.1) globale korrelverdeling:

deeltjes $< 2 \mu$ = circa 15 %
 deeltjes $2 - 60 \mu$ = circa 35%
 deeltjes $60 - 150 \mu$ = circa 50%.

Indien deze tertiaire grond bij desintegratie en hydraulische opvoering praktisch volkomen uiteenvalt, zal het hydraulisch laden van bakken of hoppers zeer inefficiënt zijn.

In dit geval zou het aanbeveling verdienen om te desintegreren met scheprad, hydraulisch op te voeren en d.m.v. een drijvende persleiding van ongeveer 450 m lengte, zoals gebruikelijk met "dustpan dredgers" op de Mississipi, de specie zijdelings en buiten het te baggeren tracee te spuiten. De efficiëntie en het succes van deze methode is sterk afhankelijk van het patroon der getij stromen.

De kostprijs van de te hanteren baggerprocedure en het respectievelijk risico dat elke baggermethode inhoud ten aanzien van verspreiding van gesuspendeerd materiaal zijn twee parameters die omgekeerd evenredig zijn.

5.1.5 Bespreking van de baggermethoden

Baggermethode 1: fase 1: zware onderwaterploeg

Als een relatief goedkope methode voor het verbreken van de samenhang van de hardere kleilagen kan gedacht worden aan het inzetten van één (of meer) onderwaterploeg(en), voortgetrokken door zware sleepboten.

De eventueel te gebruiken onderwaterploegen dienen te voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Voldoende gewicht om het indringen van de tanden van de ploeg in de tertiaire klei te garanderen. Voor een serie van 10 tanden (tandoppervlakte ca 10 cm²) is bij een weerstand van 45 kg/cm² een minimaal gewicht van totaal 4,5 ton vereist.
- Voldoende trekkracht op de sleepboot, zodat de tanden inderdaad door de klei kunnen worden getrokken. Bij een indringing van 10 tanden over een diepte van 10 cm is voor tertiaire klei en zandgronden een trekkracht van ca 45 ton vereist.

Gezien de kleine hoeveelheden, die per tijdseenheid door de ploeg worden losgewoeld, dient rekening te worden gehouden met een zeer verregaande fractionering van de klei, en het ontstaan van fijne deeltjes. Voorzover de getijstroom de losgewoelde specie niet uit de vaargeul afvoeren, zal het noodzakelijk zijn d.m.v. een sleepzuiger de vaargeul op de gewenste diepte te brengen. Hierbij is de kans groot dat er grote overloopverliezen optreden waardoor de daarbijbehorende slibontwikkeling een probleem kan worden.

De productie in zuivere tertiaire (Boomse) klei bij een vaarsnelheid van 3 km/u voor een ploeg met 10 tanden is ca 100 m³/per werkuur.

Baggermethode 1: Fase 2: Sleephopperzuiger

Het ligt voor de hand dat de inzet van een sleephopperzuiger na een onderwaterploeg slechts kan plaatsvinden met vrij lage produktiviteitsniveaus. Er is namelijk maar een zeer beperkte laagdikte klei waarvan de cohesie verbroken wordt. (Enkele tientallen centimeters maximaal). Dit zal mede mogelijk als gevolg van lange overlooptijden tot lage concentraties bij het zuigproces leiden. Tezamen met een relatief verregaande fractionering zal dit, in vergelijking met de andere methodes grotere slibvolumes veroorzaken.

Aangezien in verschillende gedeelten diktes tot 2,5 m moeten worden verwijderd, is bij baggermethode 1 een beurtelingse inzet van de ploeg en de sleephopperzuiger noodzakelijk.

- De ploeg verbreekt de samenhang van de bovenste lagen (10 à 30 cm).
- De sleephopperzuiger verwijdert deze laag.

Het verschil in productiviteitsniveau van een ploeg (ca 100 m³/u) en een sleephopperzuiger (500 à 1.000 m³/u) veroorzaakt coördinatieproblemen, waardoor vermoedelijk eveneens aanzienlijke stilligtijden kunnen optreden voor de (dure) sleephopperzuiger, zelfs bij een simultane inzet van verscheidene ploegen.

Anderzijds moet gesteld worden dat de baggermethode 1 toch waarschijnlijk de goedkoopste uitvoeringsmethode zou zijn in de taaie kleilagen. Het slibbezwaar op de stortplaats is echter van essentiële aard, en wordt door de methode zelf opgedreven en verscherpt.

Baggermethode 2: sleepzuiger met aangepaste klei-sleepkop
(actieve kop)

Deze methode behandelt dunne lagen, de ene na de andere. Daar de vermenging van klei en zand bij deze methode gepaard gaat met een differentiele "ontmenging" in het beun, waarbij zand onderaan terecht komt en de kleideeltjes bovenaan, zal ook deze methode, door de overflow en bij het storten, een verlies aan fijne deeltjes meebrengen, zowel in de baggerzone als in de nabijheid van de stortplaats.

Voor het baggeren van de tertiaire klei van zone 3, is de baggermethode 2 vermoedelijk niet toepasbaar, daar het indringingsvermogen van (ook aangepaste) actieve kleikoppen onvoldoende blijkt in dit type klei. In dit verband is te verwijzen naar de 2 reeds beproefde methodes van actieve kleikoppen

- 1) de in België ontwikkelde sleepkop met verticale draai-assen (Philips-shave). Deze methode laat een klein, horizontaal rad draaien rond een verticale as en woelt de grondspecie lokaal los

- 2) de in Nederland ontwikkelde methode (IHC in samenwerking met Breejenbout). Deze methode bestaat uit een aantal verticale strippen die draaien rond een horizontale as, gelijk aan wat in de landbouwwereld een grondfrees genoemd wordt.

Deze twee methoden zijn niet uitgerust met voldoende vermogen om in voorliggende klei goede resultaten te bieden.

De huidige technologie (die zijn basis vindt in de heden ten dage te baggeren grondsoorten) is nog niet zover ontwikkeld dat sleepzuigkoppen met actieve versnijdings-systemen van meer dan 200 à 300 pk uitvoerbaar zijn. Men kan deze stand van de technologie het best vergelijken met de periode waarin cutters ontwikkeld werden, met snijvermogens van maximaal 300 pk.

Later werd een cuttertechnologie ontwikkeld tot snijvermogens van soms meer dan 1000 pk. Bij de huidige bekende systemen van ophangingen van sleepbuizen waarbij alle reactiekracht van de grond op de sleepkop wordt opgenomen door eigen gewicht alleen, is het een utopie een versnijdingsmechanisme aan te brengen op een sleepkop met meer dan 300 pk snijvermogen.

Wel is het voorstelbaar dat indien voldoende vraag zou ontstaan naar het baggeren van taaie klei, een technologie ontwikkeld zou kunnen worden (vernieuwing van ophangings-systemen en vernieuwen van zuigkop en sleepbuis) van actieve kleikoppen met snijkrachten van meer dan 1000 pk. Dit zou echter de bouw vergen van een nieuw type sleepzuigers die dan wellicht niet op economische manier kunnen worden ingezet, noch in het zand noch in de rots.

De opzet van deze studie is echter niet om visionaire beelden te presenteren van nieuwe baggertuigen. Beschreven worden bestaande baggertuigen die, in een ketting opgesteld, dezelfde voordelen bieden als deze "nieuwe" sleepzuigers.

Baggermethode 3

Fase 1: zeewaardige cutterzuiger die grond loswoelt en achter zich deponeert

Fase 2: sleepzuiger die de gedeponeerde specie ophaalt.

Baggermethode 3 lijkt op het eerste gezicht een duurdere methode dan de methodes 1 en 2, die hierboven beschreven werden.

Er zijn echter een aantal belangrijke voordelen aan methode 3 verbonden:

- 1) de snijkrachten, die kunnen worden ontwikkeld, zijn aanzienlijk en niet beperkt door het eigen gewicht van het snijdend onderdeel
- 2) de produkties van de cutterzuigers zijn af te stemmen op die van sleepzuigers
- 3) bij voldoende tussenafstanden tussen de cuttermessen kunnen brokken klei als één geheel versneden en verperst worden
- 4) het bekende risico van ballenvorming in de leidingen bij kleibaggeren, bestaat enkel in lange leidingen. De korte persafstand in deze toepassing sluit ballenvorming uit. Dankzij de korte persafstand, blijft anderzijds de desintegratie van de kleibrokken tot een minimum beperkt.
- 5) het systeem vergt geen drijvende leidingen en geen tegen elkaar aanliggende schepen, wat het systeem veel minder weersafhankelijk maakt.

Een nadeel van het systeem van baggermethode 3 wordt veroorzaakt door de stroomsterkte bij top-vloed en top-eb. De analyse van de getijstromingen in dit mondingsgebied doet veronderstellen dat de zwaaiamplitude van de cutter in belangrijke mate gehinderd wordt wegens te hoge belasting van de zijdraden bij top-vloed en top-eb. Baggerketen 3 kan dus niet in continu bedrijf opgezet worden, zelfs niet met zeer grote zeewaardige cutterzuigers.

Baggermethode 4: zeewaardige cutterzuiger met drijvende leiding en sproeiponton

Op het eerste gezicht lijkt deze methode aantrekkelijker dan methode 3. Immers, het pompvermogen van de cutter wordt beter benut om een zeewaardige splijtbak te vullen. Deze methode is energie vriendelijker dan methode 3 daar geen bijkomend pompvermogen van sleepzuigers gemobiliseerd wordt. Er zijn echter 4 belangrijke nadelen aan de baggermethode 4 verbonden:

- 1) de methode is sterk weersafhankelijk, daar drijvende leidingen en tegen elkaar aanmerende schepen het vlugst door golfaanval getroffen worden
- 2) zeewaardige splijtbakken kunnen een inhoud hebben tot ca 2.000 m³. Het nuttige volume voor decantatie van de specie kan echter veel groter zijn bij zeewaardige sleepzuigers. Decantatie zou op een efficiëntere manier (met minder overflow) kunnen plaatsvinden in een zeewaardige sleepzuiger (baggermethode 3) dan in een splijtbak (baggermethode 4)
- 3) de methode kan door de gewenste dimensionering van het werkgebied een hinder betekenen voor scheepvaart. Zowel de ankerdraden van de cutter als de ankerpontons van het sproeiponton en de drijvende leiding zijn erg immobiel en moeten in geval van onverwacht slecht weer wellicht voor een deel achtergelaten worden

- 4) de discontinuïteiten in de cutterwerking tengevolge van de getijstromingspatronen in het mondingsgebied worden bij baggermethode 4 verscherpt door discontinuïteiten bij het verwisselen van de bakken, wat telkens stagnatie veroorzaakt.

Er zijn echter wel een aantal belangrijke uitvoeringstechnische redenen die pleiten voor baggermethode 3 in plaats van de, in stil water voor de hand liggende, baggermethode 4. De praktijkvoorbeelden, die in een volgende paragraaf behandeld worden, wijzen in dezelfde richting.

Baggermethode 5

Deze baggermethode bestaat uit de inzet van een emmerbaggermolen met 900 à 1.000 liter-emmerinhoud. Deze baggermolen vult splijtbakken, die specie naar de stortplaats afvoeren.

Deze methode is wellicht de duurste, indien op tijbasis gewerkt moet worden, maar op gebied van het ontstaan van stroomresistente specie is het de meest aangewezen methode. De specie wordt bij deze methode zo weinig als mogelijk is met water vermengd.

De specie wordt in grote brokken, die zich als één geheel blijven gedragen, boven water gebracht.

Decantatie in het beun van de bak komt vrijwel niet voor en het slibbezwaar op en nabij de stortplaats is nihil.

Wat betreft baggerefficiëntie is dit echter geen gunstige oplossing, omdat:

- 1) de produktie aanzienlijk lager ligt dan bij hydraulische methodes
- 2) het systeem baggermolen met aanliggende bakken zeer weersafhankelijk is. Het is immers zo, dat het vaste contactpunt van de emmerladder met de grond en de soepele verbindingpunten van de ankers gepaard met aanliggende bakken een zeer broos systeem betekent in volle zee
- 3) bij ongunstige stromingspatronen in het mondingsgebied kan het voorkomen dat de emmerbaggermolen "op de emmers" geduwd wordt tengevolge van stroom-krachten. Het is niet eenvoudig om, de volledige baggerset "molen + bak" steeds "kop voor" in de stroming te houden.

Baggermethode 6

Indien de tertiaire grond volkomen in deeltjes uiteenvalt verdient het aanbeveling om te desintegreren met scheprad, hydraulisch op te voeren en d.m.v. een drijvende persleiding buiten het te baggeren tracee te spuiten.

- 1) Het succes van deze methode is sterk afhankelijk van het patroon der getijstromen en het golfklimaat (drijvende leiding)
- 2) Er kan slechts bij afnemend tij gewerkt worden.

Vergelijking van de baggermethodieken

Kostprijsanalyse (kolom A in f. per m³ in situ, zie tabel) van de diverse baggermethodes in de tertiaire gronden kan slechts in orde van grootte en vergelijkender wijs gegeven worden, gezien de onbekendheid m.b.t. de grondmechanisch karakteristieken en de invloeden van getij + golven patroon + stromingspatroon + efficiëntie van de dispersie op de baggerlocaties (kolom B = vaste deeltjes in het water op de bodem en aan de oppervlakte op de winplaats). Onderstaande cijfers zijn indicatief en berusten op jarenlange baggerervaring.

Methodiek	Diensten	A (f./m ³)	B	Dump
1. ploegen + trailen	continu	7 à 8	75%	25%
2. trailer + kleikop	continu	8 à 9	60%	40%
3. cutter + trailer	continu	7 à 10	70%	30%
4. cutter + bakken	(afh. tij	6 à 12	60%	40%
5. molen + bakken	(& golven	7 à 14	10%	90%*
6. cutter + dispersie	bij afnemend tij	ong. 10	100%	-0-

* alleen bij taaie tertiaire klei geschikt voor opvulling turbulentie gaten.

N.B.: M.b.t. de totale werkmethode zij vermeld dat voor de uitvoering ca. 8 maanden is aangegeven door de betreffende autoriteiten.

Dit kan o.m. inhouden dat er gedurende de stormachtige winterperiode niet gewerkt hoeft te worden (het materieel niet op "stand-by").

Indien een deel van het materiaal op de stortplaats bij boei Scheur 1 gestort dient te worden (vaarafstand ca. 20 km extra), dan zullen de prijzen f. 2,-- per m3 omhoog gaan.

De baggerprijs voor het holocene materiaal zal bij lozing op de stortplaats tussen de f. 3,50 en f. 3,70 per m3 liggen.

5.1.6 Toetsing aan praktijkervaring

Op bladzijde 11 van de aanbieding Svasek-ADC (september 1985) aan Rijkswaterstaat werd vermeld dat ook inventarisatie van vergelijkbare projecten qua grondsamenstelling en werkomstandigheden zou worden verricht. Er is verkozen een dergelijke inventarisatie aan te pakken nadat eerst, zoals hierboven gebeurd is, alle relevante projectparameters, grondeigenschappen, werkomstandigheden en productie-factoren werden nagelopen.

5.1.7 Zones 1 en 2

Gegevens van de Scheldewerken konden door RWS niet ter beschikking gesteld worden wegens het ontbreken van registraties tijdens de uitvoering.

Wat de zones 1 en 2 betreft, kan men de relevante projectparameters voor een groot deel vergelijken met het baggergebeuren vóór IJmuiden of, op het Belgisch grondgebied, met de baggerwerken in het Belgische "Scheur" (het verlengstuk van de Wielingen). Baggerwerken van Europoort zijn ermee vergelijkbaar wat de maritieme omgeving betreft, maar de specie in de Wielingen is duidelijk zanderiger en groffer.

De aard van de specie biedt echter wel vergelijkingspunten met enkele drempels van de Westerschelde, maar de baggertuigen op de Westerschelde zijn er, wegens de moeilijker manoeuvreerbaarheid en wegens diepgangbeperkingen op de stortzones, kleiner van afmetingen dan de sleepzuigers die in zones 1 en 2 van de Wielingen kunnen c.q. dienen te worden ingezet.

Aangewezen sleepzuigers voor zone 1 en 2 zijn sleepzuigers met een beunvolume van 6.000 m³ en meer, waarbij, gezien het overwicht van de zandfractie in de Wielingen, een ladingsdichtheid gelegen tussen 1,7 en 1,9 ton/m³ aan te bevelen is voor de beunvolumes versus totaal laadvermogen. Vanwege de klei ladingen moet ernstig overwogen worden splijthoppers in te zetten, die doorgaans een geringer beunvolume hebben.

In hoeverre het draagvermogen van bestaande sleepzuigers gebaseerd is op een volle hopperlading met γ -hopper = 1,7 resp. 1,9 is in zoverre relevant, dat de maximale hopperlading in m³ afhankelijk en gelimiteerd is door dat draagvermogen. In werkelijkheid zal een γ -hopper ontstaan in overeenstemming met de korrelsamenstelling. Aangezien in de Wielingen en de Drempel van Vlissingen weinig slib en klei deeltjes in het holocene materiaal aanwezig zijn - zoals valt af te leiden uit de vele zeefkrommen uit het laboratorium der RWS-Directie Waterhuishouding en Waterbeweging - Adviesdienst te Vlissingen, zal γ -hopper kunnen variëren tussen 1,75 en 1,85.

Een ontstaan van γ -hopper = 1,6 is zeer onwaarschijnlijk, vooral indien de holocene slib en klei zo veel mogelijk als "pasta" wordt opgezogen en (in consequentie) prakties geen overloop zal worden toegestaan.

5.1.8 Zone 3

De aanpak van de baggerwerken in zone 3 wordt volledig bepaald door de aanwezigheid van zeer consistente en taaie klei.

Ervaring met dergelijke taaie klei bestaat in Damman (Saudi Arabie), met vergelijkbare specie (echter met boulders vermengd) en in België, in de streek van Boom (in het zogenaamde "Zeekanaal" van Brussel) en op de Humber en in de Ierse Zee nabij Anglesey.

In Damman (S. Arabie) werd een combinatie van baggermethode 3 en 4 ingezet (grote sleepzuigers achter de cutters of grote cutters met bakken-vulling).

In de werkomstandigheden van Damman was het slechts mogelijk gedurende 4 à 5 (kalme) maanden per jaar, de baggermethode nr. 4 (cutters met bakken) in te zetten. De weersomstandigheden van Damman tijdens de overige 7 à 8 maanden van het jaar lieten niet toe, in onbeschermd water, grote bakken te laten aanleggen langs de cutterzuigers.

Daarom werd een set van 4 grote cutterzuigers (met telkens meer dan 1500 p.k. snijvermogen op de cutter alleen) samen gemobiliseerd.

Het grootste volume van de verdieping in de klei van Damman werd verwezenlijkt tijdens één korte, krachtige campagne van vier aaneengesloten baggermethoden nr. 4. De hoeveelheden die, bij slechtere weersomstandigheden, na deze "rustige" periode gebaggerd werden, werden behandeld zoals beschreven werd als "baggermethode nr. 3" (cutterzuiger met retourpijp en sleepzuiger achter de cutterzuigers). Deze methode nr. 3 bleek, ook in Damman, minder weersafhankelijk dan methode nr. 4.

Over de baggerervaringen in de streek van Boom, is een interessant artikel gepubliceerd in oktober 1985 door Prof. Ir. J. Renard, in het tijdschrift EXCAVATOR. Daarin wordt beschreven hoe, in kanaalomstandigheden, een volume van 3,5 miljoen m³ kleihoudend zand en 975.000 m³ Boomse klei gebaggerd werd.

Wat het kleihoudend zand betreft, werd voor deze kanaalomstandigheden (m.a.w. beperkte toegangsmogelijkheden) de grootst mogelijke demonteerbare cutterzuiger gemobiliseerd

- totaal vermogen 5.152 pk
- snijvermogen 800 pk.

Dit cuttervermogen bleek ontoereikend in Boomse klei en, waar de waterstand plaatselijk en tijdelijk 10 meter bedroeg, bleek een emmerbaggermolen met 1.200 pk op de ketting voldoende om de Boomse klei te versnijden.

De weersomstandigheden waren in Boom duidelijk gunstiger dan wat het Wielingen-gebeuren doet verwachten, maar de in Boom gemobiliseerde snij-vermogens gaven andermaal een goede indicatie dat circa 1000 pk snij-vermogen een minimum eis schijnt te zijn in Boomse klei. Beperkingen in toegankelijkheid hadden hier namelijk voldoende cuttervermogen van baggermethoden nr. 3 en 4 uitgesloten, zodat enkel baggermethode nr. 5 overbleef.

In Anglesey bleek een zware met rippers uitgeruste sleepkop in samenspel met een trawler van 1200 pk met stalen sleepnetten die egaliseerde en tevens stenen en kleibonken verwijderde goed te voldoen.

Op de Humber is de cutter bijgestaan door een ploeg.

Conclusie van deze praktijkvoorbeelden is dat, waar weer- en werkomstandigheden volledig vergelijkbaar zijn, de inzet van een zeewaardige cutter, met dito sleepzuiger er achteraan (baggermethode 3) zou moeten worden gekozen. Het beste alternatief, en alleen in het geval langdurig rustig weer wordt verwacht, is de zeewaardige emmerbaggermolen (baggermethode 5) met zeegaande splijtbakken.

Afhankelijk van de korrelverdeling van de tertiaire klei kan ook methode 6 interessant zijn.

5.2 ANALYSE VAN INFORMATIE EN GEGEVENS

Voor de baggerstudie is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

5.2.1 Tekeningen van Rijkswaterstaat - Direktie WW District Kust & Zee - Adviesdienst Vlissingen

No. 85298 = Geologische lengteprofielen respectievelijk door de as van de te baggeren vaargeul, 300 m ten noorden en 300 m ten zuiden van die as met locatie van de steekboringen (zie onder) en het vermoedelijke oppervlak van de tertiaire gronden zoals gevonden door akoustische "bottom profiler" uitgevoerd door de Rijksgeologische Dienst te Haarlem.

No. 85238 = Het algemeen plan "Wielingen" waarop
85239 aangegeven dieptelijnen, het tracee van de te baggeren vaargeul en de locatie van de steekboringen met (lichte) luchthamercorer, uitgevoerd door de Rijksgeologische Dienst te Haarlem.

No. 85297 = Geologische lengteprofielen door de Drempel van Vlissingen (zie verder onder 1.1).

No. 85240 = Het algemene plan van de Drempel van Vlissingen (zie verder onder 1.2).

Verder werden diverse tekeningen ter beschikking gesteld welke gediend hebben voor het samenstellen van de in dit rapport genoemde tekeningen. Commentaar: bovengenoemde tekeningen geven een overzichtelijk en duidelijk beeld, zij het met dien verstande dat aan de hand van de door RWS ter beschikking gestelde zeefkrommen enkele correcties op de locaties van de grondsoorten (zoals aangeduid op tekening 85298) werden uitgevoerd.

5.2.2 Zeefkrommen en boorbeschrijvingen van het laboratorium van de Rijkswaterstaat - Adviesdienst Vlissingen

Er zijn geen zeefkrommen gemaakt van het holocene slib en klei. De genoemde percentages zijn globaal vastgesteld op basis van praktijkervaring en naar aanleiding van discussies met de Rijksgeologische Dienst te Haarlem. De zeefproeven hebben allen betrekking op de kwartaire of holocene gronden.

Goed gebruik kon worden gemaakt van deze zeefproeven - ervan uitgaande dat deze representatief zijn voor de (beschrijving van de) betreffende en te baggeren grondsoorten - voor het bepalen van de bezinking in de hoppers en de overboord-verliezen.

De meest relevante data zijn samengevat in tabel 5.1, de waarden voor de holocene klei (I) zijn gebaseerd op de analyse van slechts één monster (47H12-5) en geven dus slechts een globale waarde.

Resumerend kunnen deze als volgt worden weergegeven:
grondsoort en gemiddelde percentages kleiner dan

		60 μ	100 μ	170 μ
I	holoceen klei en/of slib	50	65	73
II	schoon zand	1,2	1,5	8,1
II/III	vuil zand	3,4	5,3	13,6
III	zand met slib/kleilaagjes	5,5	18,2	51,0
IV	tertiaire klei en zand	20		100

NB de grondsoort II/III werd inderdaad gevonden en heeft niets te maken met het feit dat door het baggeren in de scheidingslagen tussen I, II of I, III of II, III uiteraard vermengingen (in de hopper) zullen voorkomen. Dit laatste is evenwel in deze studie buiten beschouwing gelaten. Grondmonsters (uitgedroogd!) zijn bekeken in het laboratorium van de Adviesdienst Vlissingen en in het laboratorium van de Rijksgeologische Dienst te Haarlem. Dit was vooral ten aanzien van de tertiaire gronden nuttig aangezien geen karakteristieken zijn bepaald in de laboratoria.

Op het enige klei-achtig tertiair monster van boring 47-H10-10 werden een aantal verkenningsproeven verricht, te weten het bepalen van de Attenbergse grenzen in het laboratorium van de Rijksdienst der IJsselmeerpolders te Lelystad en het verrichten van hydraulische schudproeven in het laboratorium van de Adviesdienst te Vlissingen.

SAMENVATTING VAN BOORRESULTATEN
VAN TE BAGGEREN ZANDGRONDEN
WIELINGEN - WESTERSCHELDE

Boring:	Mon- ster	Diepte m-MV	Grond- soort	Zeefkromme <			%slib+zand
				60 μ	101 μ	167 μ	
47 H12-2	1	1,65	II	1,5	3,6	12,1	94,1
	2	2,80	II	1,0	2,7	7,7	78,9
47 H12-5	1	1,45	II	1,9	4,8	17,2	95,1
	2	3,55	II	2,0	4,4	15,9	95,4
47 H12-8	1	1,45	II	1,7	4,1	13,5	96,1
47 H13-2	1	1,15	II	1,8	3,7	13,8	95,6
	2	2,75	II	2,0	4,7	16,6	96,5
47 H13-5	1	0,55	II	4,7	4,5	10,2	97,9
47 H19-8	1	0,80	II	1,2	1,8	6,8	87,3
47 H14-2	1	0,25	II/III	3,1	4,6	12,7	96,5
	2	2,85	II	1,7	2,8	10,0	91,9
47 H14-5	1	0,30	III	6,6	16,0	54,6	98,1
	2	1,15	II	1,4	2,3	9,7	93,7
47 H9-1	1	0,55	II/III	3,4	6,0	19,1	97,0
	2	1,20	II/III	3,1	5,1	10,1	97,8
47 H10-8	1	0,30	II/III	6,0	7,5	12,2	97,8
47 H10-9	1	0,30	II/III	6,9	8,5	11,8	91,1
47 H10-10	1	0,05	II		p.m.		76,3
47 H12-1	1	0,45	II	1,6	2,9	11,8	95,9
	2	1,70	II	1,5	2,1	5,6	81,0
47 H12-4	1	0,55	II/III	2,4	2,7	6,0	81,7
	2	1,75	II	0,9	1,5	4,4	89,6
47 H12-7	1	0,50	II/III	2,2	4,5	19,4	93,5
47 H13-1	1	0,75	II/III	2,2	5,1	23,5	95,0
	2	0,15	II	1,9	2,7	8,9	88,3
	3	1,55	II	1,3	2,8	12,1	92,1
47 H13-4	1	0,15	II	1,0	1,4	4,3	94,3
	2	0,45	II/III	3,2	6,1	8,6	66,3
	3	0,95	II/III	1,6	5,6	14,9	97,8
	4	1,60	II	0,2	0,9	4,5	98,8
47 H13-7	1	0,55	II	1,9	3,4	8,3	95,7
	2	1,85	III	1,5	3,1	8,6	95,0
47 H14-4	1	0,55	III	7,8	20,0	63,9	92,6
	2	1,80	III	5,7	16,7	60,0	93,6
47 H14-1	1	0,45	II/III	3,3	5,7	11,9	94,1
	2	1,80	II	1,1	2,3	6,7	95,2
47 H14-7	1	1,55	III	4,7	15,6	67,4	93,7
	2	0,35	III	5,0	14,5	40,4	94,5
47 H15-27	1	0,60	III	6,1	12,9	42,2	96,5
	2	0,25	II	2,2	2,5	3,7	90,8
47 H15-29	1	0,05	II/III	3,7	6,1	8,8	83,5
48 C6-20	2	1,45	III	7,4	23,1	43,4	95,3
	3	2,80	III	17,8	52,9	87,4	96,4

TABEL 5.1

Boring:	Mon-ster	Diepte m-MV	Grond-soort	Zeefkromme <			%slib+zand
				60 μ	101 μ	167 μ	
47 H12-3	1	0,35	II	2,4	2,7	6,4	84,7
	2	1,75	II	1,2	1,9	4,9	86,8
47 H12-6	1	0,45	II/III	2,7	5,4	24,8	94,7
	2	1,55	II/III	1,4	4,3	19,7	95,7
47 H12-9	1	0,35	II	1,0	1,9	6,8	91,1
	2	1,55	II/III	1,1	3,6	17,0	91,6
	3	2,45	II/III	1,7	3,9	13,5	82,4
47 H13-3	1	0,80	III	5,2	14,9	34,6	95,7
	2	0,05	II	0,8	1,3	3,1	96,3
	3	1,30	III	19,6	38,6	68,1	91,3
47 H13-6	1	0,05	II/III	2,4	3,9	6,9	91,2
	2	1,30	II	1,5	2,6	8,9	93,6
47 H13-9	1	0,30	II/III	2,0	5,8	23,1	95,2
	2	1,85	III	3,2	8,2	38,9	96,5
47 H14-3	1	0,50	II/III	4,0	4,9	7,5	92,1
	2	0,75	III	2,2	6,0	35,3	95,6
	3	1,55	III	1,7	6,8	32,7	96,0
47 H14-6	1	0,20	II	1,0	1,3	2,7	95,0
	2	0,85	II	1,2	1,9	6,4	97,4
47 H14-8	1	0,55	III	3,2	8,9	44,7	95,1
	2	1,00	II/III	3,8	4,7	7,2	86,1
48 C11-19	1	0,05	II	1,3	2,2	4,1	89,6
	2	0,35	II/III	9,2	10,9	16,6	86,4
	3	0,70	II	1,1	2,4	6,7	97,9
48 C11-20	1	0,25	II/III	5,0	6,5	10,7	79,1
	2	0,65	II/III	2,7	3,3	5,3	90,8
48 C11-21	1	0,25	II/III	3,9	5,2	9,6	53,0
	2	0,75	II/III	4,4	7,2	12,5	76,4

Gemiddelde waarden

Holoceen klei	I	50	65	73
Holoceen schoon zand	II	1,2	2,5	8,1
Holoceen zand & sporen klei/slib	II/III	3,4	5,3	13,6
Holoceen zand, met klei & slib laagjes	III	5,5	18,2	51,0

DREMPEL VAN VLISSINGEN

48 C10-8	1	0,20	II	0,75	1,6	10,3	93,6
	2	1,35	II	0,8	1,7	11,0	88,9
48-C10-9	1	0,30	II	0,7	1,4	3,9	71,8
48 C10-12	1	0,25	II	0,4	0,9	4,6	93,9

Gemiddelde waarden				0,7	1,4	7,5	
--------------------	--	--	--	-----	-----	-----	--

TABEL 5.1 (vervolg)

5.2.3 Uitgebreide grondmechanische karakteristieken van tertiair klei/zand/slibgronden uit het Zeebrugge havencomplex werden uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Grondmechanica in België.

Uit de ter beschikking gestelde gegevens werd het volgende gededestilleerd:

- Het gewichtspercentage van vaste deeltjes kleiner dan 2μ werd uitgezet tegen respectievelijk de vloeigrens en de plasticiteits index (zie figuur 5.1).
Hierin werden de betreffende Attenbergse grenzen van het tertiaire monster uit boring 47-H10-10 geplot.

- Het gewichtspercentage $>2\mu$ (slib, fijn zand) werd uitgezet tegen de uitrolgrens alsmede van de percentages $>60\mu$; het maximale deeltje bleek $\leq 150\mu$.
(Zie figuur 5.1).

Opvallend is de discontinuïteit in het relatiegebied hetgeen kennelijk beïnvloed wordt door al of niet aanwezigheid van zanddeeltjes tussen 60μ en 150μ . Ook hier werd de in Lelystad bepaalde uitrolgrens geplot.

Uit de betreffende plottingen zou blijken dat het meest kleihoudende tertiaire monster van Wielingen maar weinig kleideeltjes bevat (12% à 15%) hetgeen tot de conclusie zou kunnen leiden dat de te baggeren tertiaire grond overwegend zanderig is en kleiner dan 150μ , dat dus weinig echte cohesie aanwezig zal zijn zodat het materiaal bij des-integratie praktisch geheel uit elkaar zal vallen.

Gezien de uitermate belangrijke en doorslaggevende consequenties voor, enerzijds het zeer grote percentage van overboord verliezen bij sleepzuigers, anderzijds de ongeschiktheid voor stroomresistente ophoging en afdekking van turbulentiegaten (ten oosten van Breskens), verdient het dan ook aanbeveling om een nader en meer gedegen grondmechanisch onderzoek (boringen met ongeroerde monsters) te doen verrichten.

De resultaten van snelle triaxiaal-proeven (= schijnbare(?) cohesie) werden uitgezet enerzijds tegen de diepte (onder MV) anderzijds tegen de plasticiteits index en watergehalte of porienvolume (zie figuur 5.2).

Deze cohesiewaarden mogen representatief worden geacht voor de ontgravingsweerstand. Ter vergelijking hierbij angelsaksische shearstrength normen: (shearstrength τ = cohesie C + σ tangent ϕ):

very stiff boulderclays, hard clays with shaleystucture	1,5 kg/cm ²
stiff clay and stiff sandy clays	0,75 - 1,50 kg/cm ²
firm clays and firm sandy clays	0,365- 0,75 kg/cm ²
soft clays and soft silts	0,35 kg/cm

Hieruit blijkt wel dat "tertiaire klei" - althans van het Zeebrugge havencomplex - behoorlijk compact is en boulder-clay benadert alhoewel ϕ -situ afwijkt en de waardering van σ -tg ϕ in de schijnbare cohesie niet bekend is.

Maar in hoeverre hieruit iets geput kan worden voor de tertiaire grondsoort in de Wielingen is op geen stukken na te concluderen, aangezien:

- Zeebrugge monsters zeer diep onder het maaiveld liggen en dus ongestoord zijn
- in de Wielingen het spel van erosie en accretie in de historische tijden een niet onbelangrijke rol heeft gespeeld. Ook hieruit vloeit voort: de noodzaak voor een aanvullend gedegen grondmechanisch onderzoek.

5.2.4 Zeefkrommen van tertiaire grondsoorten

Deze zijn te vinden in:

- het onderzoek van het Rijksinstituut voor Grondmechanica in België (zie figuur 5.3)
- in de publicatie "Sedimentology of the Rupelian Clay in Belgium" van Dr. Noël Vandenberghe (zie figuur 5.4).

Uit vergelijking blijkt dat de tertiaire klei van Dr. Vandenberghe fijner is dan de tertiaire klei van Zeebrugge, maar in principe toch wel gelijkwaardig.

In de publicatie is o.m. vermeld:

"De Boomse Klei is een ritmische afzetting, hetgeen tot uiting komt in de korrelgrootte verdeling, en in de afzetting van organische -en/of karbonaatrijke horizonten. Alle minuscule details zijn onveranderlijk over een vijfhonderd km² en waarschijnlijk nog over een grotere oppervlakte".

"De Boomse Klei is chemisch en mineralogisch in hoofdzaak homogeen. Er zijn de meest regelmatige (horizontale) banden van intermediair grijze kleur, afgewisseld met "zwarte" lagen (rijk aan organisch materiaal) en "witte" lagen (rijk aan kalk)".

Dit zou mogen wijzen op een grote mate van continuïteit en homogeniteit in horizontale zin, althans bij de oorspronkelijke maritime nederzetting van het tertiaire klei, slib en zand.

5.2.5 Kursus voortgezette opleiding uitvoering baggerwerken

In de begin zeventiger jaren werd deze cursus samengesteld voor het Centrale Baggerbedrijf, het technische gedeelte door Ir. F.C.H. Neervoort.

Aan deze studie werd het volgende ontleend:

de bezinking in hoppers (zie figuur 5.5):

de initiele bezinking wordt bepaald door de factor

$$\text{valsnelheid } V_s = \frac{\text{pompdebiet}}{\text{hopperlengte} \times \text{hopperbreedte}}$$

Alle deeltjes die een kleinere valsnelheid hebben gaan in principe met het overloop-water overboord. Tengevolge van de turbulentie in de hopper zullen ook grovere deeltjes overboord gaan.

Op basis van deze grafiek en praktijk ervaring is voor de studie aangenomen dat nagenoeg alle deeltjes (met soortelijk gewicht van 2,65) kleiner dan 100µ overboord gaan.

Het sterkte verlies van samenhangende grondsoorten ten gevolge van mechanisch en hydraulisch-turbulente bewerking/desintegratie kan in zekere mate afgeleid worden uit figuur 5.6 welke een relatie geeft tussen de vloeibaarheidsindex en de gevoeligheid voor verknedden. Voor de teriaire kleigronden uit het Zeebrugge havencomplex blijkt, uit de door het Rijksinstituut van Grondmechanica in België gemeten Attenberge grenzen, een gevoeligheid van 6 (bij 25% deeltjes < 2µ) tot 10 (bij 75% deeltjes < 2µ) met een overwegend gemiddelde van 8.

5.3 BEREKENINGS METHODIEK

Het belang van de baggerstudie is voornamelijk gelegen in het bepalen (in orde van grootte) van de samenstellingspercentages en hoeveelheden van de baggerspecie welke respectievelijk overboord gaan tijdens het baggeren, dan wel bezinken in de hopper.

Uitgebreide berekeningen zijn gemaakt voor de kwartaire holocene gronden.

Uitgangspunten voor de berekeningen waren:

- situ hoeveelheden berekend door Ing. Swart (RWS) en Ir. Neervoort (ADC) met aanname van situ-volume gewichten door Ir. Neervoort.
- De corresponderende hoeveelheden vaste stof met volumegewicht van 2,65.
- Hoeveelheden vaste stof respectievelijk $<60\mu$ en kleiner dan 100μ welke nagenoeg allen overboord gaan.
- De resterende hoeveelheid vaste stof welke in de hopper (initieel) achterblijft en de daarmee corresponderende hoeveelheid hopperlading bij aanname van het volume gewicht in de hopper.

NB: In feite gaat er wel meer overboord t.g.v. de turbulentie in de hopper maar dat zijn praktisch allemaal deeltjes $>100\mu$, dus irrelevant voor deze studie.

5.4 BEREKENINGS RESULTATEN

A. Westerschelde - Wielingen - Verdieping tot 18 m -

5.4.1 Holocene schoon zand 7.414.000 m3 in situ (WII)

Bij $\gamma_{\text{situ}} = 1,85 \text{ à } 1,90 = \text{vaste stof } (\gamma = 2,65) = 53\% = \text{ca. } 3.965.000 \text{ m}^3.$

Deeltjes $< 60\mu = 1,2\% = 0,53 \times 0,012 \times 7,4 \text{ mil} = \text{ca. } 47.000 \text{ m}^3$ maar ca. 10% bezinkt mee, dus overboord ca. 42.500 m3 vaste stof $< 60\mu$.

Bij laden van de hopper gaan deeltjes 100u overboord.

Deeltjes 100u = 2,5% = $0,53 \times 0,025 \times 7,4 \text{ mil} = \text{ca. } 98.250 \text{ m}^3$ maar ca. 15% bezinkt mee, dus overboord ca. 83.500 m3 vaste stof (hierin zit de 42.500 m3).

In de hopper = $3.929.500 - 83.500 = 3846000 \text{ m}^3$ vaste stof

Bij γ -hopper = 1,85 = 51 1/2% vaste stof en 49 1/2% porien (water)

hopperlading = 7,468 mil. m3.

NB: schelpen (kalk) en humus zijn voor overboord verliezen buiten beschouwing gelaten. De hoeveelheid van 5 tot 10% (zie staat van monsters in kolom 8).

Indien hopperladingen worden gebruikt voor "strandverbetering" dan zal circa 6% met de kuststroming verdwijnen (deeltjes $< 170\mu$). Door golfwerking zal waarschijnlijk nog eens een aanzienlijke hoeveelheid verdwijnen.

Netto ca. 4,8 mil m3. Volgens de voorlopige planning is netto 3,6 mil m3 vereist.

5.4.2 Holocene zand met slib en kleilaagjes (WIII)

1.765.000 m³ in situ, bij $\gamma_{\text{situ}} = 1,75$ is de hoeveelheid vaste stof $45 \frac{1}{2}\% = \text{ca. } 803.000 \text{ m}^3$. Deeltjes $< 60\mu = 5,5\% \times 803.000 = \text{ca. } 44.165 \text{ m}^3$ (vaste stof) maar $\text{ca. } 13 \frac{1}{2}\%$ bezinkt mee, dus overboord = 38.500 m³ (vaste stof). Deeltjes $< 100\mu = 18,2\% \times 803.000 = \text{ca. } 146.150 \text{ m}^3$ (vaste stof) maar $\text{ca. } 25\%$ bezinkt toch, dus overboord 109.500 m³ (hierin zit de 38500 m³).

In de hopper = $803.000 - 109500 = 693500 \text{ m}^3$ vaste stof.

Bij $\gamma_{\text{hopper}} = 1,75 = 45\%$ vaste stof + 55% porieen dus hopperlading = 1.541.000 m³.

NB: schelpen + humus zie onder II.

Deze hopperlading is ongeschikt/oneconomisch voor strandverbetering, aangezien $\text{ca. } 40\%$ van de deeltjes ($< 170\mu$) met de kuststroming zal verdwijnen.

5.4.3 Holocene vuil zand met sporen klei en slib (WII/III)

Bij het bestuderen van de zeefkrommen is gebleken dat een menglaag tussen II en III voorkomt, alhoewel dit niet op de langsprofielen is aangegeven. Hoeveelheid = 707.000 m³. Bij γ_{situ} van 1.80 à 1.85 = vaste stof $\text{ca. } 50\% = 353,500 \text{ m}^3$.

Deeltjes $< 60\mu = 3,4\% \text{ ca. } 12.000 \text{ m}^3$ maar $\text{ca. } 10\%$ bezinkt mee, dus overboord $\text{ca. } 10.800 \text{ m}^3$.

Bij laden van de hopper gaan deeltjes $< 100\mu$ (vaste stof) in principe overboord = $5,3\% \times 350.000 = 18.750 \text{ m}^3$ (vaste stof) maar $\text{ca. } 20\%$ bezinkt mee, dus overboord $\text{ca. } 15.000 \text{ m}^3$ (vaste stof).

In de hopper = $353.500 - 15.000 = 338.500 \text{ m}^3$ (vaste stof).

Bij $\gamma_{\text{hopper}} = 1,80 = 48 \frac{1}{2}\%$ vaste stof + $51 \frac{1}{2}\%$ porien (water) dus hopperlading $\text{ca. } 698.000 \text{ m}^3$.

De deeltjes $< 170\mu$ bedragen ca. 10%, dus deze hopper-ladingen zouden eventueel gebruikt kunnen worden voor strandverbetering.

5.4.4 Holoceen klei (WI)

Totaal in situ 768.000 m³. Aangezien hier nooit gebaggerd/getraild is zal γ_{situ} ca. 1,60 zijn.

Bij vaste stof = 2,65 is het porien volume 64% en vaste stof volume 36%.

Dus vaste stof = $0,36 * 768.000 = \text{ca. } 276.480 \text{ m}^3$.

Methode = pasta baggeren, niet overboord draaien.

In de hopper zal γ_{hopper} ca. 1,30 zijn = ca. 20% vaste stof plus 80% "gebonden water". Dus hopperlading 1.382.400 m³.

5.4.5 Tertiaire klei (WIV)

Tertiair klei	ca. 1.519.000 m ³
Tertiair zand	ca. <u>271.000 m³</u>
volgens lang profiel tekeningen:	1.790.000 m ³

Alhoewel er praktisch geen karakteristieke gegevens zijn, kon uit bestudering (bekijken/betasten) van monsters geconcludeerd worden dat de klei zeer sterk zand en slib houdend is. Van het meest kleiige monster (47.H10-10) werden Attenbergse limieten bepaald. Indien deze vergeleken worden met de tertiaire kleisoorten uit het Zeebrugge haven complex, dan kan aangenomen worden dat:

- % $< 20\mu = 12\% - 15\%$
- % $< 60\mu = \text{ca. } 20\%$
- praktisch geen deeltjes $> 150\mu$
- γ_{situ} ca. 1,90.

Bij $\gamma_{\text{situ}} = 1,9 = 54 \frac{1}{2}\%$ vaste stof

1.790.000 m³ situ = ca. 975.000 m³ vaste stof.

Het gedeelte dat bij het baggeren in deeltjes uiteen valt, is uiteraard (sterk) afhankelijk van de baggermethode. Helaas zijn er te weinig gegevens om in orde van grootte dit in te schatten, c.q. moet aanbevolen worden om aanvullend grondonderzoek te doen: boren tot 18,50 m ongeroerde monsters, γ situ, korrelverdeling, Attenbergse cijfers, cohesie (snelle celproef), schudproef of kleiballen proef e.d.

Voorlopige aanname:

a) Baggermethode III:

cutteren en terugstorten op de bodem en daarna opruimen met trailer 30% in kluiten en 70% in deeltjes waarvan een gedeelte zal wegstromen.

b) Baggermethode VI

Bij weghalen per trailer zal circa de helft van die kluiten in deeltjes uiteen vallen, één en ander afhankelijk van de trailkop.

Cutteren en met hoge snelheid door een ca. 500 m lange leiding wegspuiten aan weerskanten van de geul.

Ten gevolge van de mechanische en hydraulische desintegratie (hoge snelheden) zal alles in deeltjes in het oppervlaktewater terechtkomen.

B. Drempel van Vlissingen

5.4.6 Holoceen zand ca. 400.000 m³ grondsoort II

Voor γ situ wordt aangehouden 1.85. Dit is misschien wat aan de lage kant, maar het percentage schelpen (gruis) is nogal hoog: de gewichts hoeveelheid kalk (+ humus) = ca. 15%. Hoeveelheid vaste stof = 51,5% van 400.000 = 206.000 m³. Deeltjes $< 60\mu$ = 0,7% = ca. 1500 m³ gaan praktisch allen overboord.

Deeltjes $< 100\mu$ = 1,4% = ca. 3000 m³ gaan praktisch allen overboord (incl. < 60).

In de hopper = 206.000 - 3000: 203.000 m³

Bij γ hopper = 1.90 bedraagt de totale hopperlading
ca. 372.500 m³.

Dit zand is ook zeer geschikt voor "strandverbetering"
aangezien slechts 6,5% kleiner is dan 170 μ .

5.4.7 Resumerend resultaat van de berekeningen

De te baggeren hoeveelheid is gebaseerd op een
baggerdiepte van 18 m minus NAP en talud 1:60 in de
holocene grond resp. 1:20 in de tertiaire grond.
Het lijkt ons aannemelijk dat bij de flauwe taluds het
zijdelings toestromen van specie verwaarloosbaar is, c.q.
bij stijlere taluds is de hoeveelheid van zijdelings
instromend materiaal verdisconteerd in de talud-
hoeveelheid (bij 1:60 ruim 60% van de hoeveelheid tussen
de verticalen).

De noodzaak van een grotere overdiepte zou aanwezig zijn
bij aanzanding van de verdiepte vaargeul (tijdens de
uitvoering?), maar de sterke getijstrooming door de geul
zou dit effect kunnen opheffen.

W = Wielingen

D = Drempel van Vlissingen

grondsoort en lokatie	hoev. in situ (x 1000 m ³)	hoev. in hopper (x 1000 m ³)	% hopperhoev. situhoev.	totaal droge stof	
				<100 μ (ton*1000)	<60 μ (ton*1000)
WI	768	1.382	180	476	366,34
WII	7.414	7.468	101	221	124,55
WIII	1.765	1.541	87	290	117,04
WII/III	707	698	99	40	31,80
WIV	1.790	-	-	-	645,94
DII	400	373	93	8	3,98
					1289,65

De totale fraktie < 60 μ bedraagt aldus
1290 * 1000 ton droge stof

Deze fraktie zal deels tijdens het baggeren overboord gaan, deels op de stortplaats in suspensie komen. De verdeling is als volgt:

Grondsoort	Totale fraktie < 60 μ (ton x 1000)	Overboord tijdens baggeren (ton x 1000)	Overboord op de stortplaats (ton x 1000)
WI	366,34	-	366,34
WII	124,55	112,63	11,92
WIII	117,04	102,42	15,38
WII/III	31,80	28,62	3,18
WIV	645,94	-	645,94 (?)
DII	3,98	3,98	-
Totaal	1289,65	247,65	1042,76

Op bijgaande tekeningen 5.7 t/m 5.11 zijn per km lengte van het baggervak "de Wielingen en voor de Drempel van Vlissingen de hoeveelheden weergegeven voor:

- hopperladingen: bij aanname van de hopperinhoud is het aantal trailercyclussen te bepalen
- de hoeveelheid vaste stof (in deeltjes) welke overboord gaat tijdens het sleepzuigen.

De percentages <60 μ en <100 μ welke in de hopperladingen zitten, kunnen uit de detail berekening worden gedestilleerd.

5.5 DE WERKBAARHEID

Over de werkbaarheid in het gebied van de Wielingen kunnen momenteel alleen maar enkele algemene opmerkingen gemaakt worden omdat voor dit onderzoek slechts golfgegevens van 1 jaar (1985) beschikbaar waren.

Het percentage van de tijd dat er gewerkt kan worden is sterk afhankelijk van de mate waarin het materieel gehinderd wordt door weersinvloeden. De zgn. werkbare tijd kan alleen dan redelijk voorspeld worden wanneer bekend is welk materieel gebruikt zal worden en tevens de wind- en golf gegevens voor het betrokken gebied over een periode van ca. 10 jaar beschikbaar zijn. Met slechts de golfgegevens van 1985 kan vanzelfsprekend geen schatting van de werkbare tijd gegeven worden.

Over het materieel kan het volgende opgemerkt worden:

- Een baggermolen kan slechts werken tot een kritieke golfhoogte van ca. 0,5 m.
- Een grote cutterzuiger met spuds en drijvende leiding kan zonder al te grote risico's slechts ingezet worden tot een golfhoogte van 0,5 m. Zonder drijvende leiding maar met spuds ligt die grens tussen de 0,5 en 1 m. Ingeval een grote cutterzuiger verankerd is zonder spuds ligt de kritieke golfhoogte tussen 1,5 en 2 m.
- In vergelijking met het andere materieel zal een grote sleephopperzuiger het minst afhankelijk van het golfklimaat zijn.

De kritieke golfhoogte ligt hier tussen de 3,5 en 4 m.

In dit gebied dient met volle zeegang gerekend te worden waarbij krachtige winden uit het W en N-W het werk kunnen belemmeren. Uit de golfklimaat gegevens van 1985 blijkt dat de golfhoogte zelden boven de 1,5 m uitkwam en in het geheel niet boven de 2,75 m. De dominerende golfhoogte (significant wave) was ca. 0,8 m.

Hieruit kan gekonkludeerd worden dat in 1985 (dat bekend staat als een kalm jaar):

- zelden zonder veel risico met een baggermolen gewerkt kon worden waardoor baggermethode 5 als mogelijkheid wegvalt
- vaak met een grote cutterzuiger gewerkt had kunnen worden (echter zonder drijvende leiding en zonder spuds)
- altijd met een grote sleephopperzuiger gewerkt had kunnen worden.

Een andere faktor die de werkbaarheid beïnvloedt is de aldaar aanwezige scheepvaart. In verband met de drukke scheepvaart ter plekke dient het materieel dat verankerd moet worden tot het hoogst noodzakelijke (d.w.z. klei lokaties en taluds) beperkt te worden.

Samenvattend kan gesteld worden dat i.v.m. de
werkbaarheid:

- het gebruik van een emmerbaggermolen niet aan te bevelen is
- het gebruik van spuds en drijvende leidingen niet aan te bevelen is
- het gebruik van cutters zo mogelijk beperkt moet blijven (dit als gevolg van de scheepvaart die hinderlijk zal zijn voor de verankering van de cutter)
- grote sleephopperzuigers geen noemenswaardige hinder van weersinvloeden en scheepvaart behoeven te ondervinden.

5.6 KONKLUSIES

Het beschouwde te baggeren tracee wordt gevormd door een geul van 8,5 km lengte geheel ten westen van Vlissingen. Deze geul dient tot op NAP -18 m diepte gebracht te worden.

In het tracee zijn 5 te baggeren grondsoorten van elkaar onderscheiden, te weten:

a. type 1: Holocene klei

768.000 m3 in situ

overboordverlies: geen

in de hopper: 1.382.500 m3

Niet geschikt voor strandverbetering

b. type 2: Holocene zand

7.414.000 m3 in situ

overboordverlies: 83.500 m3

in de hopper: 7.468.000 m3

Dit materiaal is geschikt voor strand-
verbetering

- c. type 2/ Holocene zand met sporen klei en slib
3: 707.000 m3 in situ
overboordverlies: 15.000 m3
in de hopper: 698.000 m3
Dit materiaal is matig geschikt voor strand-verbetering
- d. type 3: Holocene zand met slib en kleilaagjes
1.765.000 m3 in situ
overboordverlies: 109.500 m3
in de hopper: 1.541.000 m3
Dit materiaal is niet geschikt voor strand-verbetering
- e. type 4: Tertiaire klei
1.790.000 m3 in situ
overboordverlies: door onvoldoende gegevens is dit nog niet in te schatten. Aanvullend grond-onderzoek zal nodig zijn.
- Bij de drempel van Vlissingen zal nog Holocene zand gebaggerd moeten worden.
400.000 m3 in situ
overboordverlies: 3000 m3
in de hopper: 372.500 m3
Dit materiaal is zeer geschikt voor strandverbetering.
- Voor onderzoek van het tertiaire materiaal was slechts 1 grondmonster beschikbaar. Dit monster bevatte slechts weinig kleideeltjes (12% - 15%).
 - Gekonkludeerd moet worden dat dit materiaal:
 - ongeschikt is voor stroomresistente ophoging en afdekking van turbulentiegaten
 - tot zeer grote overboordverliezen zal leiden

- Dergelijke essentiële konklusies mogen echter niet verbonden worden aan de onderzoeksresultaten van slechts één grondmonster.
 - Van de tertiaire laag is momenteel onvoldoende bekend om te weten of het ene grondmonster representatief is voor de totale hoeveelheid te baggeren tertiair materiaal.
 - Het verdient dan ook aanbeveling om een nader en meer gedegen grondmechanisch onderzoek (boringen en ongeroerde monsters) te doen verrichten.
 - Het baggeren van de typen 1, 2, 2/3 en 3 zal eenvoudig met sleepzuigers kunnen gebeuren.
 - Het baggeren van type 4, het tertiaire materiaal, zal meer problemen geven daar deze laag meer taai van consistentie is.
 - De volgende methoden lijken, met de momenteel aanwezige kennis over deze tertiaire laag, het meest in aanmerking te komen om dit materiaal te baggeren:
 - een cutterzuiger die grond loswoelt gevolgd door een sleepzuiger die de specie ophaalt (methode 3)
 - een "dipper"- of "backhoe-dredger" indien geschiktheid voor stroomresistente opvulling blijkt
 - het gebruik van een emmerbaggermolen is niet aan te bevelen i.m.v. de werkbaarheid.
- Wanneer het tertiaire materiaal inderdaad (slechts) uit (zeer) fijn zand en slib blijkt te bestaan dan lijkt methode 6 aantrekkelijk aangezien bij cutteren gevolgd door trailen toch praktisch geen zand in de hopper komt (blijft): c.q. het kan een gedachte zijn die de moeite waard is om te bestuderen in samenwerking met de aannemer(s).

Theoretisch en technologisch moet het mogelijk zijn een drijvende leiding te ontwerpen met voldoende zekerheden voor enerzijds de scheepvaart en anderzijds de werkbare tijd.

- Een definitieve keuze uit deze methoden kan dan pas gemaakt worden wanneer meer gegevens over het te baggeren tertiaire materiaal bekend zijn.

6. VERSPREIDINGSONDERZOEK

6.1 INLEIDING

Uit het baggeronderzoek kan geconcludeerd worden dat de totale hoeveelheid droge stof $< 60 \mu$ 1290 miljoen kg bedraagt. Hiervan komt 1043 miljoen kg op de stortplaats in suspensie. Omdat het tijdens het baggeren overboord geraakte deel van de fraktie $< 60 \mu$ qua concentratie en omvang geringer is, maar qua lokatie ongunstiger, wordt aangenomen dat de gehele fraktie $< 60 \mu$ op de stortplaats in suspensie komt.

Indien in de slibrijke gronden (bijv. Holocene klei) een continue baggerproduktie van 1000 m³ in het beun per uur wordt gehaald ($\phi_{beun} = 1,3$) en van dit materiaal 60% $< 60 \mu$ is, komt er 75 kg/sec in suspensie. In dit geval zou de verwerking van het slibhoudend materiaal ca. 7 maanden duren.

Indien de kleilagen sneller, bijvoorbeeld in een maand tijd worden weggebaggerd zal de slibbelasting orde van grootte 750 kg/sec bedragen.

Deze beide gevallen dienen als basis aanname voor het verspreidingsonderzoek.

Eerst werd een storting van 75 kg/sec tot evenwicht doorgerekend, onder aanname van een normale afbraak.

Vervolgens werd dezelfde storting tot evenwicht doorgerekend zonder rekening te houden met afbraak.

Vanuit deze laatste evenwichtssituatie werden vervolgens na stopzetting van de lozing 5 getijden doorgerekend, om het gedrag van de stortplaats na de lozing te simuleren. Tenslotte werd een slibbelasting van 750 kg/sec gedurende 5 getijden onder aanname van een normale afbraak doorgerekend, om een vergelijking met de storting van 75 kg/sec mogelijk te maken.

6.2 HET PROGRAMMA TRASIL

Het computermodel TRASIL is gebaseerd op de diepte gemiddelde convectie-diffusie vergelijking:

$$(1) \quad \frac{\partial c}{\partial t} + (\underline{u} \cdot \text{grad } c) + \text{div} (\underline{\underline{K}} \text{ grad } c) + \beta c + f(x, y, c, t) = 0$$

Deze partiële differentiaal vergelijking is de mathematische vertaling van de wet van behoud voor het slib.

De variabelen uit (1) zijn als volgt gedefinieerd:

c : diepte-gemiddelde concentratie, er geldt:

$$c = \frac{1}{J+h} \left(\int_{-h}^J \hat{c}(x, y, z, t) dz \right)$$

met
 J - de waterverhoging
 h - de waterdiepte
 en $\hat{c}(x, y, z, t)$ de concentratie op lokatie (x, y, z)
 en tijdstip t in g/m³.

$\underline{u}$: de diepte-gemiddelde snelheidsvector

$\underline{\underline{K}}$: de diffusietensor

β : de afbraak- en opwervelingcoëfficiënt

f : term voor de representatie van bronnen.

De grootheden J , h en $\underline{u}$ moeten op ieder tijdstip t en elke lokatie (x, y) gegeven zijn. In het onderhavige geval zijn deze via berekeningen met FINEL, zie hoofdstuk 4, verkregen in een groot aantal knooppunten. Door interpolatie volgen de waarden voor een willekeurig punt.

De grootheden K , β en f dienen door de gebruiker te worden ingesteld. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende (empirische) formules:

$$- \quad K \approx \begin{pmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{pmatrix} \text{ met}$$

$$K = \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2} \times \text{diepte}}{3 \sqrt{g} C} \right) \text{ m}^2/\text{s}$$

waarin: g : versnelling van de zwaartekracht (9.81 m/sec^2)
en

C : coefficient van Chezy

$$- \quad \beta = \left(- \frac{W C}{\text{diepte}} \right) \text{ sec}^{-1}$$

met $W = \frac{\text{valsnelheid}}{C}$ een empirische coefficient,

volgens lit (1) gesteld op $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{gs}$.

De diffusieweg zegt:

De invloed van de diffusie is rechtevenredig met het concentratieverschil en omgekeerd evenredig met de afstand in het kwadraat.

Discreet betekent dit voor 2 lokaties

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = -K \left(\frac{C_1 - C_2}{d^2} \right) \quad \frac{\partial C_2}{\partial t} = -K \left(\frac{C_2 - C_1}{d^2} \right)$$

met K = de diffusieconstante

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\text{div} (K \text{ grad } c)$$

Zie literatuur (11)

Voor het gemak van de gebruiker is voor de diffusie een coefficient D ingevoerd en voor de afbraak een coefficient α . Bij invoer volgens bovenstaande formules en aannames zijn beide factoren 1 gesteld, afwijkende invoer van diffusie en/of afbraak kan door wijziging van D respectievelijk α .

De tijdsimulatie van de verspreiding van het slib met TRASIL gaat via een substap-techniek. Initieel wordt een bepaalde concentratieverdeling in het gebied van interesse gegeven: het gebied wordt in een aantal blokken opgedeeld en voor ieder blok wordt een beginconcentratie, zijnde een gemiddelde over dat betreffende gebiedje uitgerekend. Daarna worden de verschillende processen, waardoor een bepaalde concentratie zich verplaatst, successievelijk behandeld.

In de eerste substap wordt de nieuwe positie, van het zwaartepunt van het blokje, die ingenomen zou worden als uitsluitend convectie een rol speelde, berekend. De berekening wordt uitgevoerd met de klassieke Runge-Kutta methode die zoals bekend zeer goede eigenschappen heeft voor de berekening van trajectorieen (zie lit (2)). In de tweede substap wordt, voor elk blokje, afbraak en opwerveling doorgerekend. Alhoewel de coefficient lokatie- en concentratie afhankelijk is, wordt aangenomen dat per substap met een constante β kan worden gerekend, zodat de exacte oplossing $C * \exp(-\beta t)$ kan worden gebruikt.

In de volgende substap worden de diffusieve processen verwerkt. Met de tensor K wordt het transport berekend waarbij een Crank-Nicholson benadering wordt gebruikt (zie (3)).

Tenslotte wordt in de vierde substap de invloed van lokale bronnen verwerkt.

De grootte van de tijdstap wordt door het programma zelf bepaald zodat gegeven het FINEL snelheidsveld een stapgrootte, die, noch overdreven grof noch overdreven nauwkeurig is, wordt benut.

Langs de gesloten randen wordt als randvoorwaarde genomen dat er geen slib door naar buiten kan stromen terwijl bij de open randen nieuwe blokjes het gebied instromen of oude blokjes het gebied verlaten afhankelijk van de stroomrichting.

Tenzij anders opgegeven, is de concentratie van de instromende blokjes nul. Door diffusie, bronnen en opwerveling zal de concentratie van deze blokjes na verloop van tijd mogelijk niet meer nul zijn.

Resultaten van berekeningen kunnen zowel geprint als geplot worden. Met betrekking tot het plotten dient te worden opgemerkt dat de concentraties per gebiedje gegeven zijn, waardoor equi-concentratielijnen uitsluitend door middelingsprocedures te verkrijgen zijn.

Bij een voldoende aantal blokjes hoeft dit niet tot grote onnauwkeurigheden te leiden. Uiteraard is de rekentijd wel afhankelijk van het aantal blokjes.

In het geval van de Wielingen maakten enige testruns duidelijk dat 4000 blokjes een acceptabel aantal was. De oppervlakte van een blokje is dan ca. 400 x 400 m².

6.3 RANDVOORWAARDEN WIELINGEN

6.3.1 Het achtergrondslibgehalte

Voor een beschouwing van het achtergrondslibgehalte in de monding van de Westerschelde stonden de volgende bronnen ter beschikking:

- concentratiemetingen over raaien in de Appelzak en op de kop van Walcheren in 1982, '83 en '84, steeds op vijf tijdstippen in de maanden juli, augustus en september
- suspensietransportmetingen in de Wielingen van juli 1979 met fles met bal
- maandgemiddeldes van de oppervlakte bemonstering in de Westerschelde van 1969 t/m 1980
- voorts het recente meetprogramma op de stortplaats, waarbij in twee punten AZTM, Partech- en PFS metingen werden gedaan in september en oktober 1985.

Bij de metingen langs de raaien in de Appelzak bij Walcheren werd alleen aan het oppervlak gemeten, onduidelijk was het tijdstip in het getij.

In de Appelzak bedroeg de gemiddelde concentratie 50 mg/l bij een maximum van 167 en een minimum van 3 mg/l.

Bij Walcheren bedroegen deze waarden 20 resp. 70 en 2 mg/l.

De suspensietransportmetingen met fles met bal van juli 1979 geven een sterk onregelmatig beeld, afhankelijkheid van stroomsterkte, stroomrichting en hoogte t.o.v. de bodem lopen onherkenbaar door elkaar.

Aan de bodem varieert de concentratie van ca. 50 tot 600 mg/l aan het oppervlak van 7 tot 180 mg/l.

De maandgemiddelde slibgehalten bij Walcheren (van 1969-1980) geven in het zomerhalfjaar (april t/m september) een gemiddelde concentratie van 12 mg/l en in het winterhalfjaar van 44 mg/l aan het oppervlak gemeten. Voor het slibgehalte gemiddeld in de vertikaal dient ongeveer het dubbele van deze waarden aangehouden te worden.

Het meetprogramma van september/oktober 1985 op de stortplaats geeft een in de vertikaal gemiddelde concentratie van 175 mg/l bij maximale stroom (ca 0.6 m/s) en 30 mg/l bij de kentering.

De grote variatie in de gevonden concentraties dient gezocht te worden in verschillen in meetmethoden, weersomstandigheden, lokaties enz.

Resumerend kan gezegd worden dat in de zomer de in de vertikaal gemiddelde concentraties bij maximum stroom in de Wielingen variëren van 25 tot 150 mg/l, bij de kentering van 10 tot 50 mg/l.

In de winter zullen deze waarden ongeveer het dubbele bedragen.

De resultaten van het verspreidingsmodel dienen gesuperponeerd te worden op het achtergrond slibgehalte. Op grond van de volgende overwegingen is dit achtergrond-slibgehalte niet meegenomen in de berekening:

- De thans gesimuleerde situatie is ongunstiger dan met het achtergrondslibgehalte: invoering van het achtergrondslibgehalte geeft hogere concentraties en er zal dus meer neerslaan dan nu het geval is.
- Het doorrekenen naar een evenwichtssituatie duurt zonder achtergrondslibgehalte langer, maar geeft een beter beeld: gehalten van 10 mg/l zouden al in de achtergrondruis wegvallen. Doorrekenen van 10 naar 0 duurt langer dan doorrekenen van 60 naar 50 mg/l.

- Er zijn sterke aanwijzingen dat het achtergrondslibgehalte voor een groot deel andersoortig is: sneller neerslaat en sneller in suspensie komt, en wel binnen het tijdsbestek van 1 getij (bij maximale stroom ca 200 mg/l, bij minimale stroom ca 20 mg/l.
- De verdeling van het achtergrondslibgehalte in het mondingsgebied is slechts globaal bekend en vertoont een grillig karakter.

6.3.2 Eigenschappen van het slib

Om het proces in het stortgebied te simuleren werd aldaar in eerste instantie een continue lozing van 75 kg droge stof per seconde toegepast ($f = 75 \text{ kg/s}$). De diffusie werd op bovengenoemde wijze ingesteld ($\text{diffc} = 1.0$).

Voor de afbraak c.q. opwerveling werden twee gevallen tot evenwicht doorgerekend:

- a) met afbraak ($\alpha = 1.00$)
- b) zonder afbraak ($\alpha = 0.00$).

a) Met afbraak ($\alpha = 1.00$)

De faktor voor de valsnelheid W in de formule voor de afbraak werd in eerste instantie bepaald op grond van gegevens uit de literatuur.

Bij het in Wallingford ontwikkelde model lit (1) werd als empirische waarde voor $W = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{gs}$ aangehouden voor de relevante slibfractie. Bij een onderzoek naar de verdunning en verspreiding van in de Eemsmond gestorte baggerspecie lit (4) lukte het eenmalig om de slibmassa 3500 m benedenstrooms van het stortpunt te volgen.

Kennelijk waren de omstandigheden in dit geval zodanig, dat de invloed van de materiaaleigenschap valsnelheid betrekkelijk ongestoord kon plaatsvinden.

Bij herleiding naar de hier toegepaste formule met $\bar{C} = 1000 \text{ mg/l}$ wordt een waarde voor W gevonden van 5×10^{-6} , een sterkere afbraak dus dan toegepast in het Wallingford model, begrijpelijk omdat in werkelijkheid niet slechts de valsnelheid werkt. Valsnelheidsproeven, gedaan op slib uit het Chao Phya Estuary lit (5) gaven een duidelijke piek in de valsnelheid te zien bij concentraties van circa 5000 mg/liter, in Wallingford werd deze concentratie als bovengrens voor het omschreven proces genoemd.

Deze maximale valsnelheid bedroeg ca. 0,5 mm/sec. Bij een concentratie van 1000 mg/l zou dit 0,1 mm/sec zijn en de bijbehorende $W = 0,1 \times 10^{-6}$, een faktor 10 lager dan in Wallingford toegepast.

Ter completering van de beschikbare gegevens werden in het laboratorium van RWS in Vlissingen een valsnelheidsproef gedaan op een bodemonster van de kwartaire (holocene) klei (47H12-5). Omdat er weinig materiaal en tijd voorhande was, zodat slechts één proef uitgevoerd kon worden, werd besloten een zo hoog mogelijke begin concentratie toe te passen: 2300 gram van het natte monster werd gemengd met ca. 6 liter slib en zandrijk zeewater. De doorzichtige valpijp was 2 meter lang en bood aftapmogelijkheden op 20, 79 en 139 cm boven de bodem.

Direct na storting vormde zich een scherp scheidingsvlak tussen een bovenlaag van min of meer schoon water en een onderlaag met een hoge concentratie slib.

In figuur 6.1 staat het verloop van de concentraties op de 3 nivo's boven de bodem in de tijd uitgezet, alsmede een schets van de proefopstelling.

In figuur 6.2 is de zakking van het scheidingsvlak tussen helder en troebel water uitgezet in de tijd, een correctie werd toegepast voor de afgetapte hoeveelheid water/slib. Een evenwichtsbeschouwing van de buisdoorsnede op 79 cm boven de bodem (aftappunt B) geeft bij een zakking van 25 cm per uur en een $\bar{C} = 50$ g/l een valsnelheid, die een faktor 5 hoger ligt dan bij de Bangkokproef. Als extrapolatie naar lagere concentraties is toegestaan wordt een W in de orde van grootte van $0,5 \times 10^{-6}$ gevonden. Voor een nauwkeurige bepaling van de valsnelheid is een meer uitgebreide serie valproeven nodig bij lagere beginconcentraties en op verschillende monsters. Vooralsnog lijkt de in Wallingford gedane aanname ($W = 1,5 \times 10^{-6}$) een redelijke benadering, temeer daar doorrekening met verwaarlozing van de afbraak ($\alpha = 0$) een veilige bovengrens voor de concentraties garandeert.

b) Zonder afbraak ($\alpha = 0.0$)

Deze aanname simuleert in feite de situatie in geval van maximale opwerveling. Evenwicht zal hier dus pas optreden indien evenveel slib over de modelranden naar buiten stroomt als er geloosd wordt in het stortgebied.

Na het bereiken van dit evenwicht werd de lozing stopgezet en werden vijf getijden doorgerekend om het gedrag van de stortplaats na afloop van de lozing bij maximale opwerveling te bekijken.

Tenslotte werden nog 5 getijden doorgerekend met een storting van 750 kg/sec, om het verschil met de lozing van 75 kg/sec te kunnen analyseren.

6.4 RESULTATEN SLIBMODEL

6.4.1 Met afbraak ($\alpha = 1.0$) en storting $f = 75$ kg/sec.

In de figuren 6.3 t/m 6.14 zijn de concentratielijnen voor $C = 10$ g/m³ aangegeven, gerekend vanaf het begin van de storting na 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 en 15 getijden. Na 5, 10 en 15 getijden zijn tevens de concentratielijnen voor $C = 1$ g/m³ aangegeven. (zie figuur 6.8, 6.12 en 6.14). Vergelijking van de situatie na 10 getijden (figuur 6.11) en 15 getijden (figuur 6.13) laat zien dat hier reeds een evenwichtssituatie bereikt is.

Op grond van het beeld van de concentratielijnen werd besloten voor het neerslaan van het slib een inspeelperiode van 5 getijden in acht te nemen. In figuur 6.15 t/m 6.18 zijn lijnen van gelijke hoeveelheden neergeslagen slib weergegeven na 10 en 15 getijden voor resp. 10 en 100 g/m². Na 15 getijden is ca 4% (50 miljoen kg) van de totale fraktie $< 60 \mu$ gestort. Op dat moment is 42% over de rand verdwenen en 36% neergeslagen, de rest is in suspensie.

In de figuren 6.15 t/m 6.18 zijn tevens de laagdiktes van de slibdeken na het aantal berekende getijden en na het einde van de lozing aangegeven.

Hierbij is een dichtheid van de slibdeken van 1200 kg per m³ aangehouden.

Een indruk van de opbouw van de slibdeken is gegeven in figuur 6.46.

6.4.2 Zonder afbraak ($\alpha = 0.0$) en storting $f = 75 \text{ kg/sec.}$

In figuur 6.19 t/m 6.24 zijn de concentratielijnen voor $C = 10$ en 1 g/m^3 aangegeven na 5, 10 en 20 getijden.

Evenwicht was in feite bereikt na 10 getijden.

Een vergelijking met de uitkomsten met afbraak laat zien dat na 5 getijden het gebied met een concentratieverhoging van 10 g/m^3 1-1/2 maal zo groot is. Na 10 getijden is dit verschil praktisch verdwenen.

Ter completering van het beeld zijn in figuur 6.25 t/m 6.36 de concentratielijnen voor $C = 1$ en $C = 10 \text{ g/m}^2$ voor het 16e getij om de 2 uur weergegeven. De concentratieverhoging dichtbij Vlissingen-Breskens zou vermeden kunnen worden door een getijafhankelijk timing van de stortingen. De oppervlakken van de gebieden waar tijdens de lozing in de loop van een getij de verhoging van de slibconcentratie ten opzicht van het achtergrondslibgehalte 10 resp. 1 g/m^3 bedraagt zijn weergegeven in de figuren 6.44 en 6.45.

6.4.3 Zonder afbraak, na afloop storting

In figuur 6.37 en 6.38 zijn de concentratielijnen voor $C = 1 \text{ g/m}^3$ en $0,1 \text{ g/m}^3$ 5 getijden na stopzetting van de lozing weergegeven. De concentratie 10 g/m^3 kwam al niet meer voor. Dit stemt overeen met de veronderstelling dat in de orde van grootte van 10 getijden volledige verversing van het water in het mondingsgebied optreedt, met uitzondering van het water aan de gesloten randen. Hier hebben evenwel randeffekten zoals de branding een gunstig effect op verspreiding en diffusie van het slib, invloeden die niet in het model zijn inbegrepen.

6.4.4 Met afbraak ($\alpha = 1$), storting 750 kg/sec.

In figuur 6.39 en 6.40 zijn de concentratielijnen voor $C = 10$ en 1 weergegeven na 5 getijden storten met 750 kg/sec. Rond de stortplaats werd een concentratie van maximaal 100 g/m³ gevonden. Het gebied, waar concentratieverhogingen van 10 g/m³ optreden is nu ca. tweemaal zo groot als bij een storting van 75 kg/sec.

In figuur 6.41 t/m 6.43 zijn de hoeveelheden neergeslagen slib weergegeven voor 10, 100 en 500 g/m². De maximale waarde die werd gevonden bedroeg 4000 g/m².

In deze 5 getijden werd in totaal reeds 169 miljoen kg slib gestort; 13% van de totale hoeveelheid. Door de hoge concentraties slaat aanzienlijk meer slib neer dan bij een geleidelijker lozing: 126 miljoen kg, dus 75% van de gestorte hoeveelheid. 23% is in suspensie en slechts 2% is over de rand verdwenen. Als in dit tempo gestort wordt is het karwei in ca. 3 weken geklaard. Praktisch alle slib is dan neergeslagen in het mondingsgebied over een oppervlakte die 1 1/2 maal zo groot als bij een storting van 75 kg/sec.

In figuren 6.41 t/m 6.43 staan tevens de diktes van de sliblaag na 5 getijden en na het einde van de lozing aangegeven. Een indruk van de opbouw van de slibdeken is gegeven in figuur 6.46.

6.5 DICHTHEIDSSTROOMEFFEKTEN

In het voorgaande is aangenomen dat de gehele fraktie <60 μ in suspensie komt, zodat tijdens de lozing geen dichtheidsstromen kunnen ontstaan.

Indien deze aanname van volledige suspensie onjuist is kan een dichtheidsstroom ontstaan door de impuls van de valbeweging.

Als een snelle storting van het slib wordt toegepast kan op de bodem in de buurt van de stortplaats een slibdeken ontstaan (zie 6.4) van ca. 10 cm dikte, die zich onder bepaalde omstandigheden (bodempelling) als dichtheidsstroom zou kunnen verplaatsen.

Gezien de beschikbare gegevens is het niet zinvol om een uitgebreide theoretische beschouwing te wijden aan het wel of niet ontstaan van een dichtheidsstroom tussen stortplaats en geul.

Een oriënterende studie van de beschikbare literatuur (litt (6, 7, 8, 9, 10)) toont aan dat als eerste benadering de volgende formule kan worden toegepast:

$$v = c' \sqrt{R \sin i}$$

$$\text{met } c' = \sqrt{\frac{\rho}{f} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \cdot g}$$

waarin v = de snelheid evenwijdig aan de bodem
 R = hydraulische straal
 i = helling van de bodem
 f = coefficient voor de wrijving
 ρ_0 = dichtheid van de omgevende vloeistof
 ρ = dichtheid van de mengselstroom
 $\Delta \rho = \rho - \rho_0$
 g = versnelling van de zwaartekracht

In de Wielingen geldt een helling van ca. 1:300. Als wordt aangenomen dat de laagdikte 10 cm bedraagt met een dichtheid van 1200 kg/m³ dan ontstaat een snelheid van 20 cm/seconde. Dat wil zeggen dat in een tijdsbestek van 3 uur de slibdeken van de stortplaats naar de geul kan vloeien; gezien de val- en consolidatiesnelheid van het slib is het niet waarschijnlijk dat in deze tijd in de mengselstroom een noemenswaardige afbraak optreedt. Met andere woorden: indien een dichtheidsstroom ontstaat is het waarschijnlijk dat deze inderdaad in de geul terecht komt. Ter beperking van de kans op het ontstaan van een dichtheidsstroom wordt aanbevolen om de wijze van storten zo diffuus mogelijk te maken bij een lage stort-snelheid.

6.6 KONKLUSIES

6.6.1 Verspreiding tijdens baggeren

Een resumerend overzicht van de invoer en de resultaten van het slibverspreidingsmodel is gegeven in figuur 6.47. De verspreiding van slib tijdens het bagger- en stortproces vindt hoofdzakelijk plaats in westelijke richting (zeewaarts).

De belangrijkste oorzaak hiervoor is gelegen in de getijstrooming die in de Wielingen en ook op de stortplaats een resulterende komponent in westelijke richting heeft. Hierdoor treedt t.p.v. de stortplaats na ca. 10 getijden een volledige verversing op.

De verspreiding in oostelijke en zuidelijke richting (resp. het Walcherse en Zeeuws-Vlaamse strand) is beperkt. Deze wordt voornamelijk veroorzaakt door diffusieprocessen en (uiteraard) de vloedstroom die binnen één getijcyclus het sediment ca. 10 kilometer in oostelijke richting kan transporteren.

Langs de stranden komen nergens slibconcentratieverhogingen voor die groter zijn dan 10 mg/l.

Dit geldt zowel voor het geval dat de bezinksnelheid van het slib wordt verwaarloosd als voor het geval waarbij een reële uitzaksnelheid wordt gehanteerd zonder resuspensie.

De berekende concentratieverhoging langs het strand is gering ten opzichte van het achtergrondslibgehalte. Daar komt bij dat de aannamen die gedaan zijn bij de opzet van de berekeningen waarschijnlijk een overschatting van het verspreidingsgebied tot gevolg hebben.

De concentratieverhoging (max. 10 mg/l) moet wel over de volle baggerperiode van ca. 8 maanden worden gerekend.

Een belangrijke conclusie kan getrokken worden wat betreft de konsekwenties van het tempo van lozing van het slibrijke materiaal.

Indien dit in een maand tijd wordt weggebaggerd zal praktisch alles in het mondingsgebied weer neerslaan. Bij een gelijkmatige verdeling over de totale bagger-activiteit zal naar schatting de helft in het mondingsgebied neerslaan.

NB: in deze getallen is resuspensie niet begrepen.

Het slib dat door de westelijke rand van het model verdwijnt zal waarschijnlijk voor het overgrote deel over een groot gebied worden verspreid in de vorm van een verhoging van het achtergrond slibgehalte. In een later stadium (orde 50 getijden) zou een sterk verdunde concentratieverhoging via de noordelijke modelgrens weer in het gebied kunnen terugkeren.

Over de concentratie veranderingen ten opzichte van het achtergrondslibgehalte kan het volgende gezegd worden:

In de zomer variëren de vertikaal gemiddelde concentraties in de Wielingen van 10 tot 50 mg/l op de kentering en van 25 tot 150 mg/l op maximum stroom.

In de winter zullen deze waarden het dubbele bedragen.

De relatieve verhoging van de concentraties zal dus bij uitvoering in de winter geringer zijn dan in de zomer en eventuele hinder zal in de zomer meer voelbaar zijn. In de zomer zal evenwel snellere consolidatie optreden dan in de winter.

6.6.2 Verspreiding na baggeren

Vanwege de duidelijk zeewaartse reststroom in de Wielingen wordt verwacht dat vrijwel direkt na afloop van de baggeraktiviteiten (orde 10 getijden) de eerste direkte concentratieverhogingen als gevolg van de storting zijn verdwenen.

Er moet echter op gerekend worden dat gedurende langere tijd (orde maanden) een verhoging van het slibgehalte kan optreden over een groot gebied.

Deze verhoging kan 10 - 50 mg/l bedragen. De verwachting is dat slib dat eenmaal in suspensie is gedurende langere tijd in beweging zal blijven (verhoging achtergrond gehalte).

7. LITERATUUR

- (1) Cole and Miles
Two-dimensional Model of Mud Transport.
Journal of Hydraulic Engineering Vol. 109 no. 1
January 1983.
- (2) K. Dekker, J.G. Verwer
Stability of Runge-Kutta methods for stiff non-linear
differential equations.
North Holland, Amsterdam, 1984.
- (3) P.J. Roache
Computational Fluid Dynamics
Hermosa Publishers, Albuquerque, 1972.
- (4) De verdunning en verspreiding van baggerspecie gestort met
de sleepopperzuiger KINHEM op de stortlokaties "Mond van
de Dollard" en "Bocht van Watum" nota 84.03 januari 1984
RWS directie Groningen.
- (5) Nedeco Studie Bangkok Chao Phya Estuary.
- (6) Kuenen P.H.
Turbidity currents on high density
Proc. of section 6: The geol. of sea and ocean floors,
Part VIII, London 1950, 44.52.
- (7) Johnson M.A.
Turbidity Currents
Phys. Oceanography, Science Progress Vol. 50,
1962, 257-273.

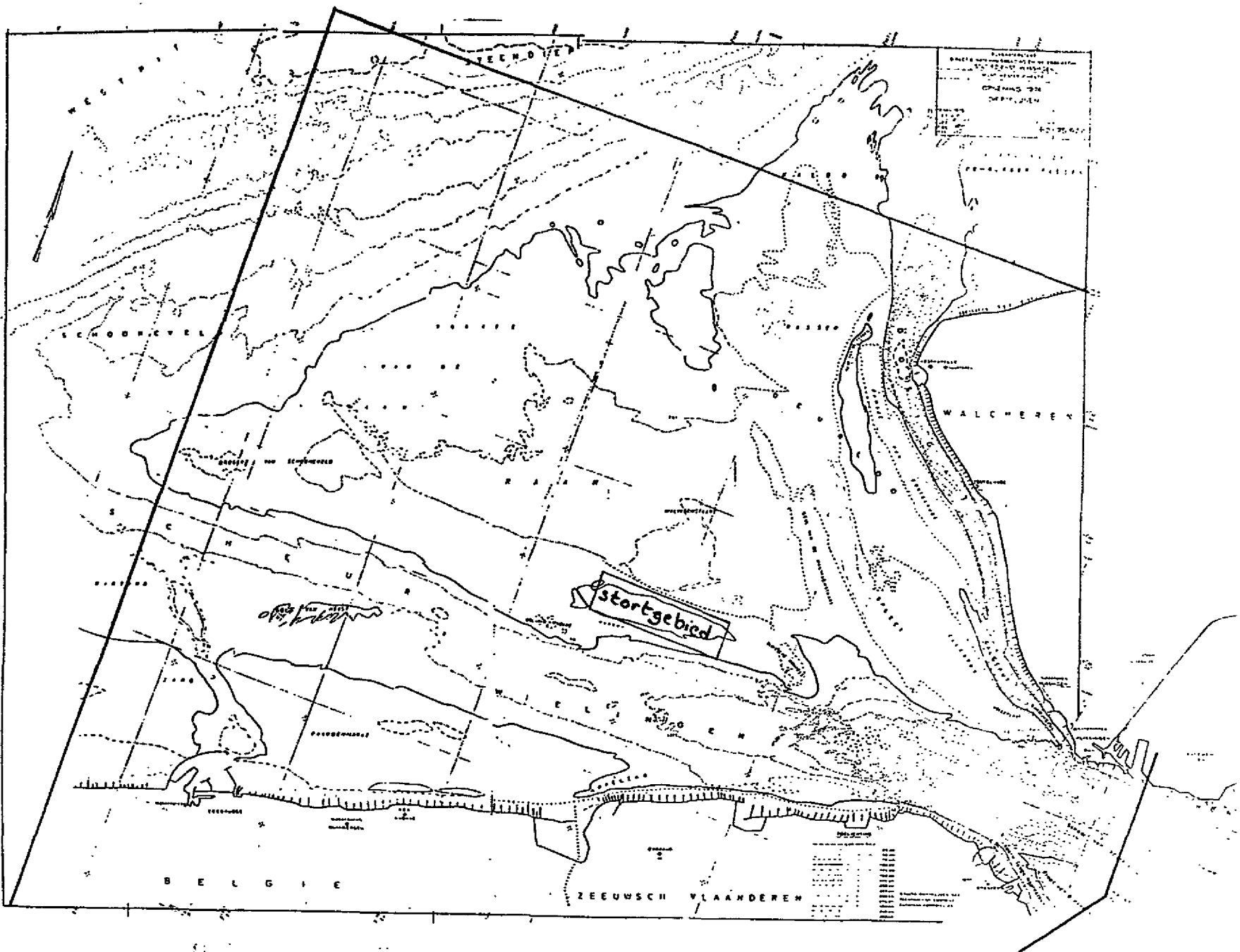
- (8) Middleton, G.V.
Experiments on density and turbidity currents, II
Uniformflow of density currents. Can.
J. Earth Sci, 3: 627-637.

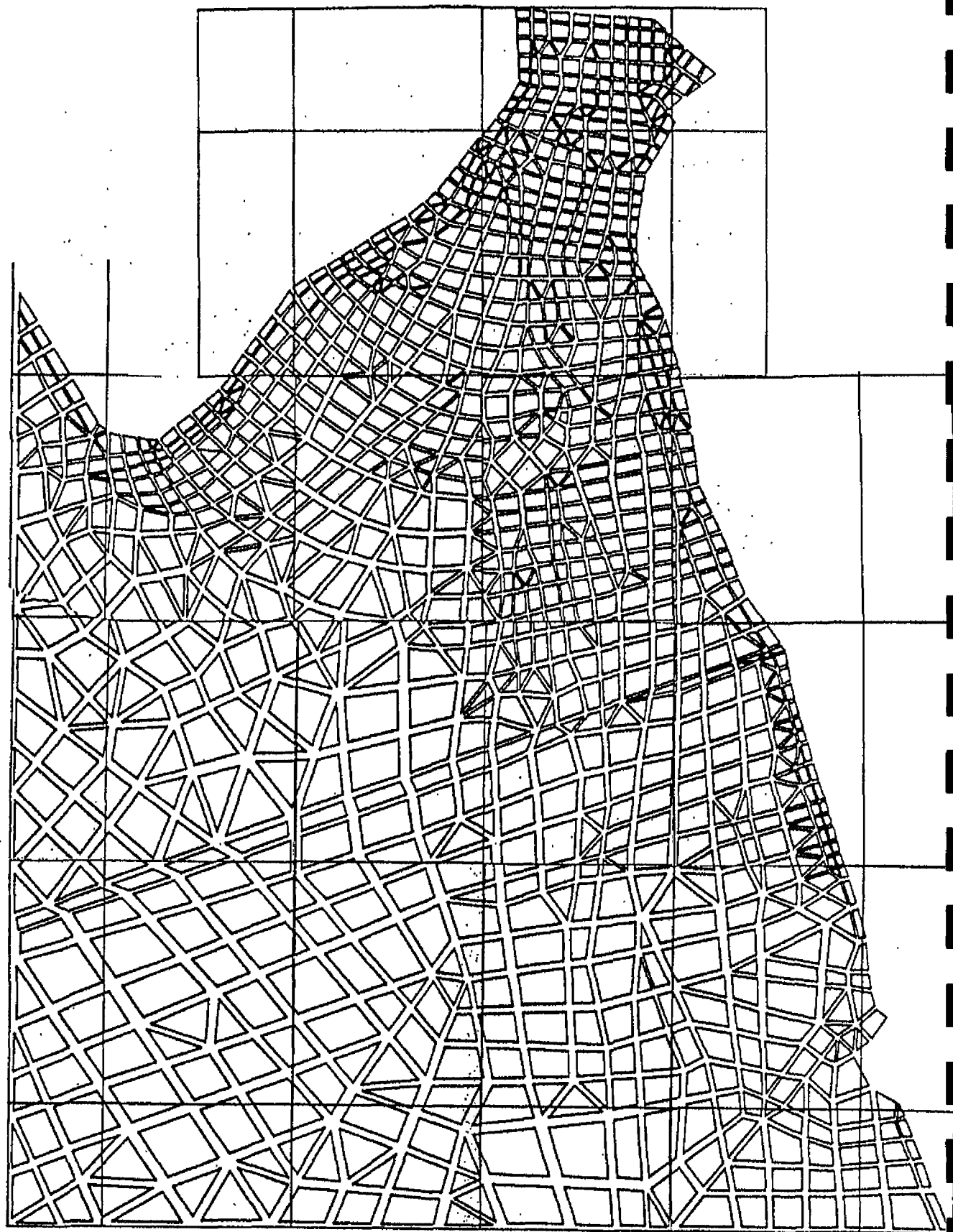
- (9) Chu, Pilkey & Pilkey
An analytical study of turbidity current steady flow
Marine Geology, 33 (1979) 205-220.

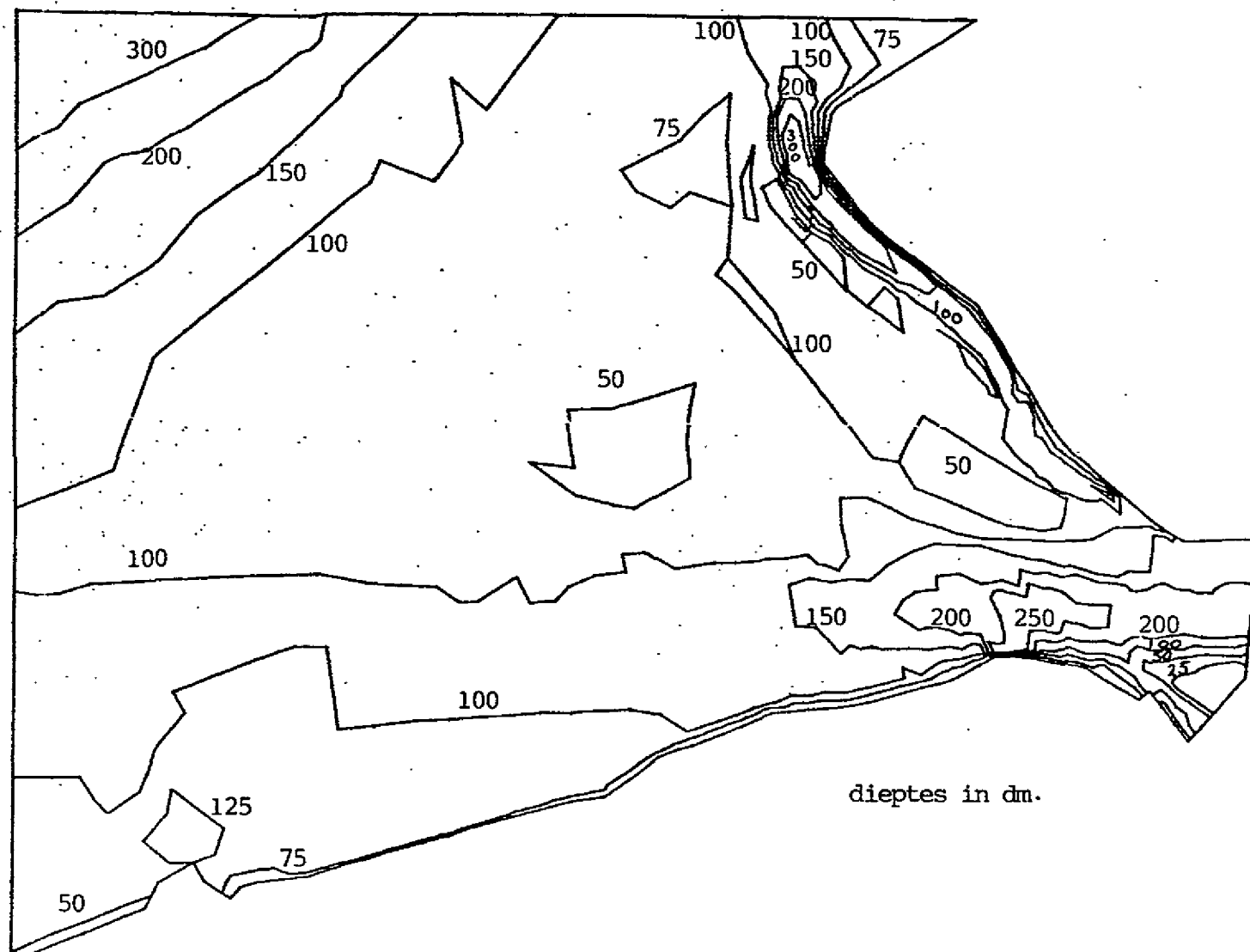
- (10) Wilkinson en Wood
Some observations on the motion of the head of a density
current
Journal of Hydraulic Research 10 (1972) no. 3.

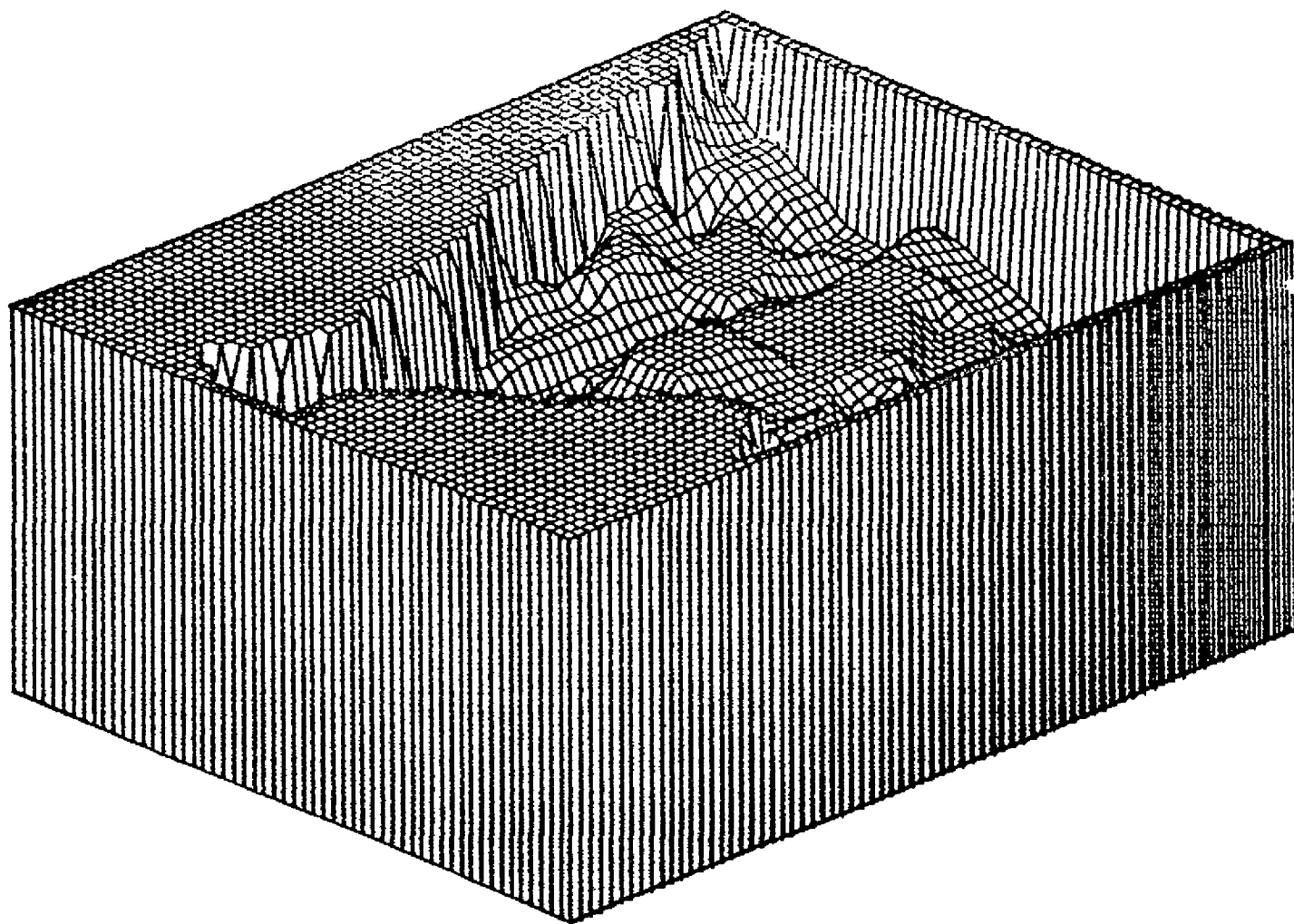
- (11) J.C.J. Nihoul
Modelling of Marine Systems
Elsevier (1975)

- (12) Boomse Klei
Belgische Studie L.H.

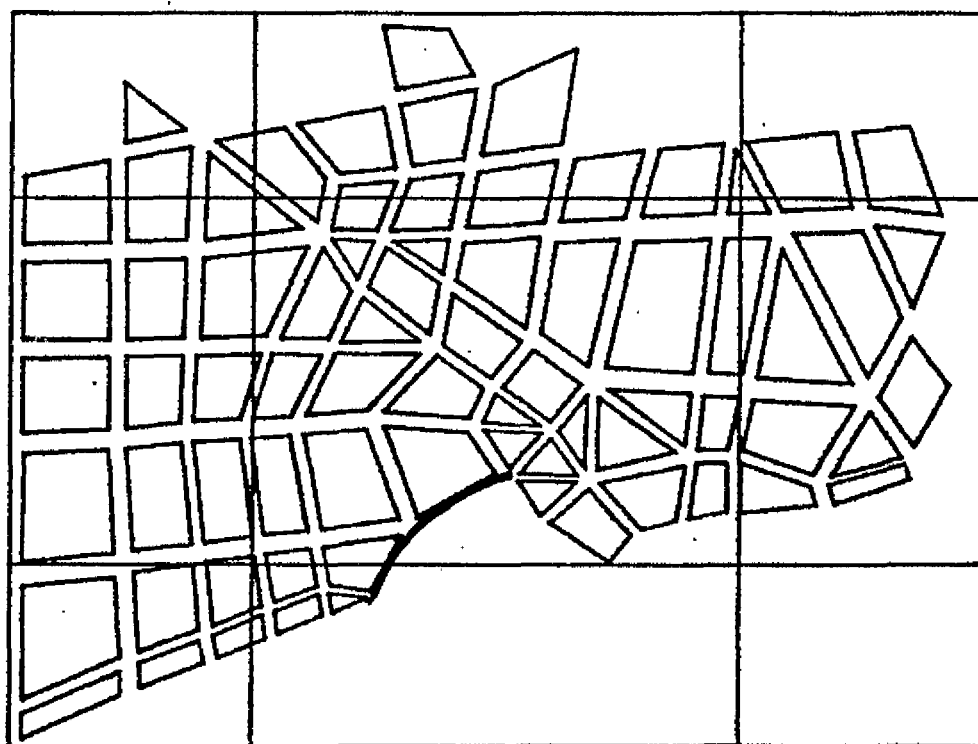




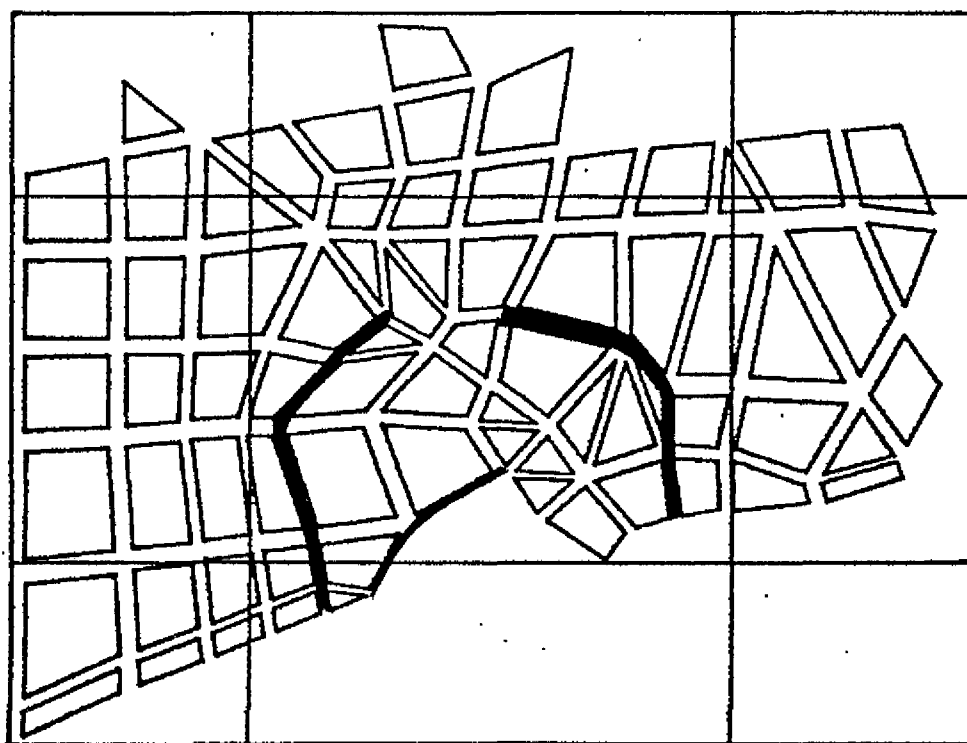




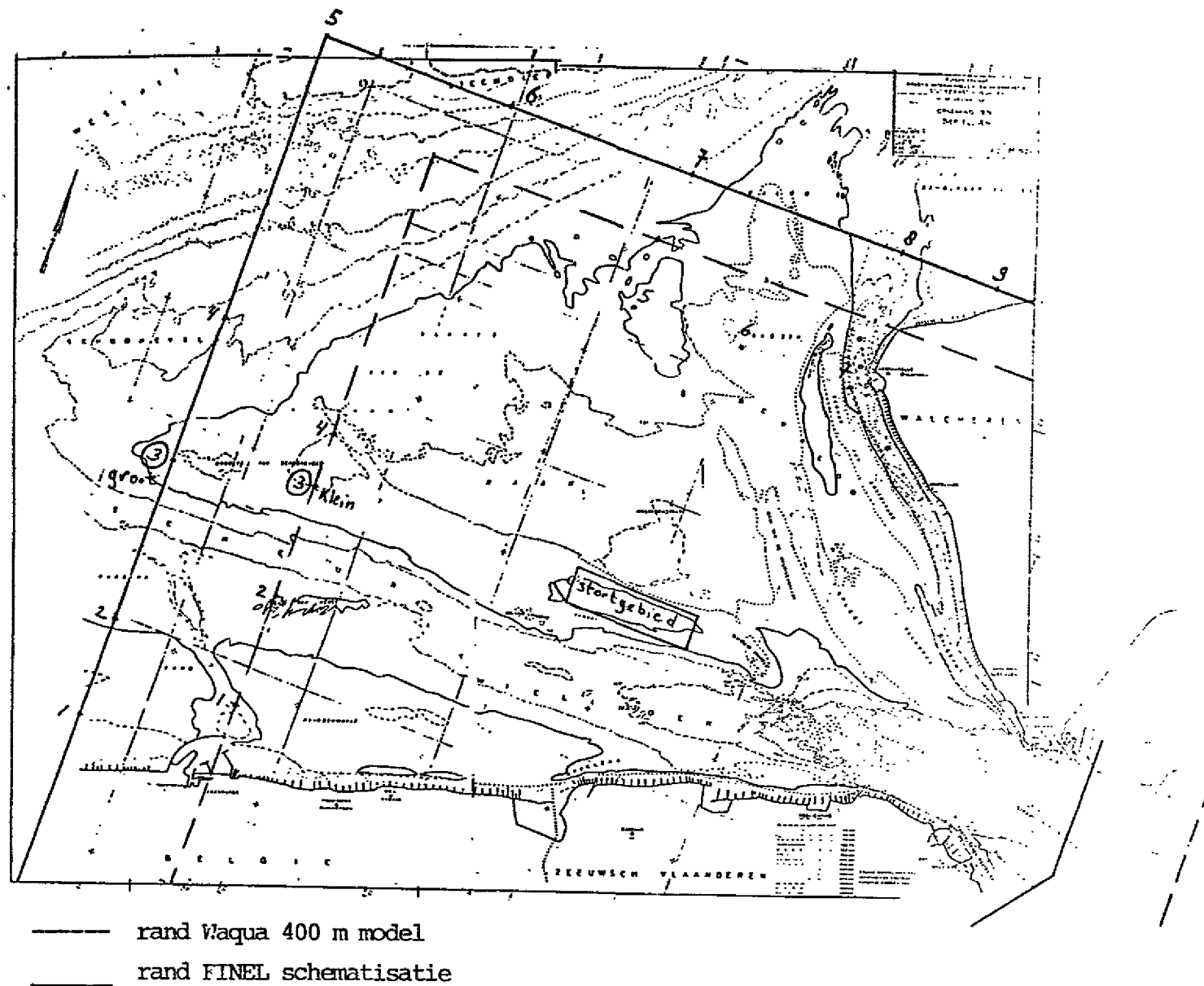
3 dimensionale weergave FINEL bodemschematisatie Wielingen

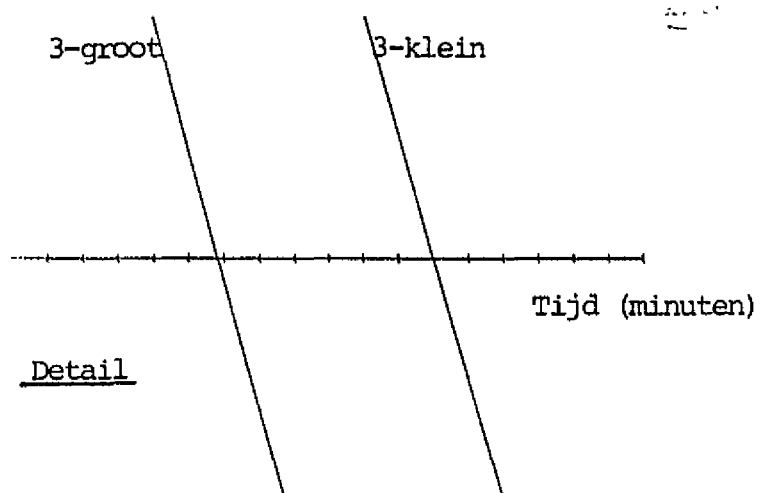
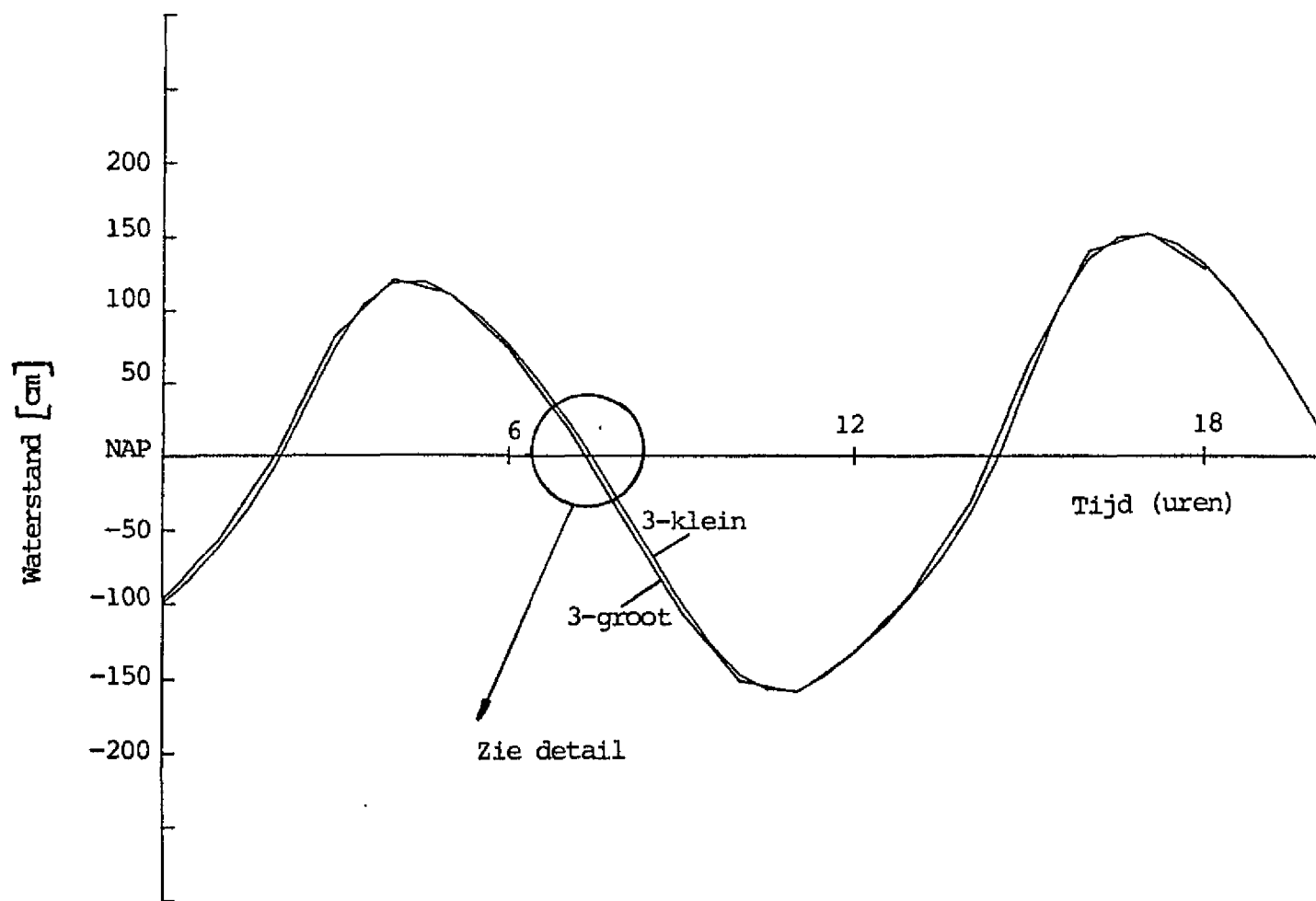


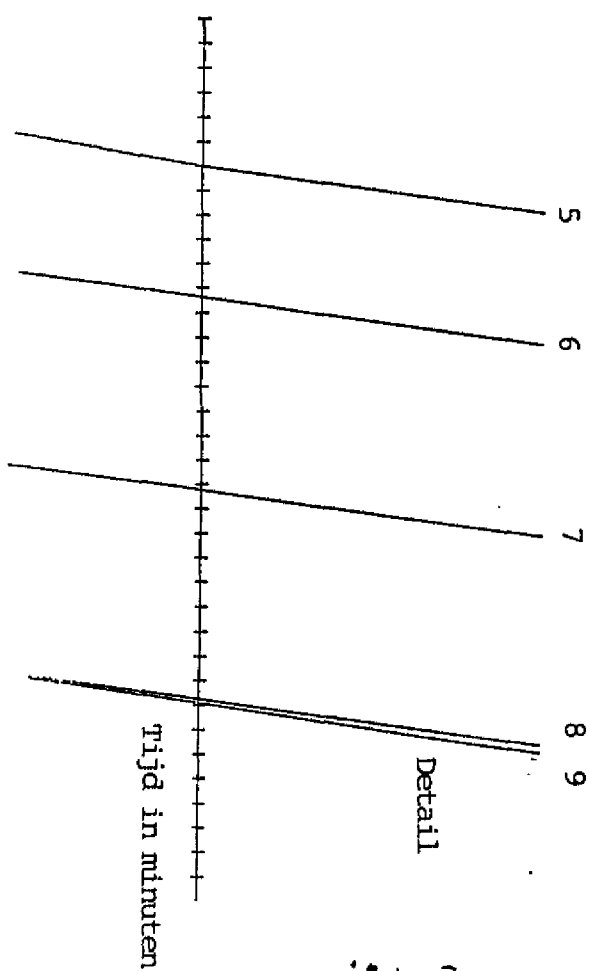
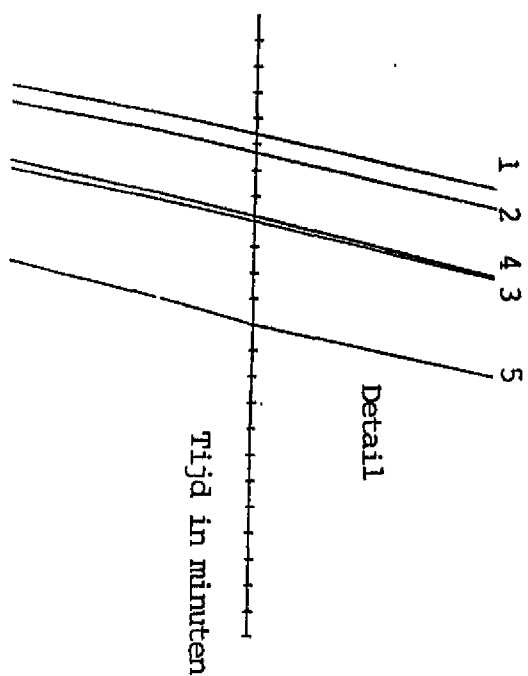
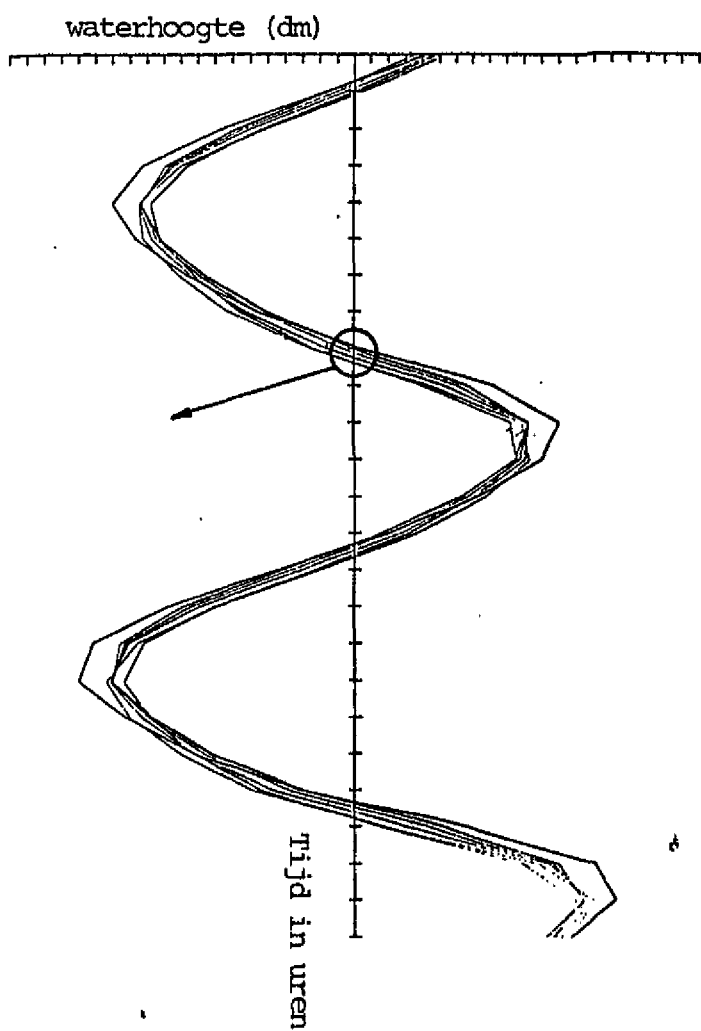
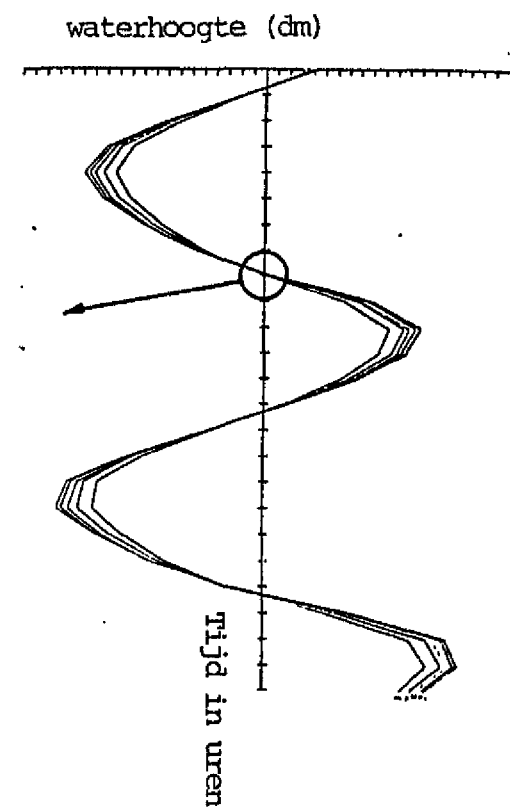
Figuur 4.5 Schematisatie Zeebrugge 1975 IJkingsrun

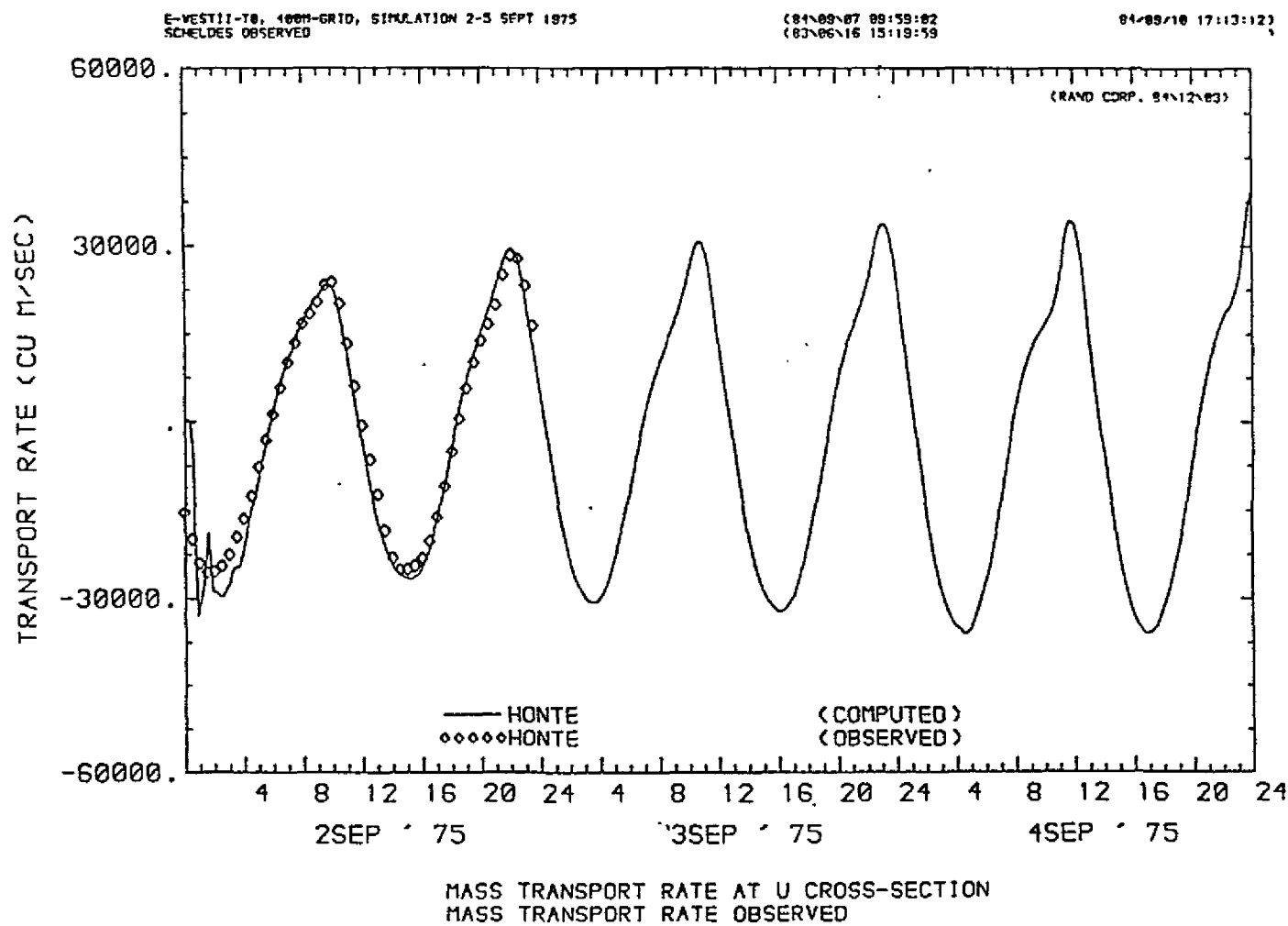


Figuur 4.6 Schematisatie Zeebrugge Produktierun





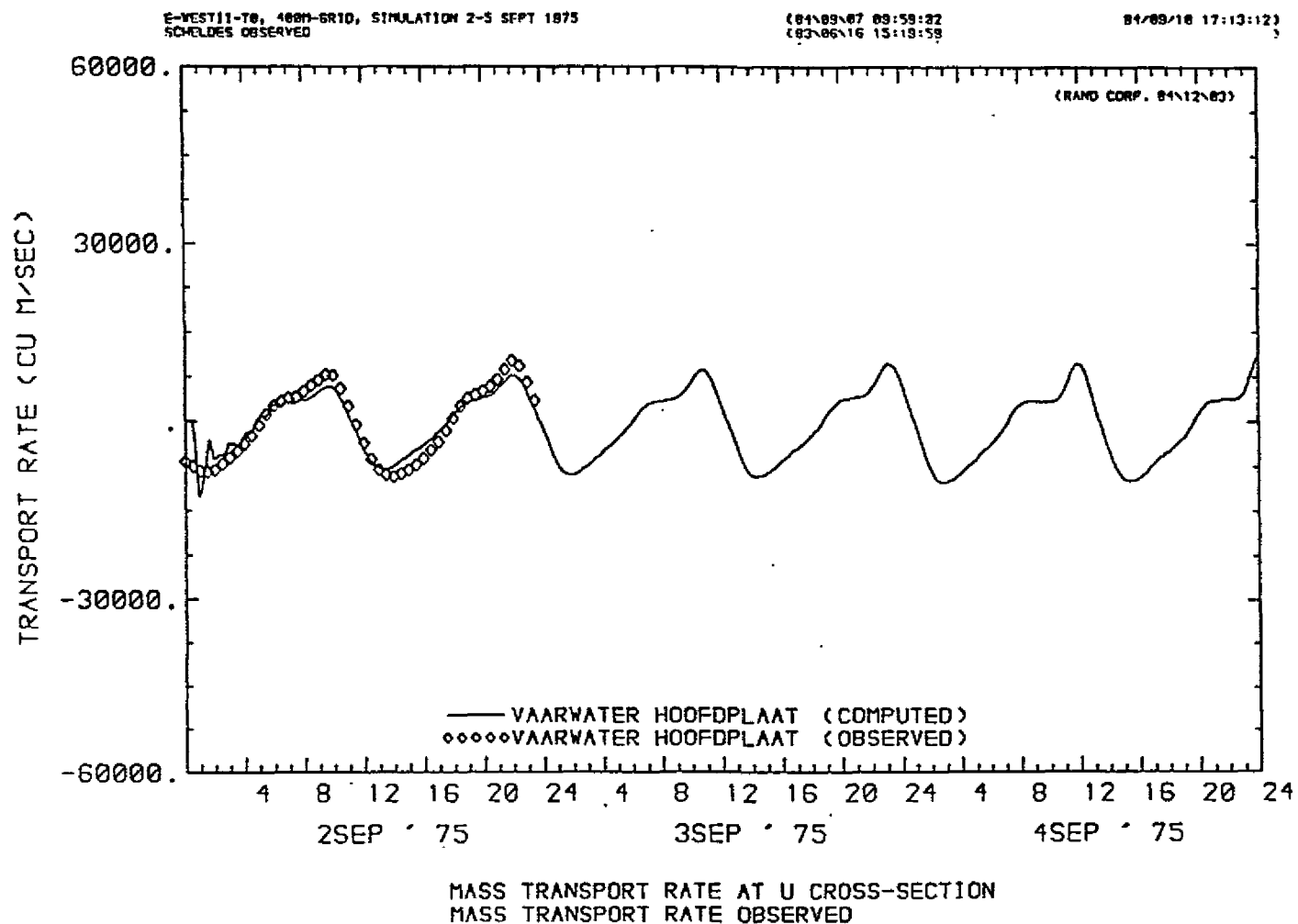




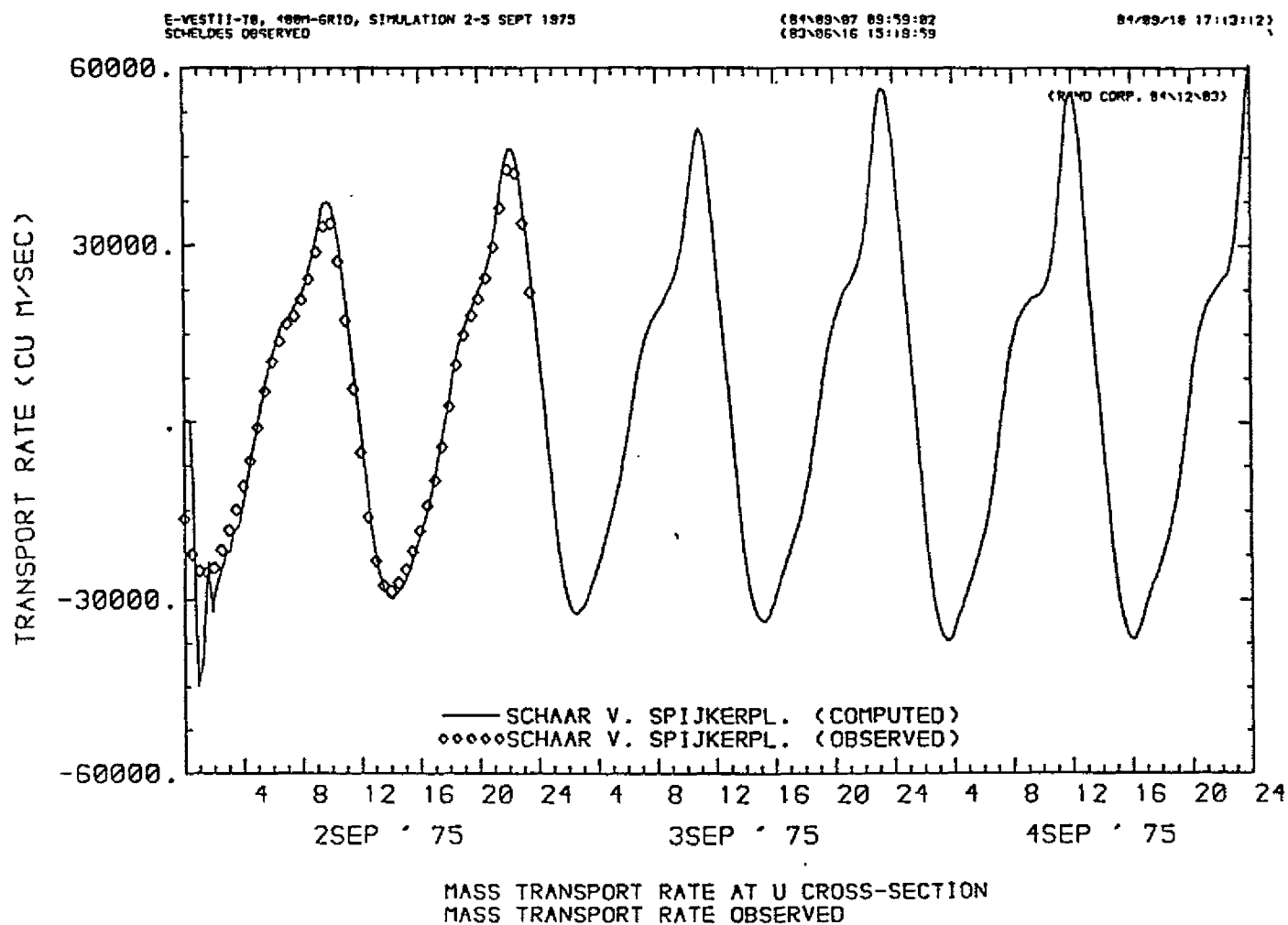
Project 690

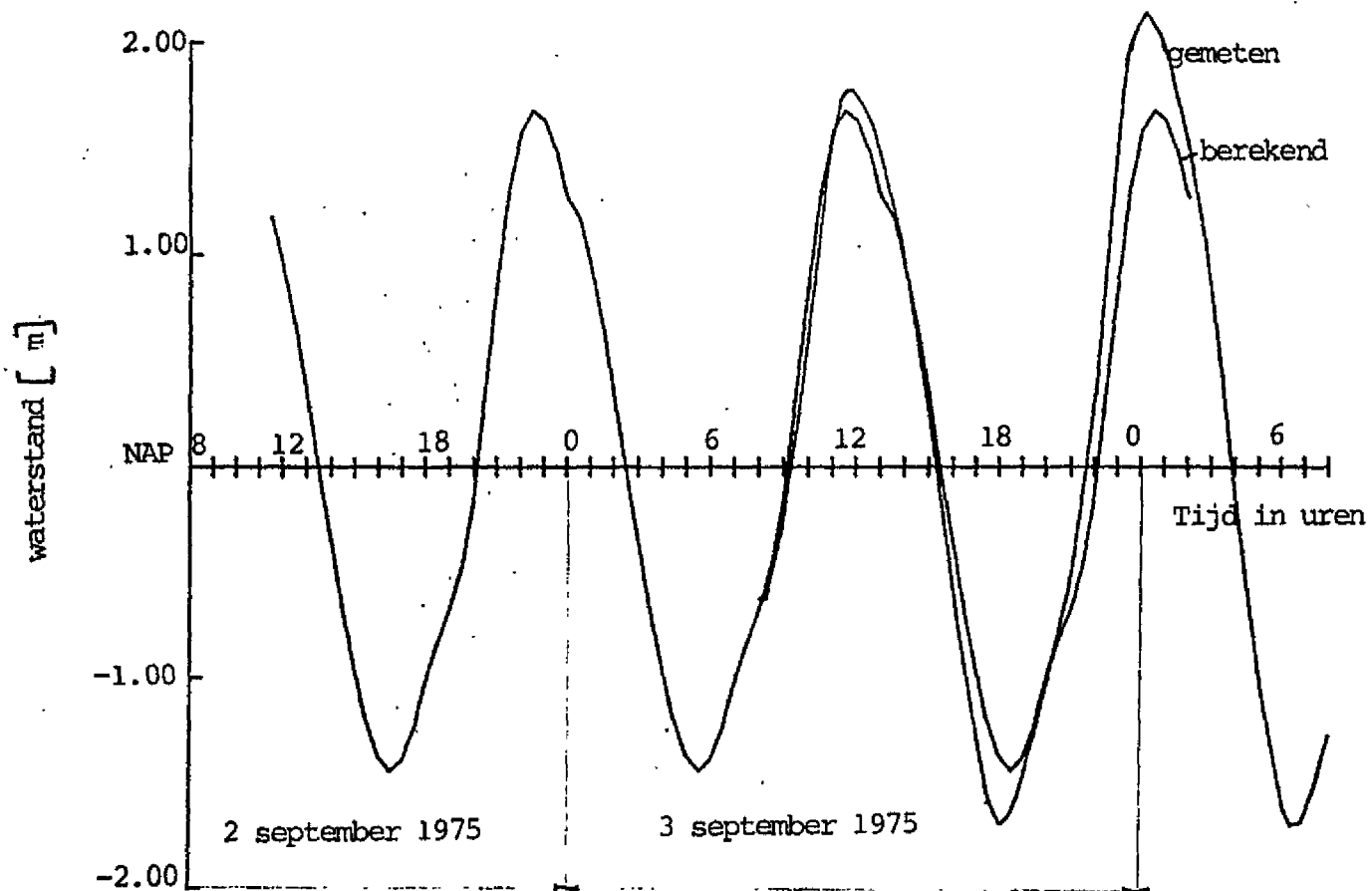
DEBIET VAARWATER HOOFDPLAAT

Fig. 4.11



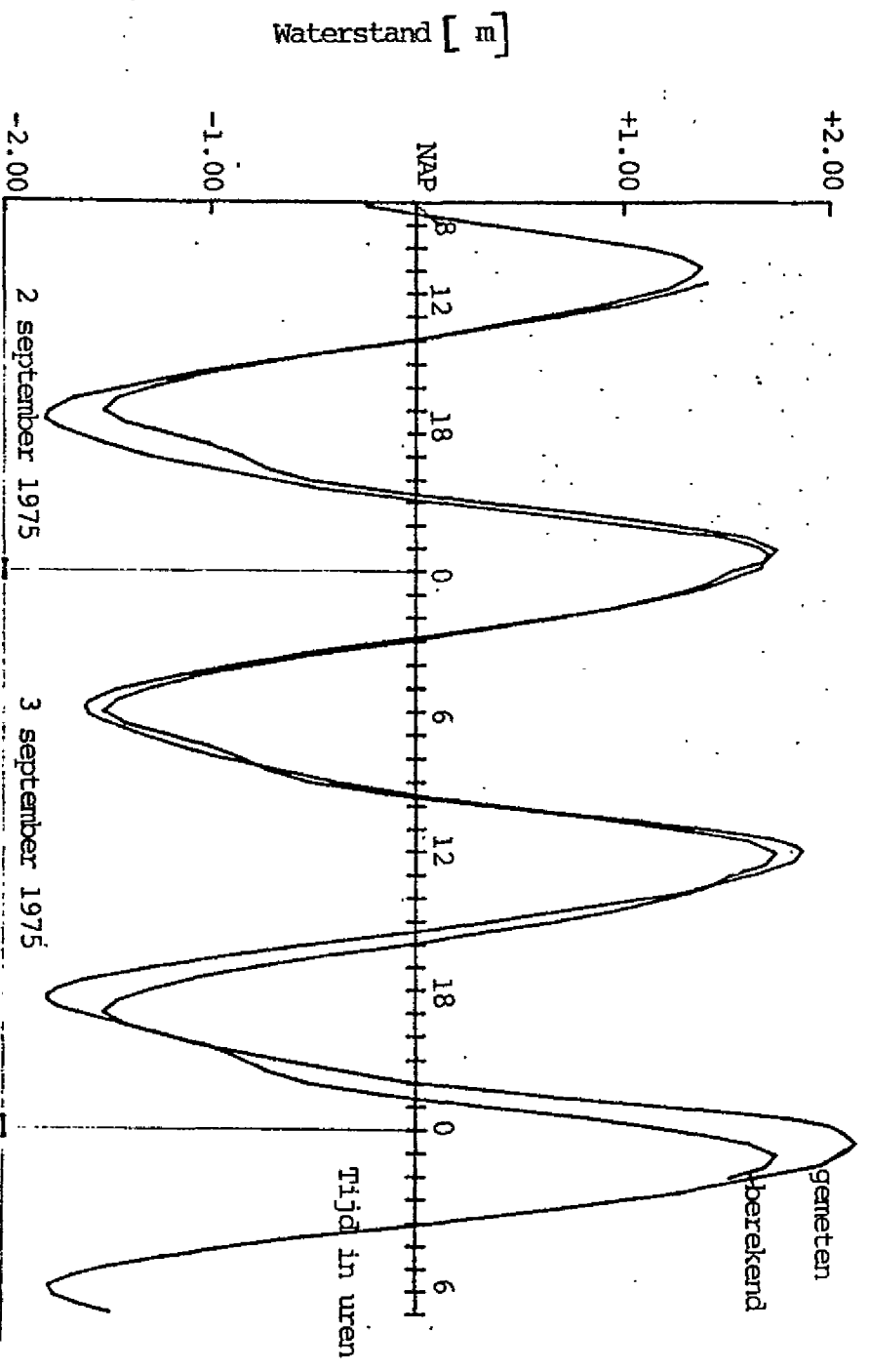
ADVIESDIENST VLISSINGEN
NOTA WVKZ 85.V002 BIJLAGE 24

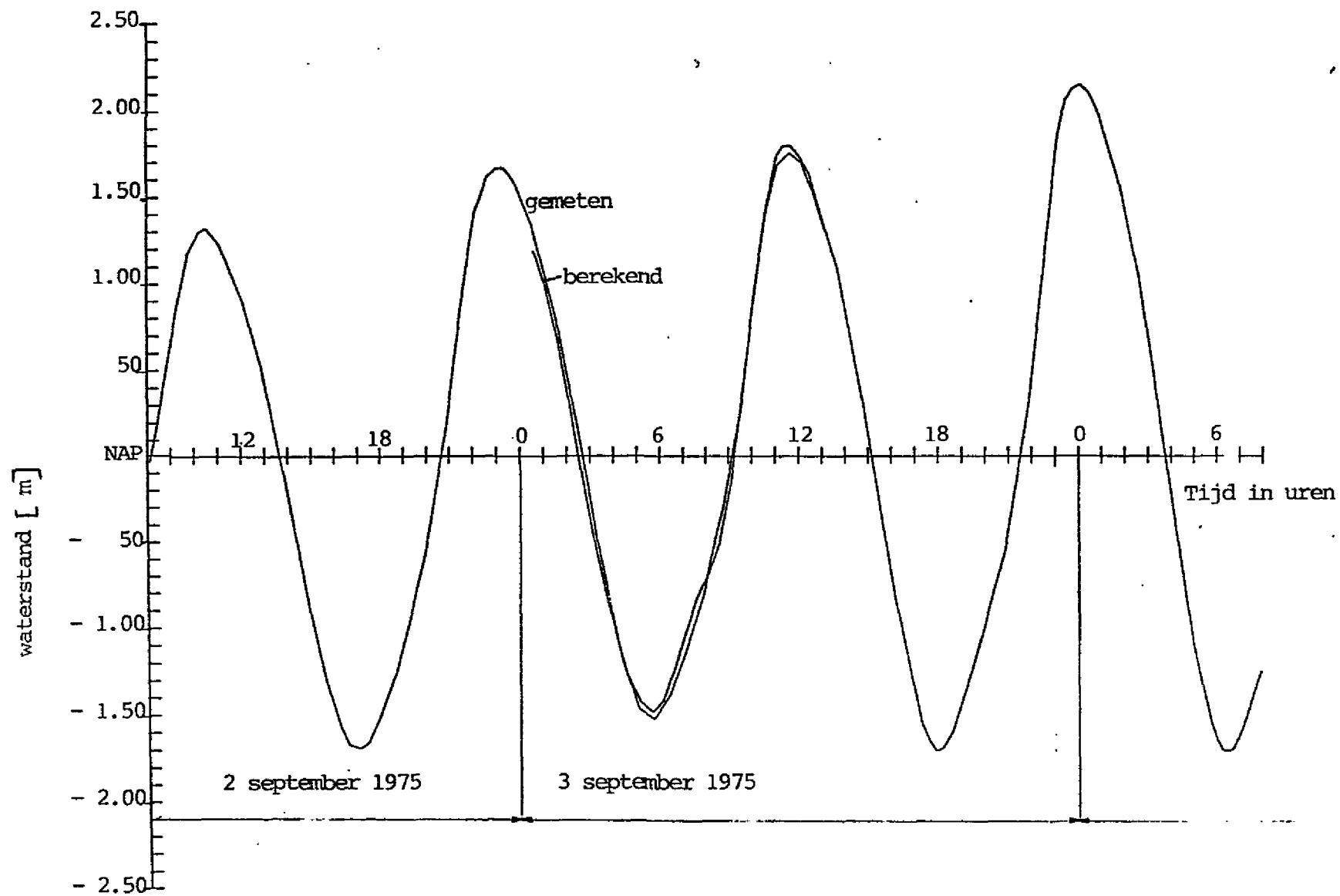




WATERSTAND CADZAND
LJKINGSRUN 1

WATERSTAND BRESKENS
IJKINGSRON 1

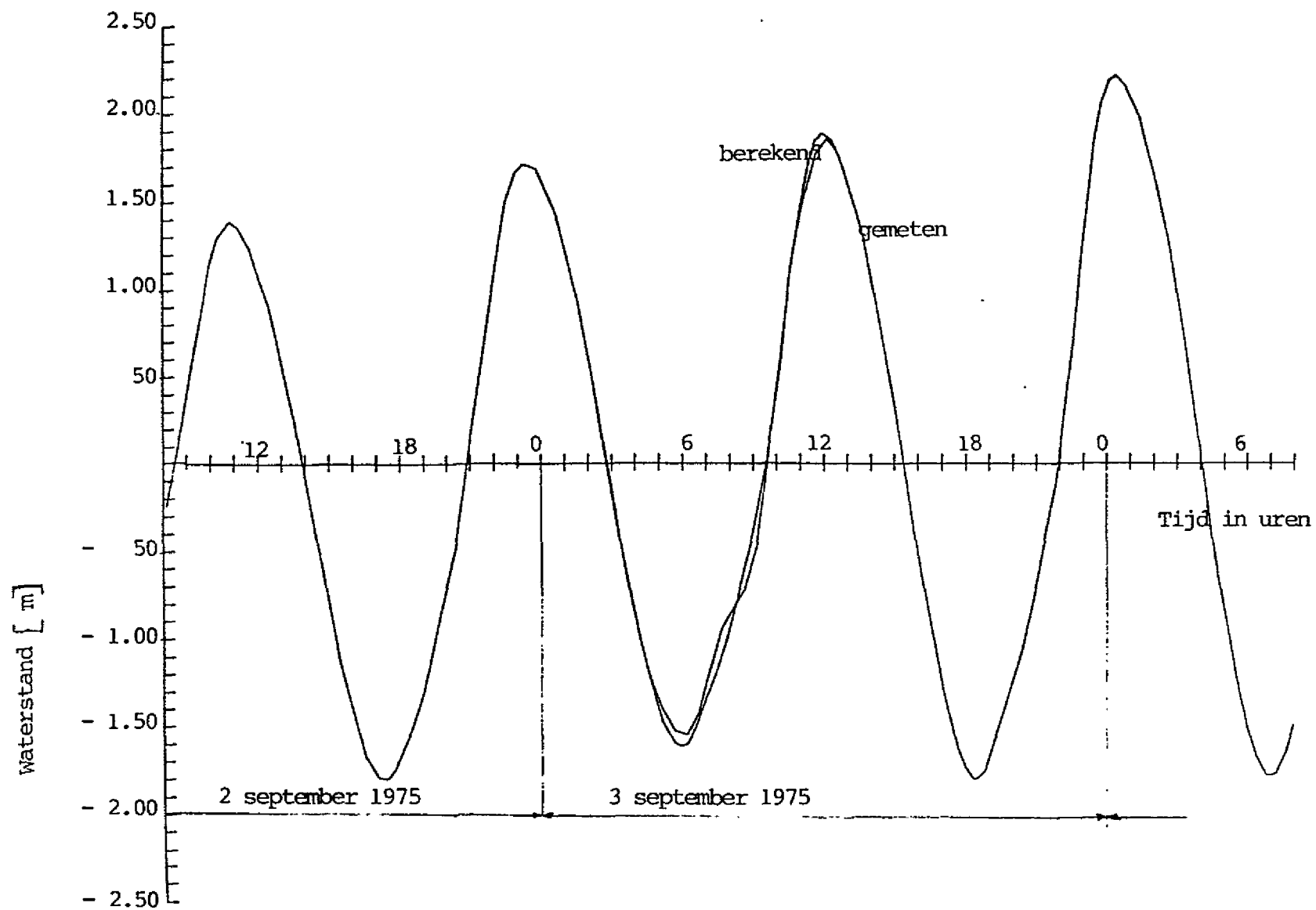




Projekt 690

WATERSTAND CADZAND
IJKINGSRUN 2

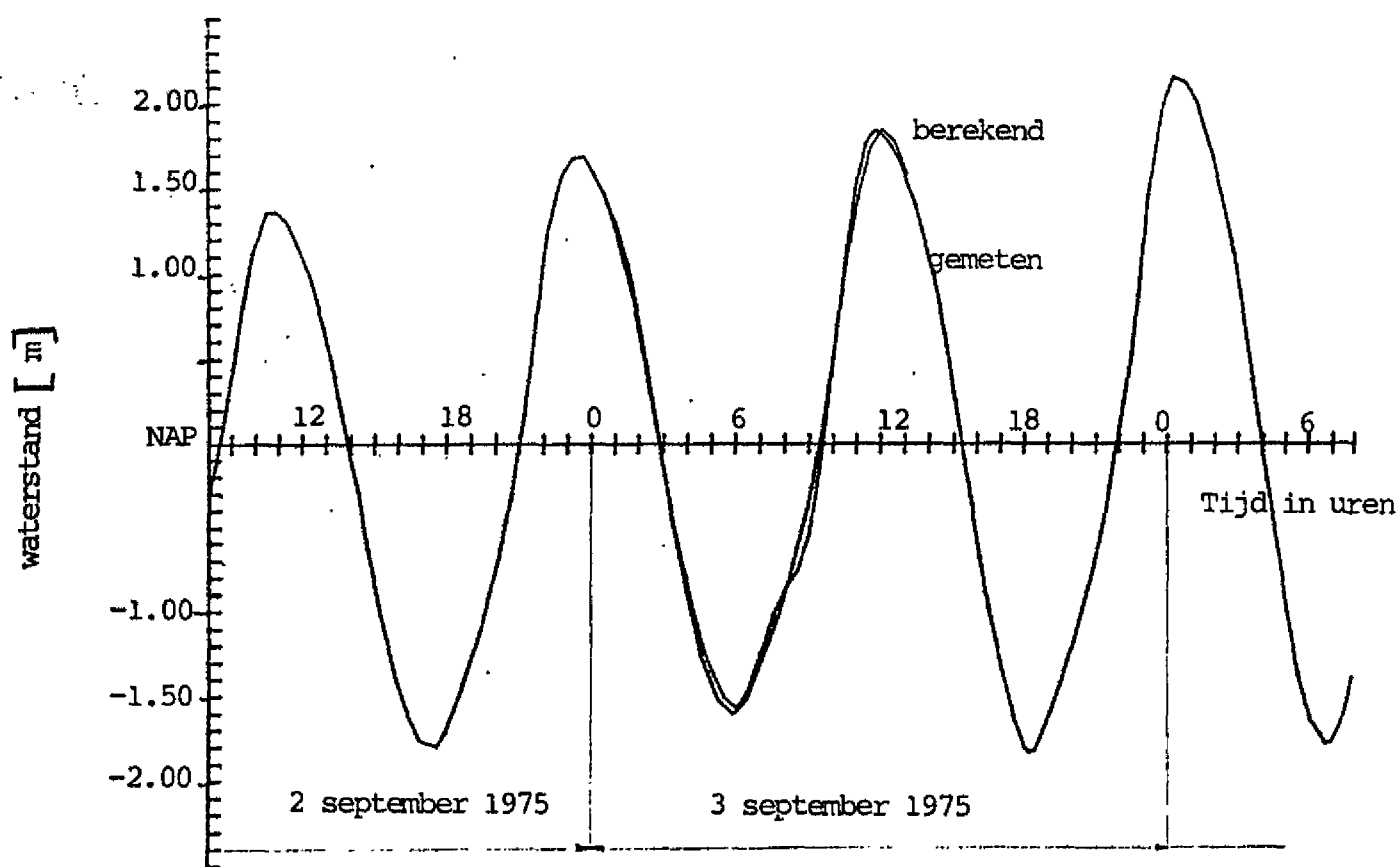
Fig. 4.15



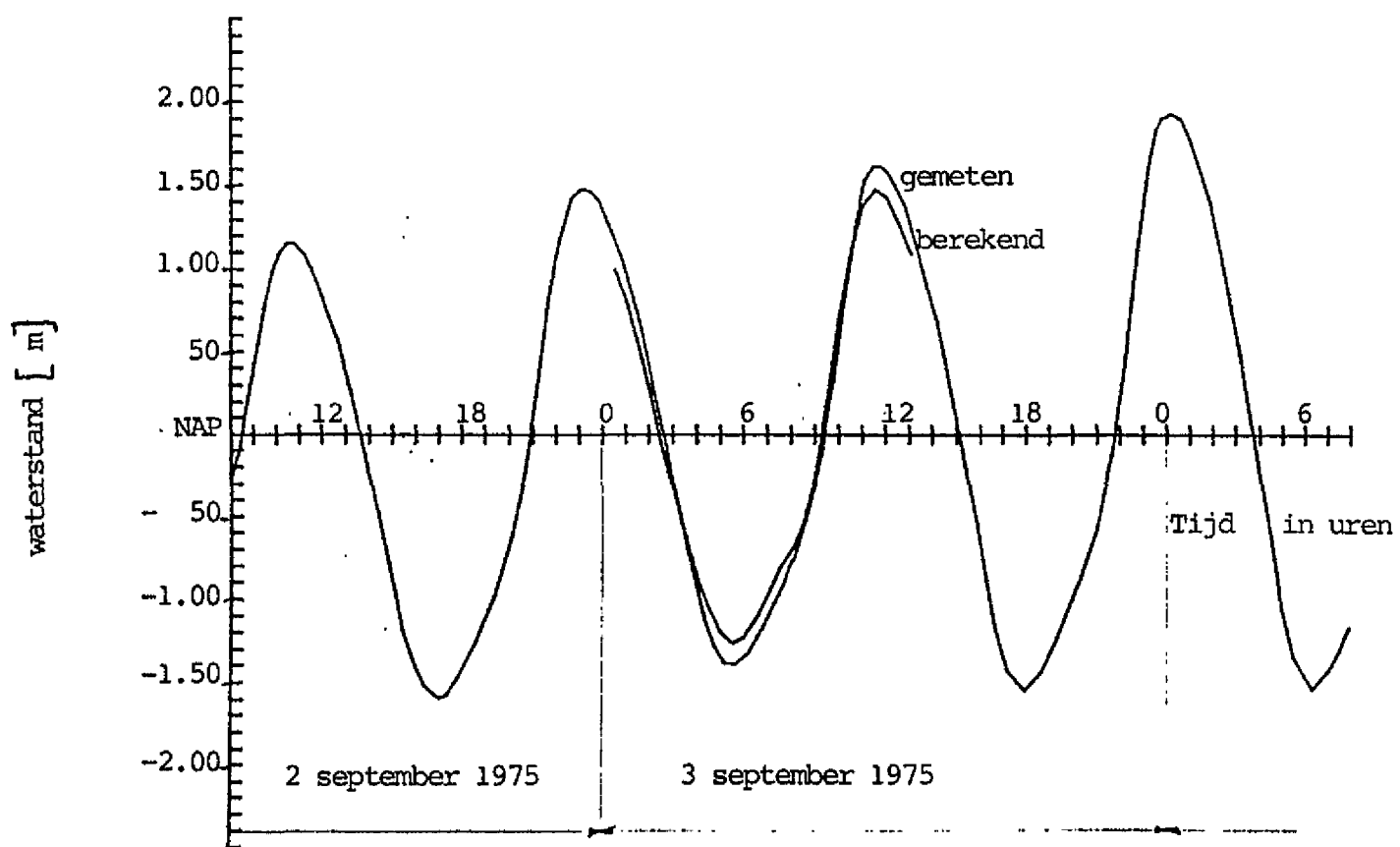
Projekt 690

WATERSTAND BRESKENS
IJKINGSRUN 2

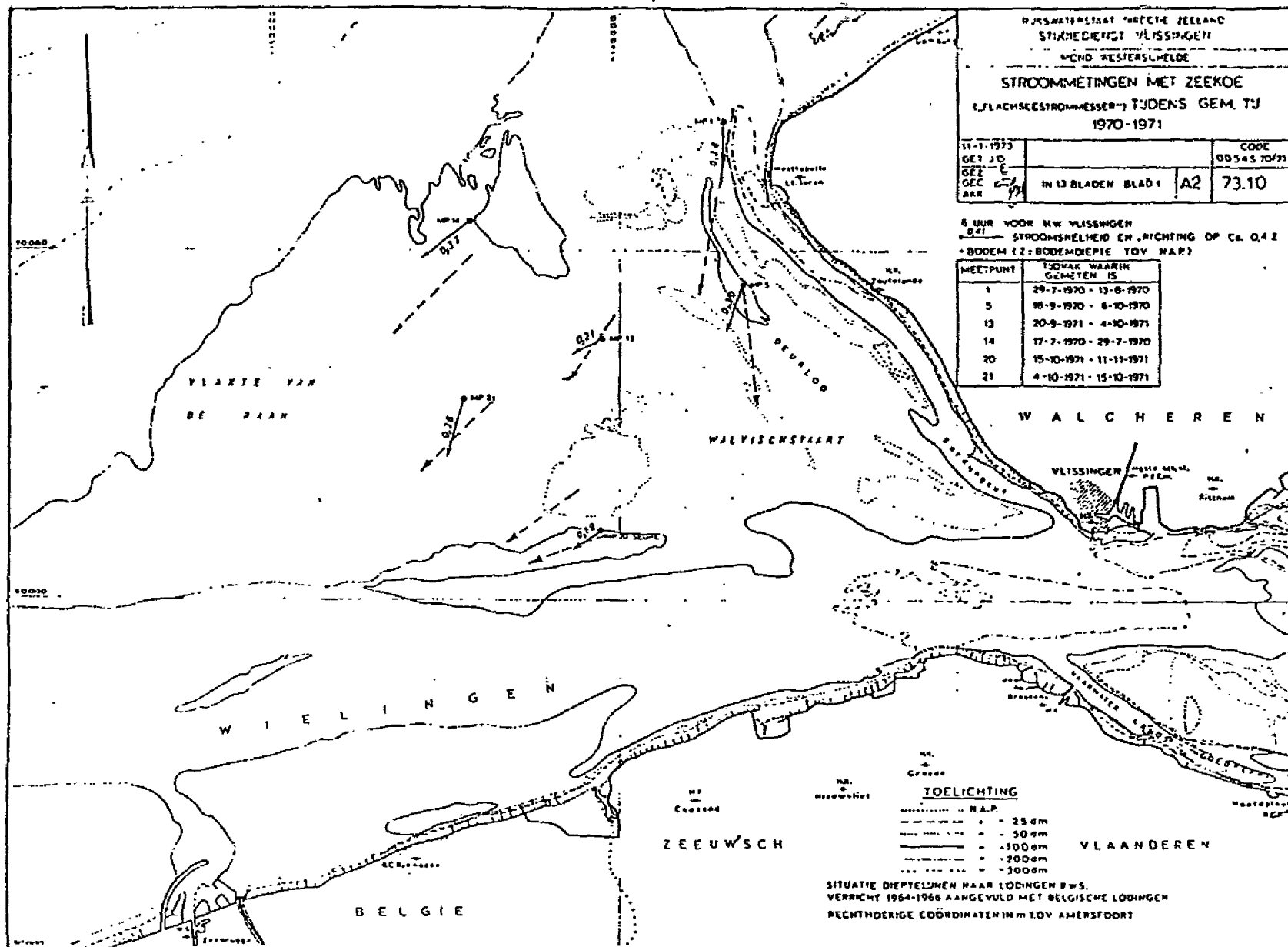
Fig. 4.16



WATERSTAND VLISSINGEN
IJKINGSRUN 2



WATERSTAND WESTKAPELLE
LJKINGSRUN 2



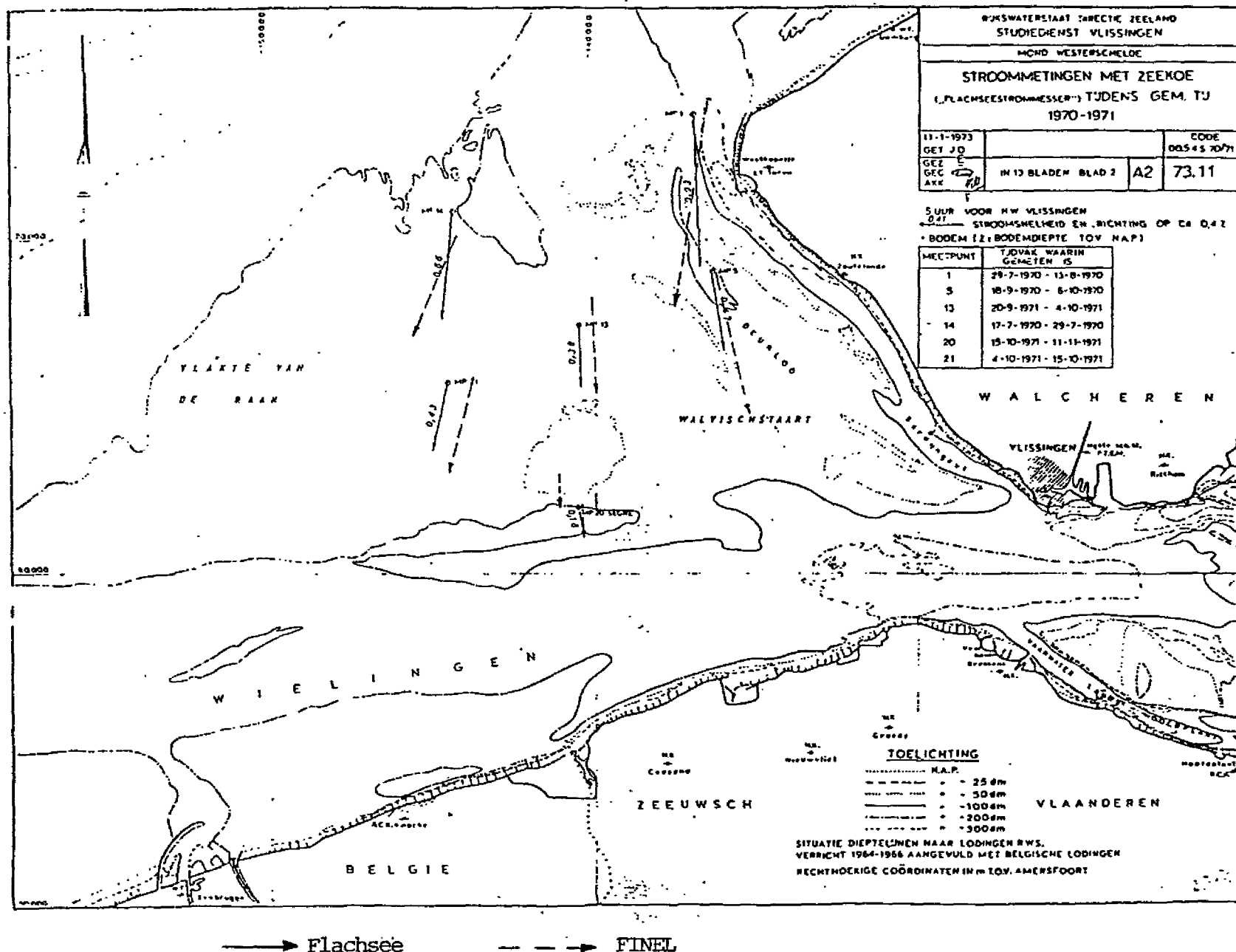
→ Flachsee

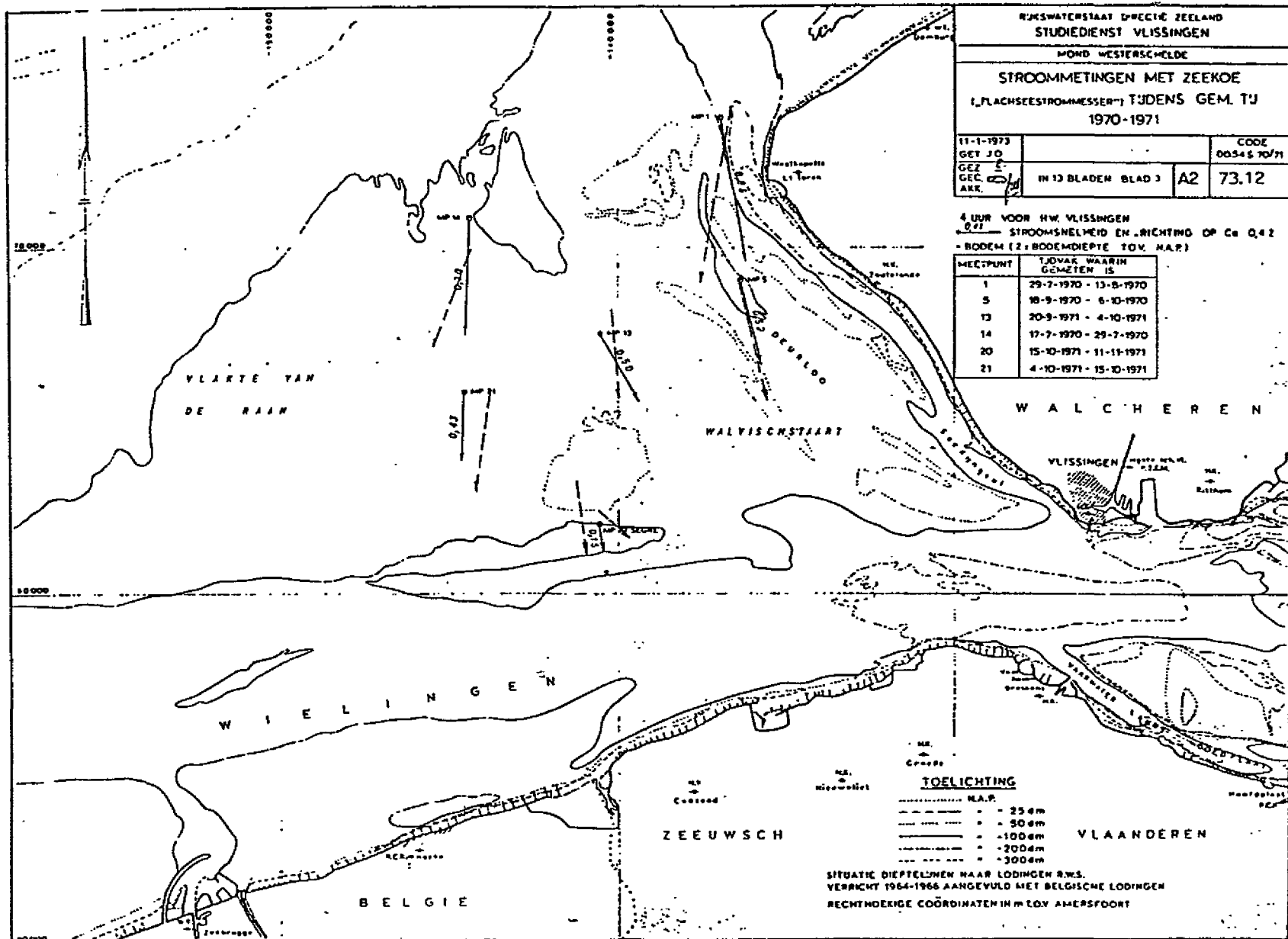
→ FINEL

Project 690

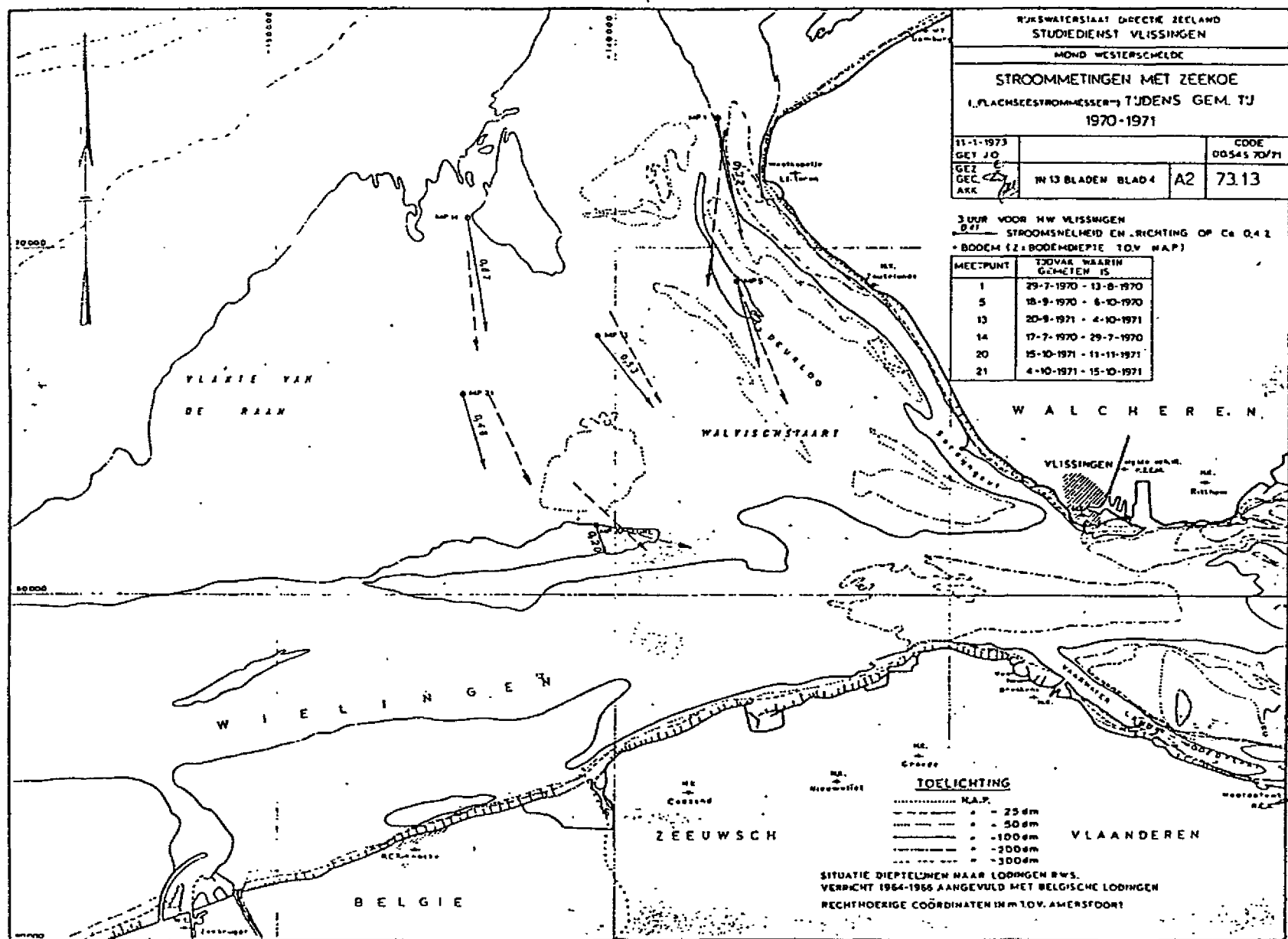
VERGEELIJKING FLACHSEE/FINEL
5 UUR VOOR HW

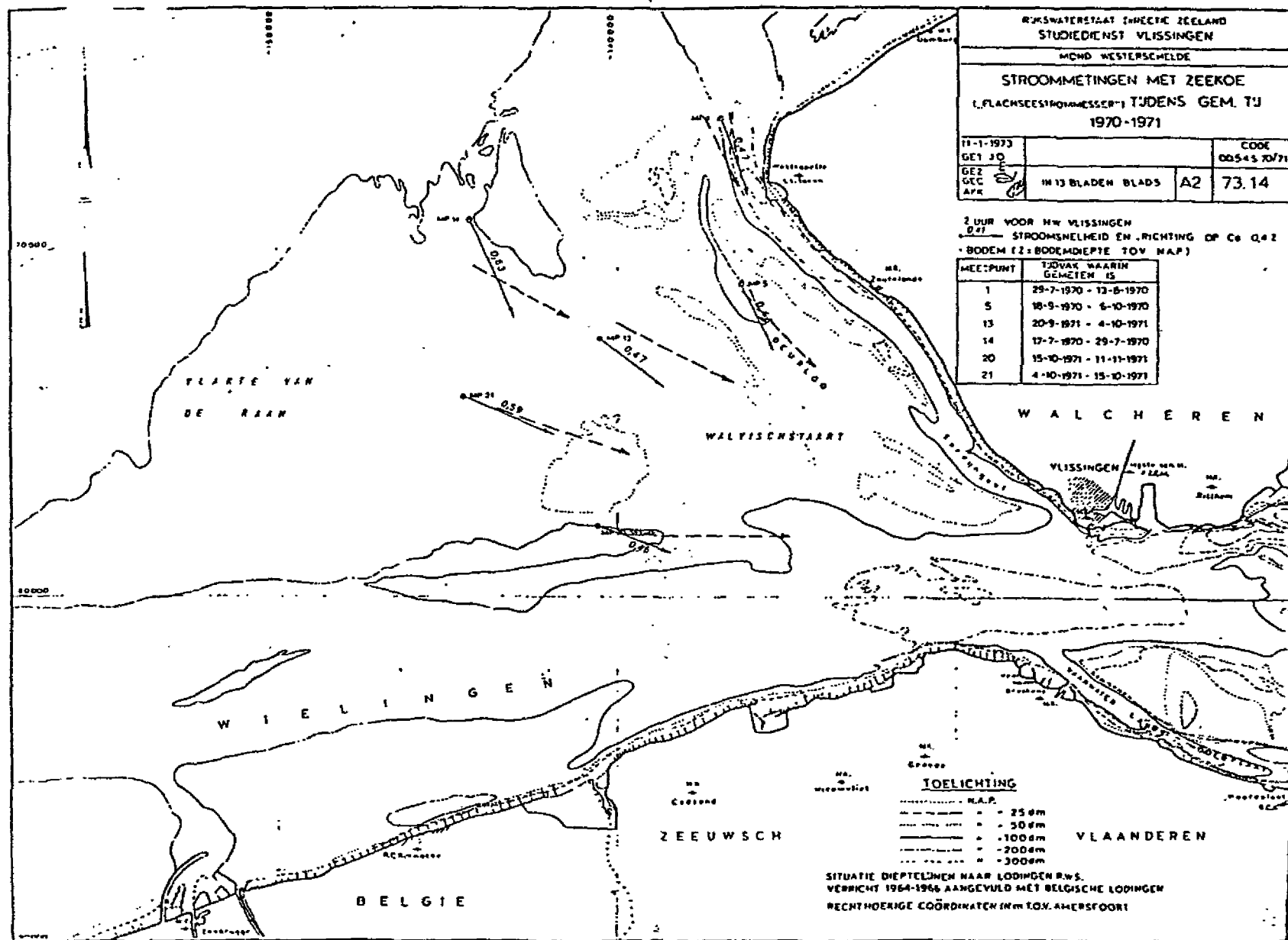
Fig. 4.20





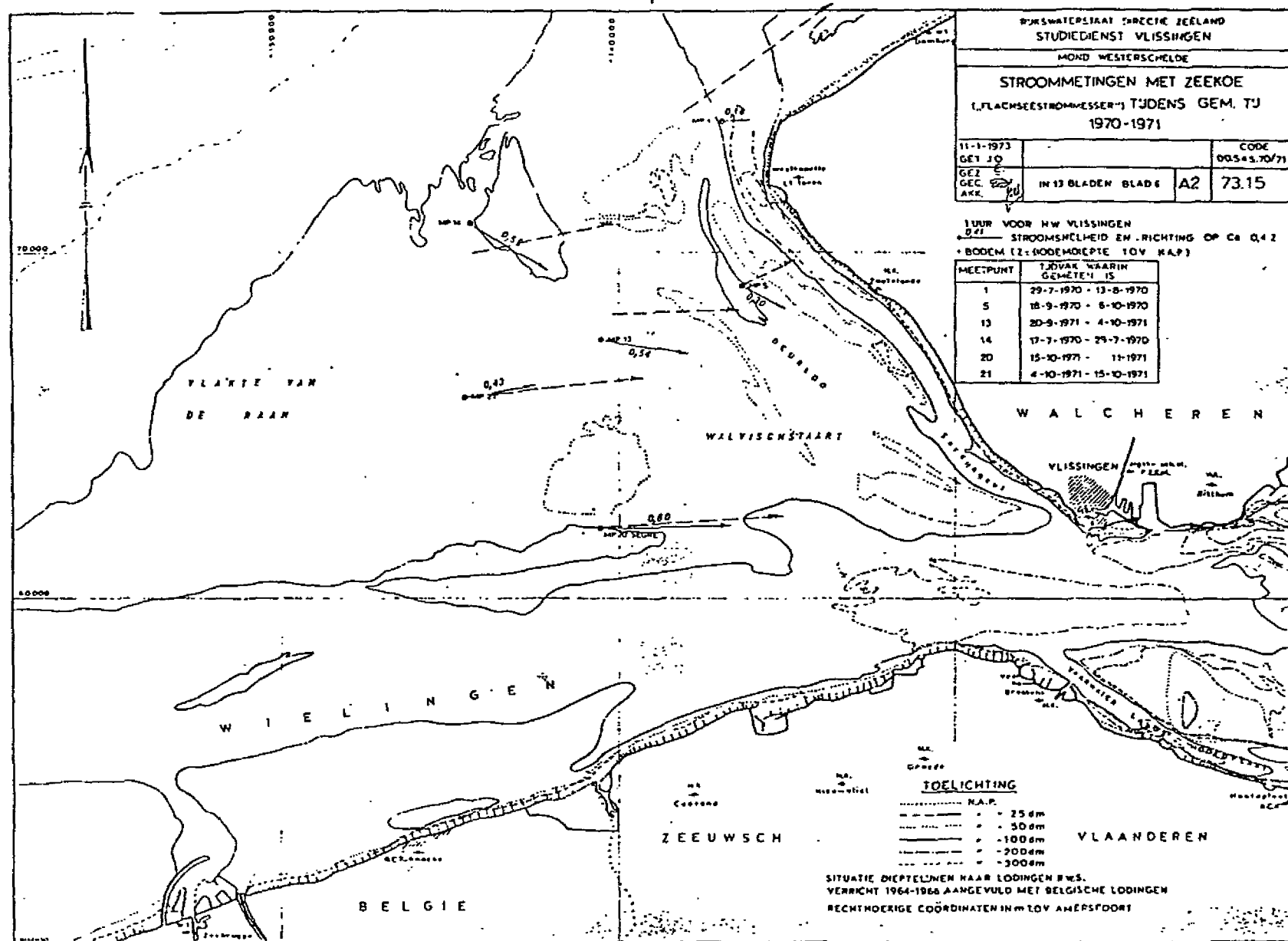
→ Flachsee - - - → FINEL





→ Flachsee

- - - - - FINEL

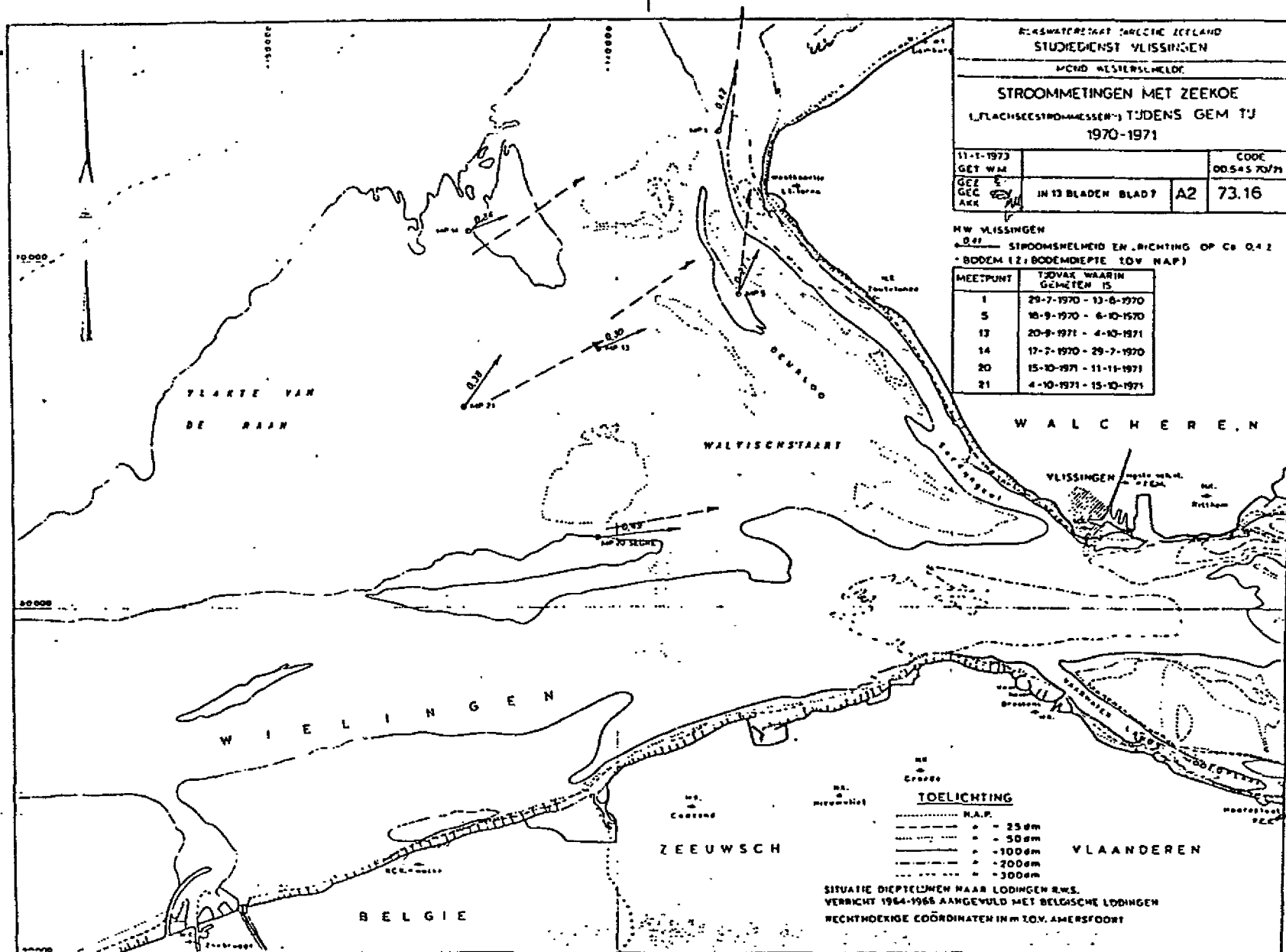


Project 690

VERGELIJKING FLACHSEE/FINEL

HW VLISSINGEN

Fig. 4.25

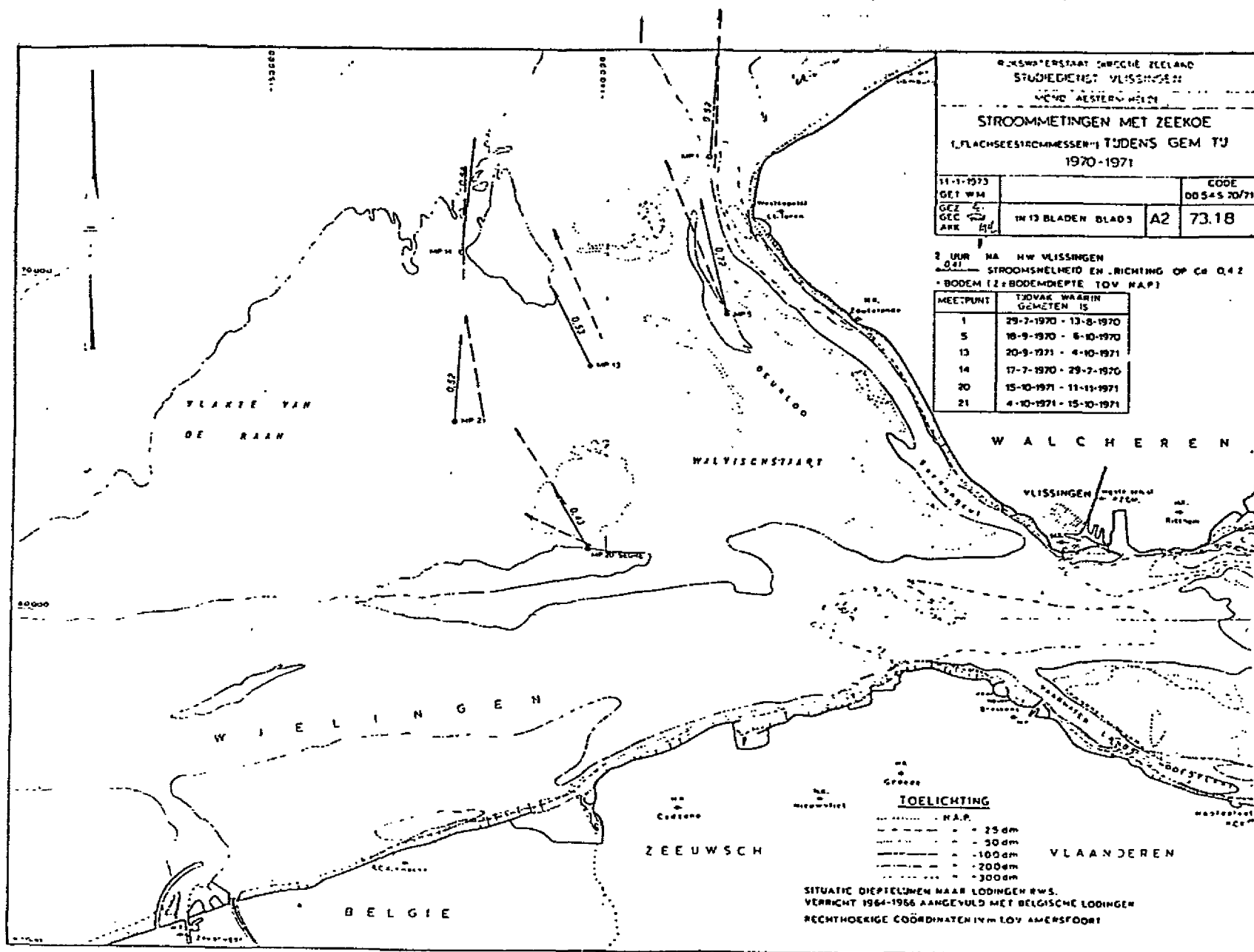


Project 690

VERGELIJKING FLACHSEE/FINEL

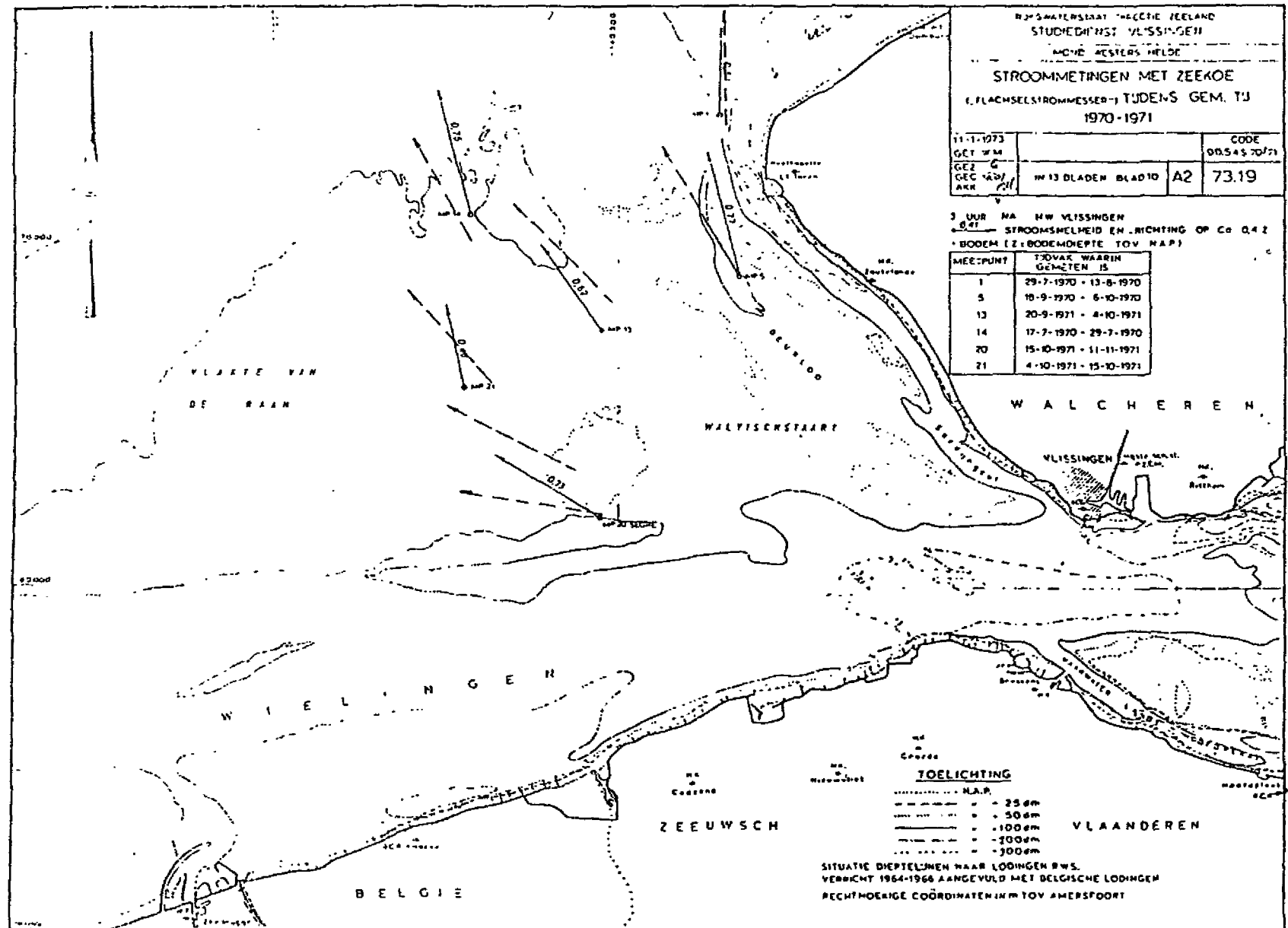
2 UUR NA HW

Fig. 4.27



—→ Flachsee

- - -→ FINEL

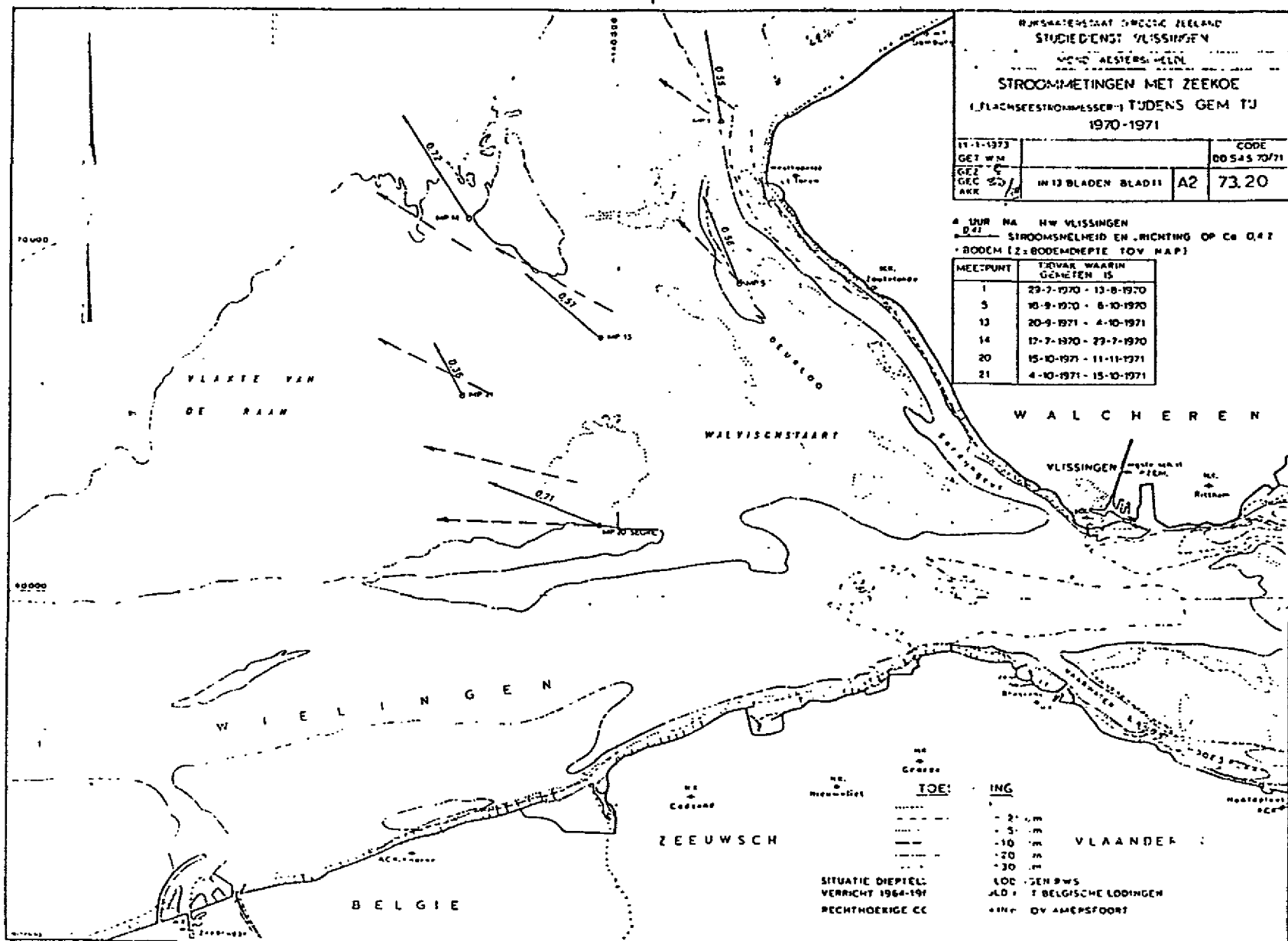


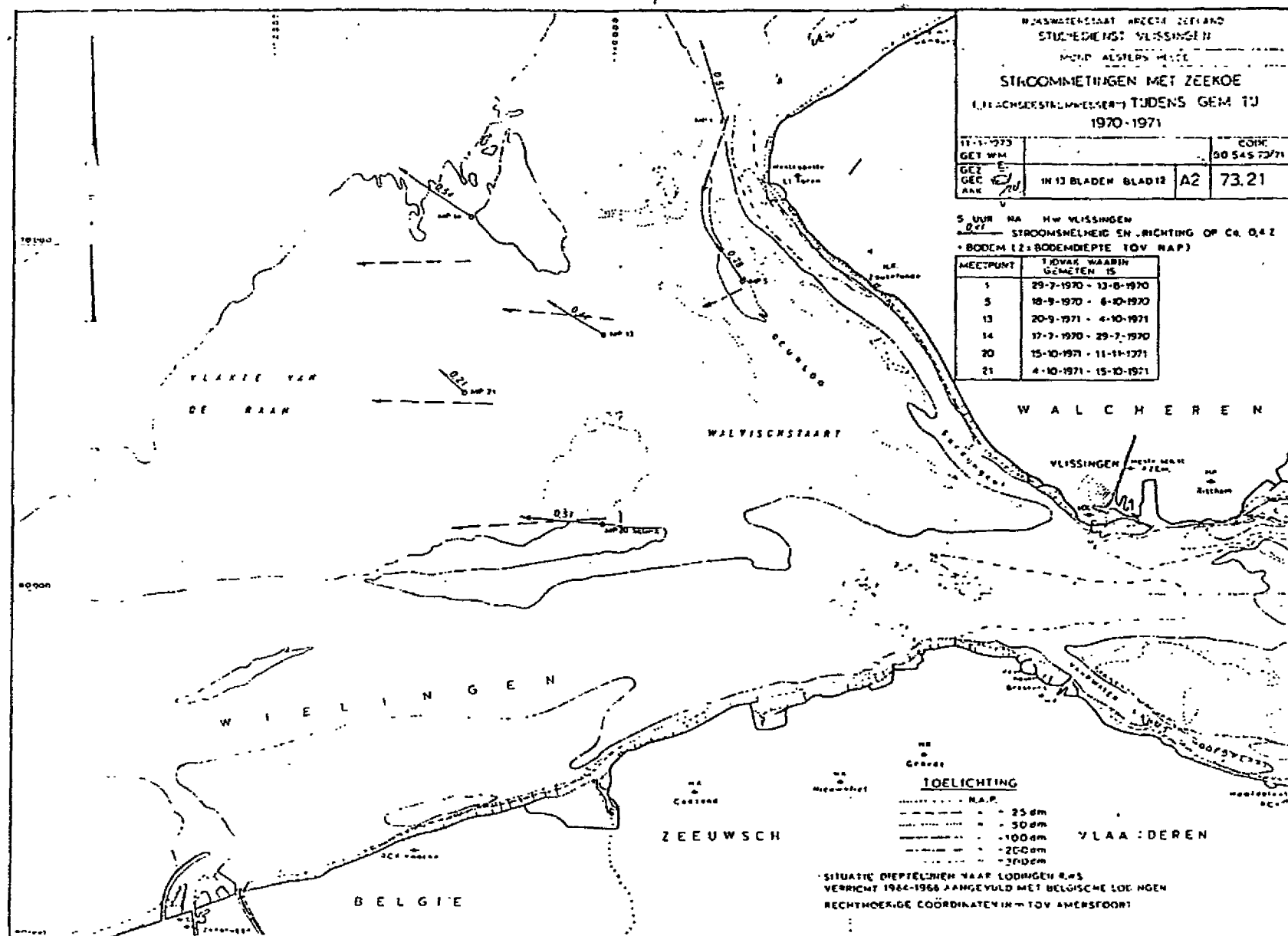
Project 690

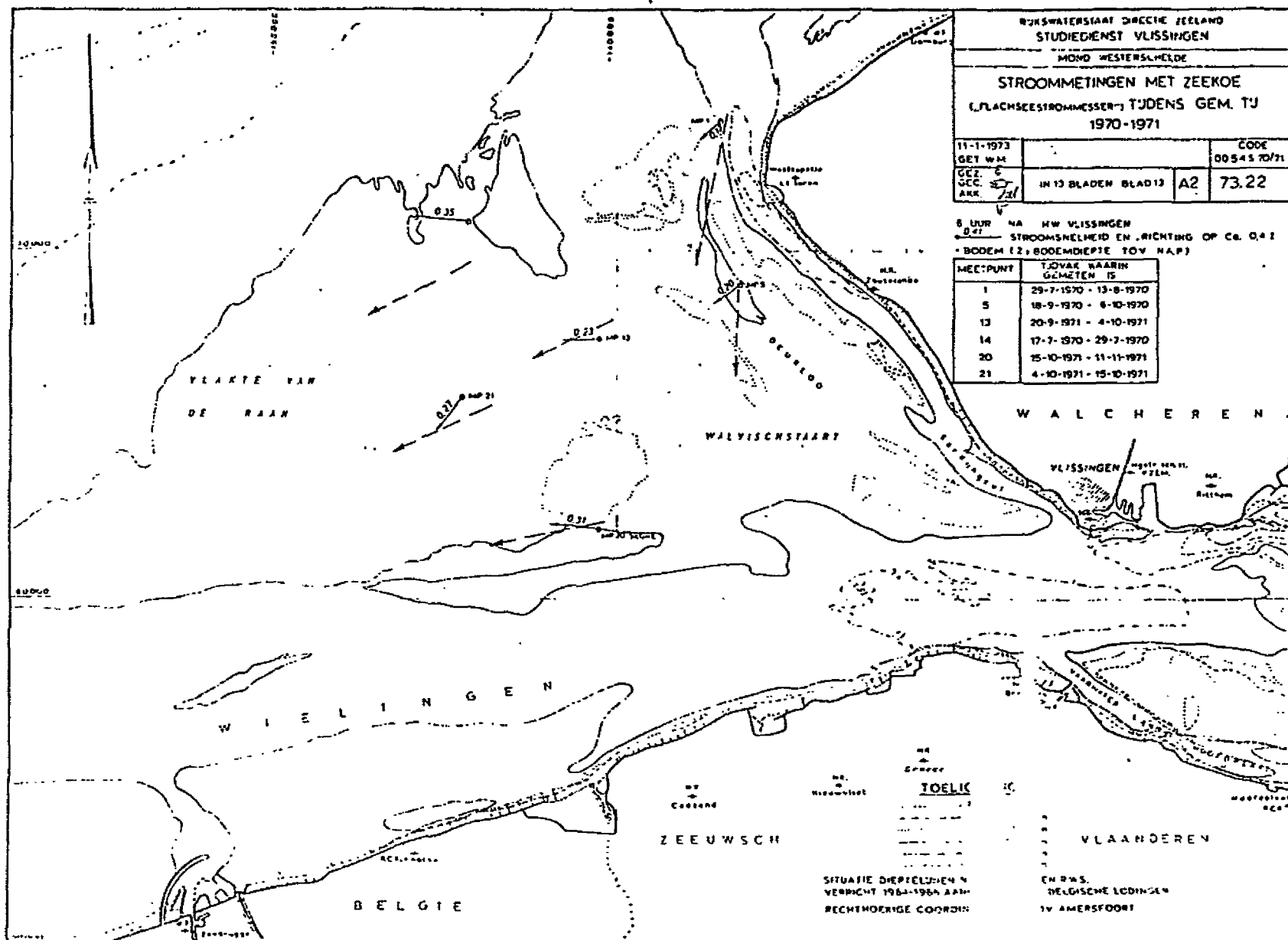
VERGELIJKING FLACHSEE/FINEL

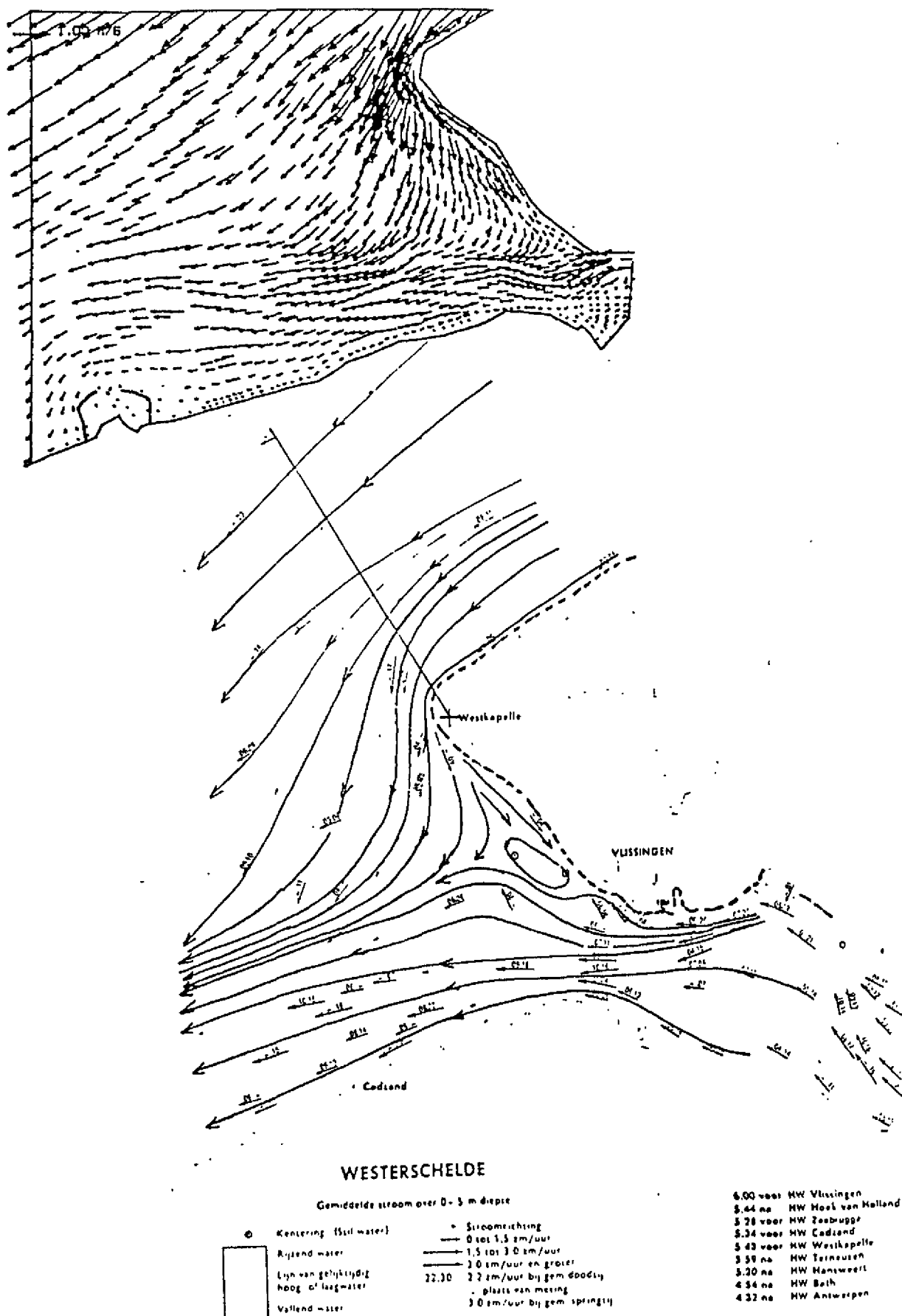
4 UUR NA HW

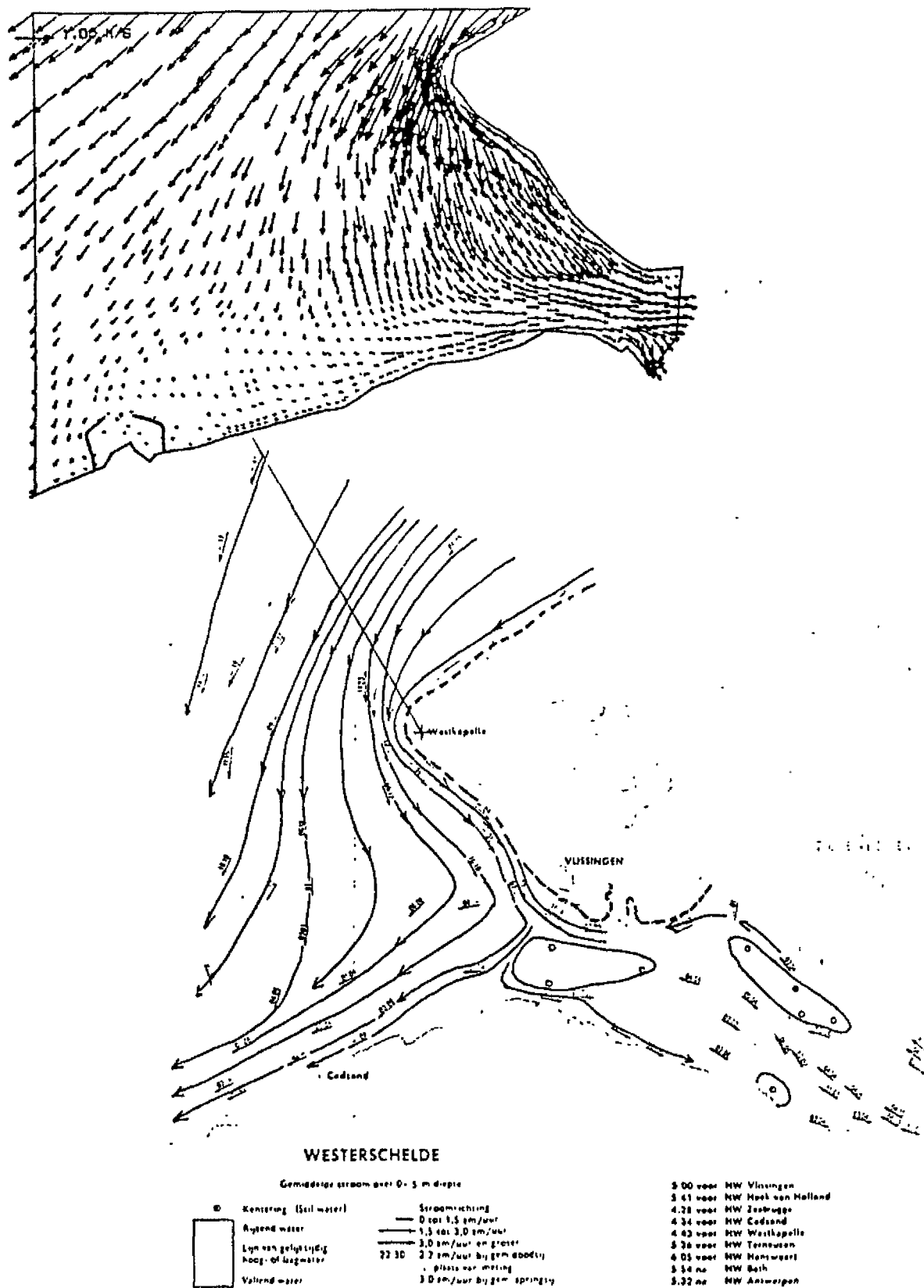
Fig. 4.29

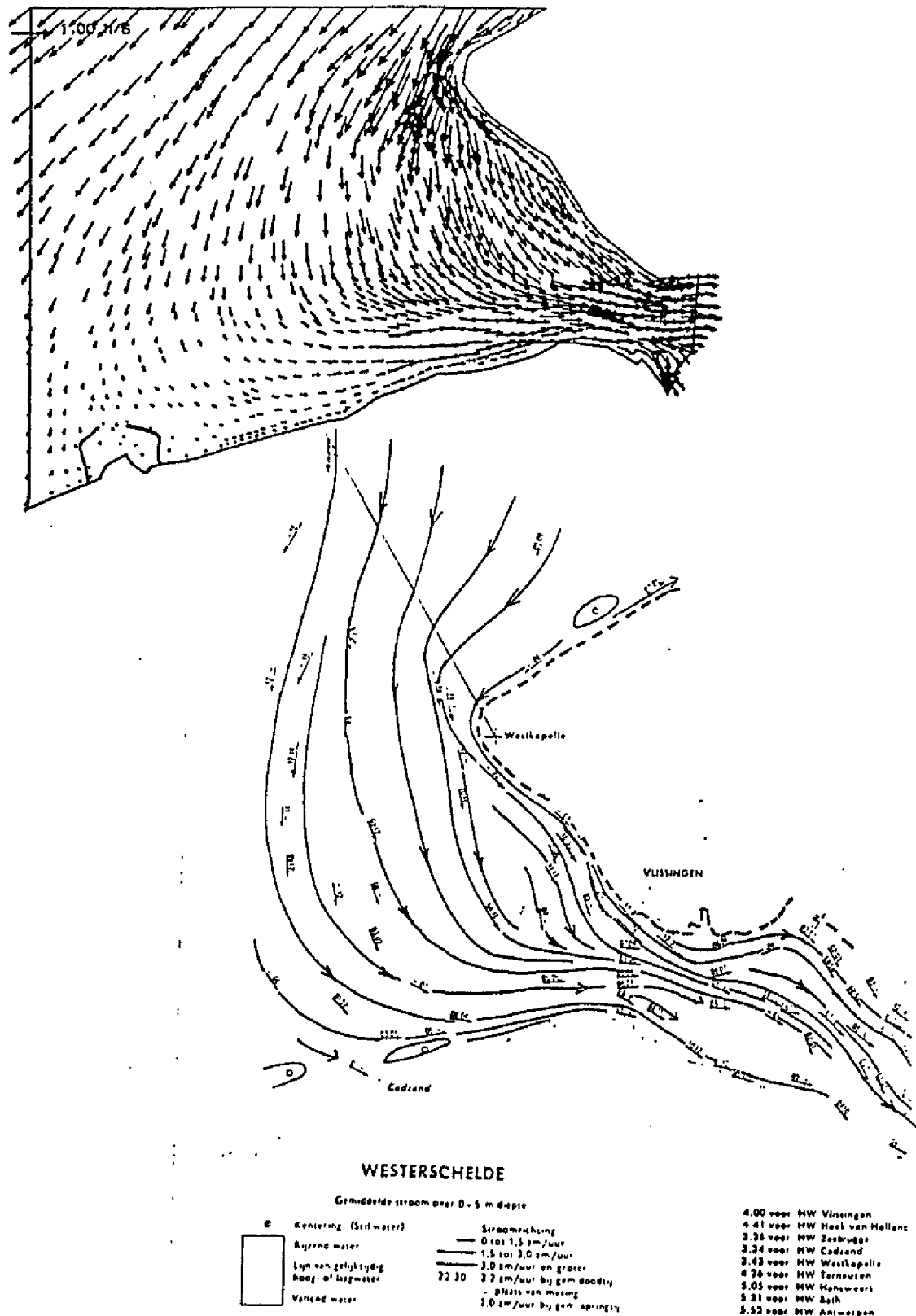


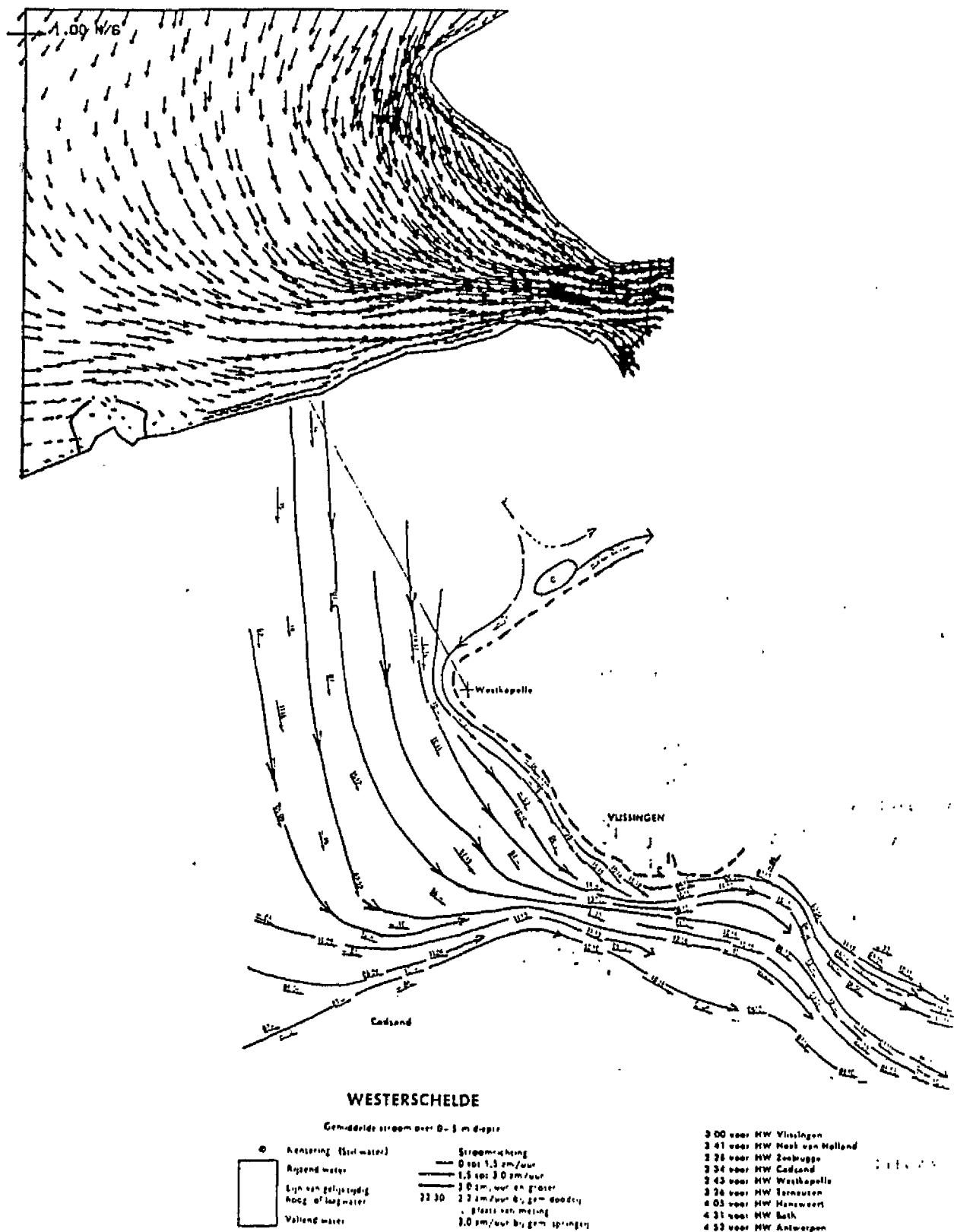


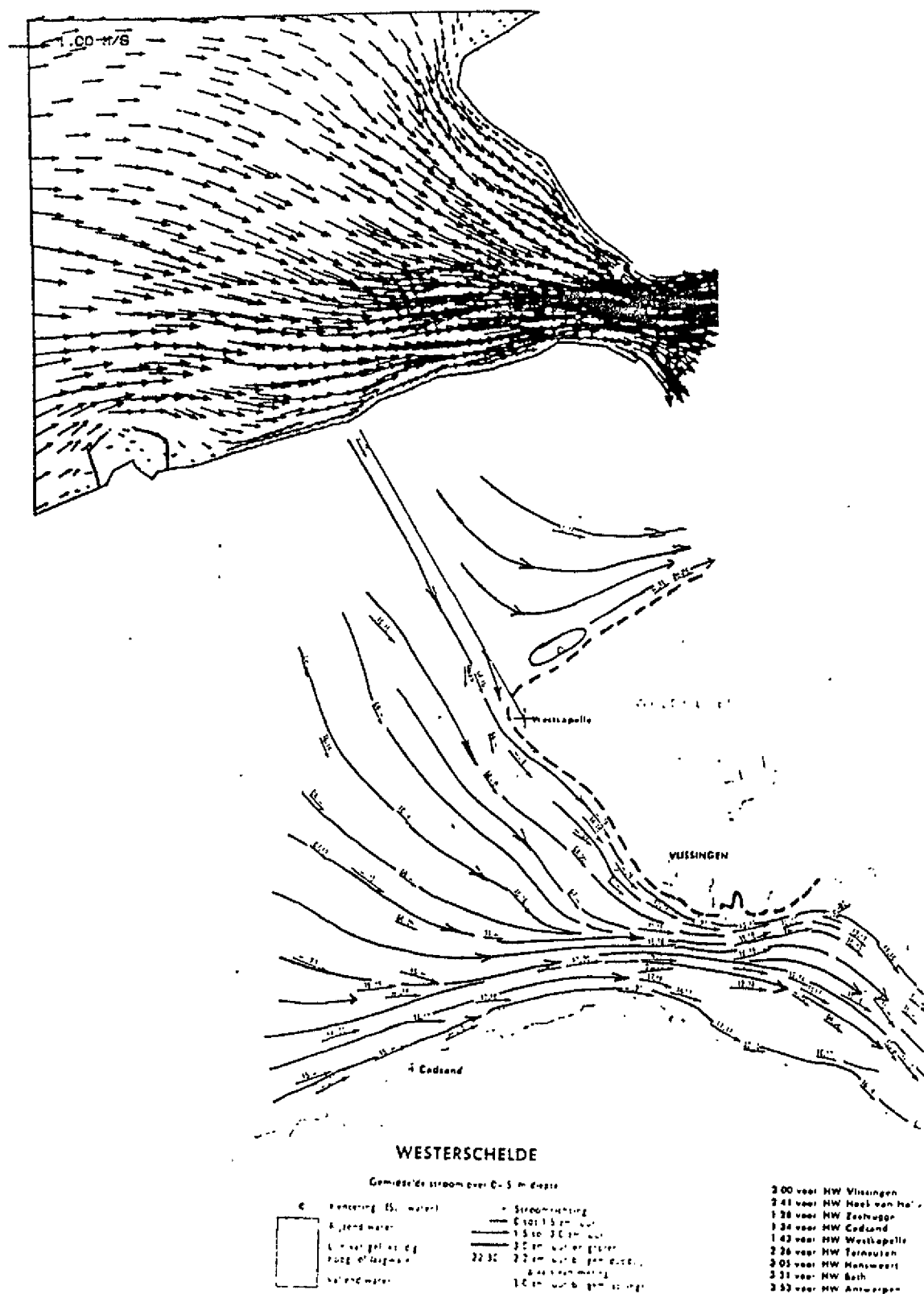


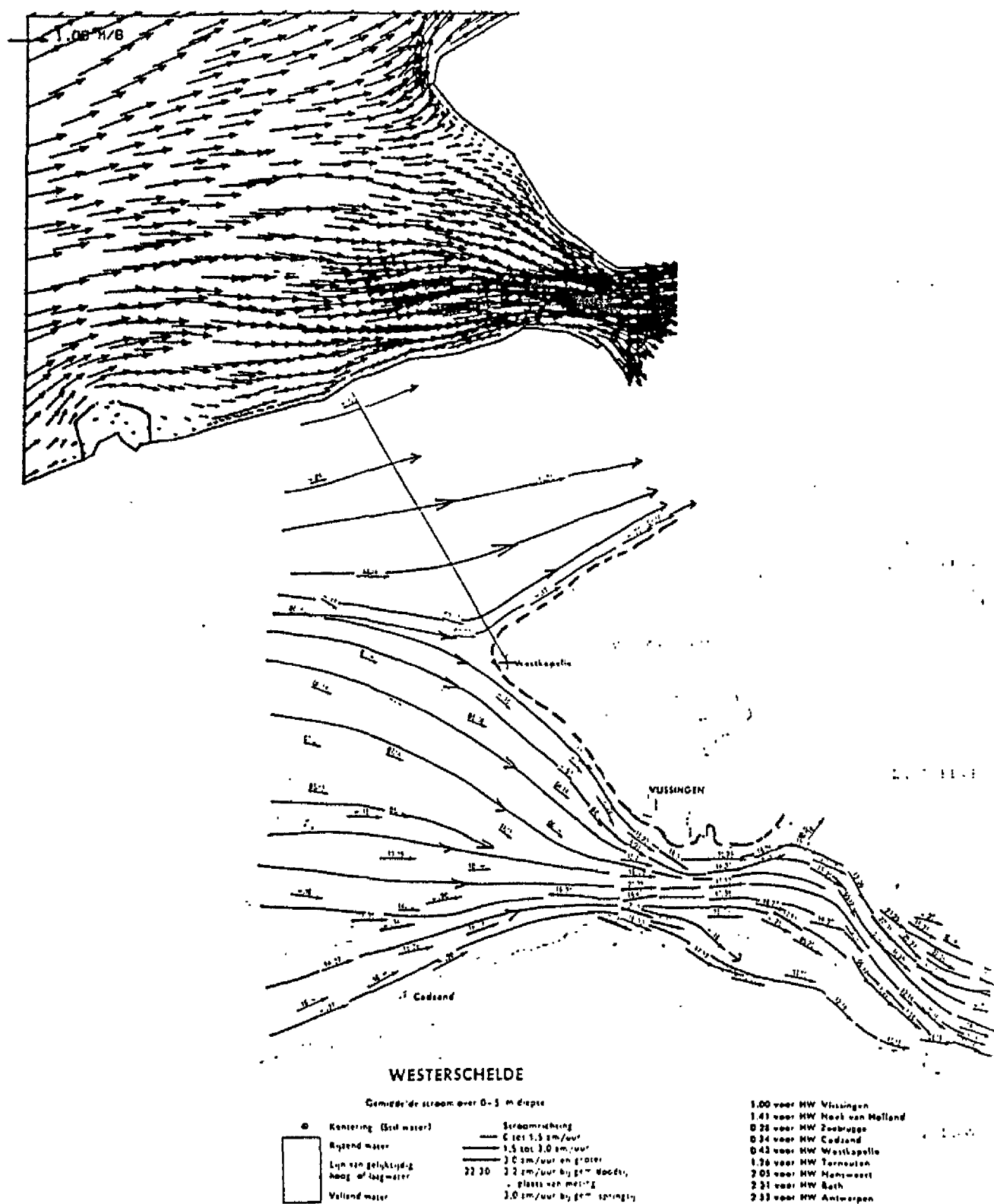


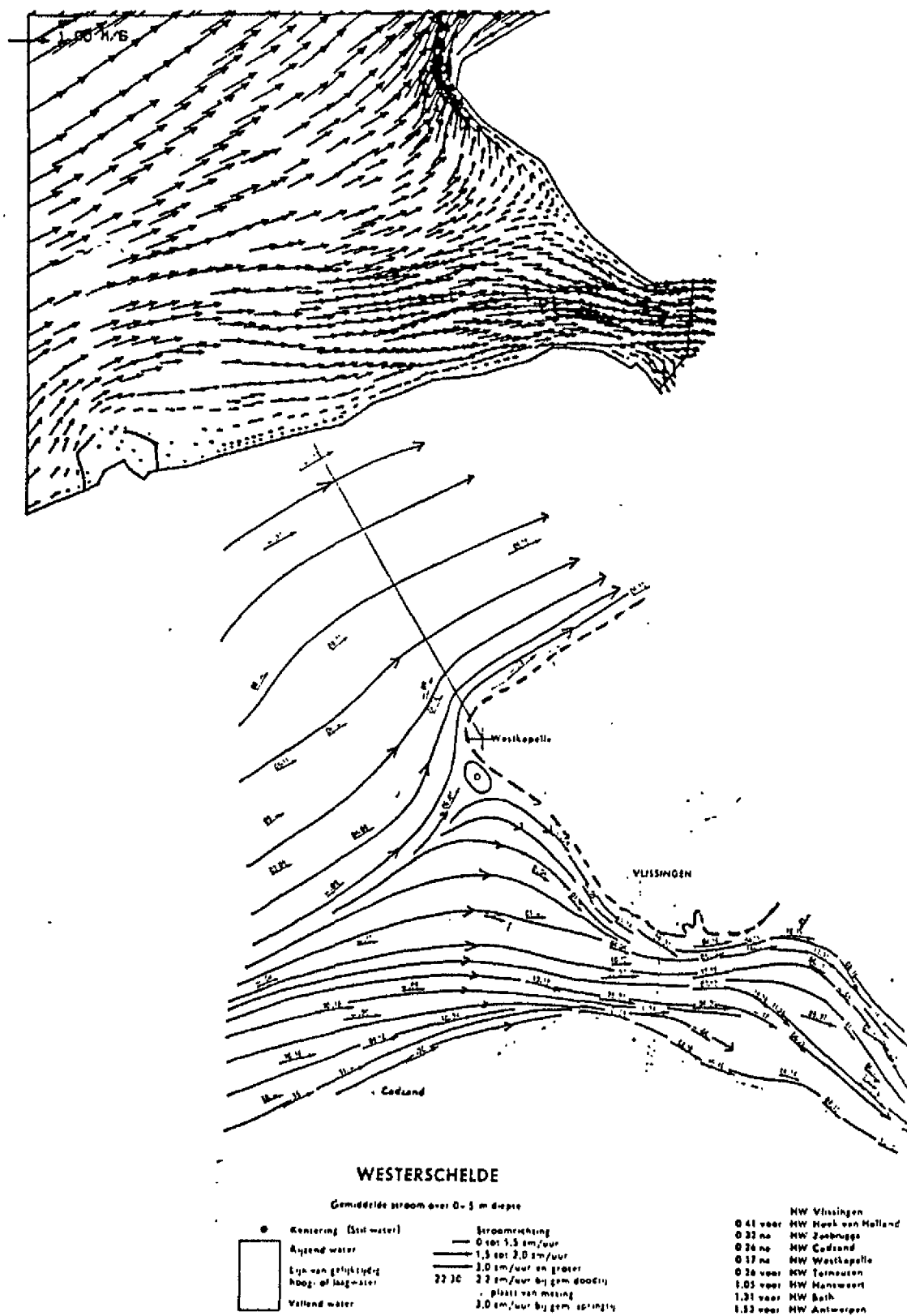






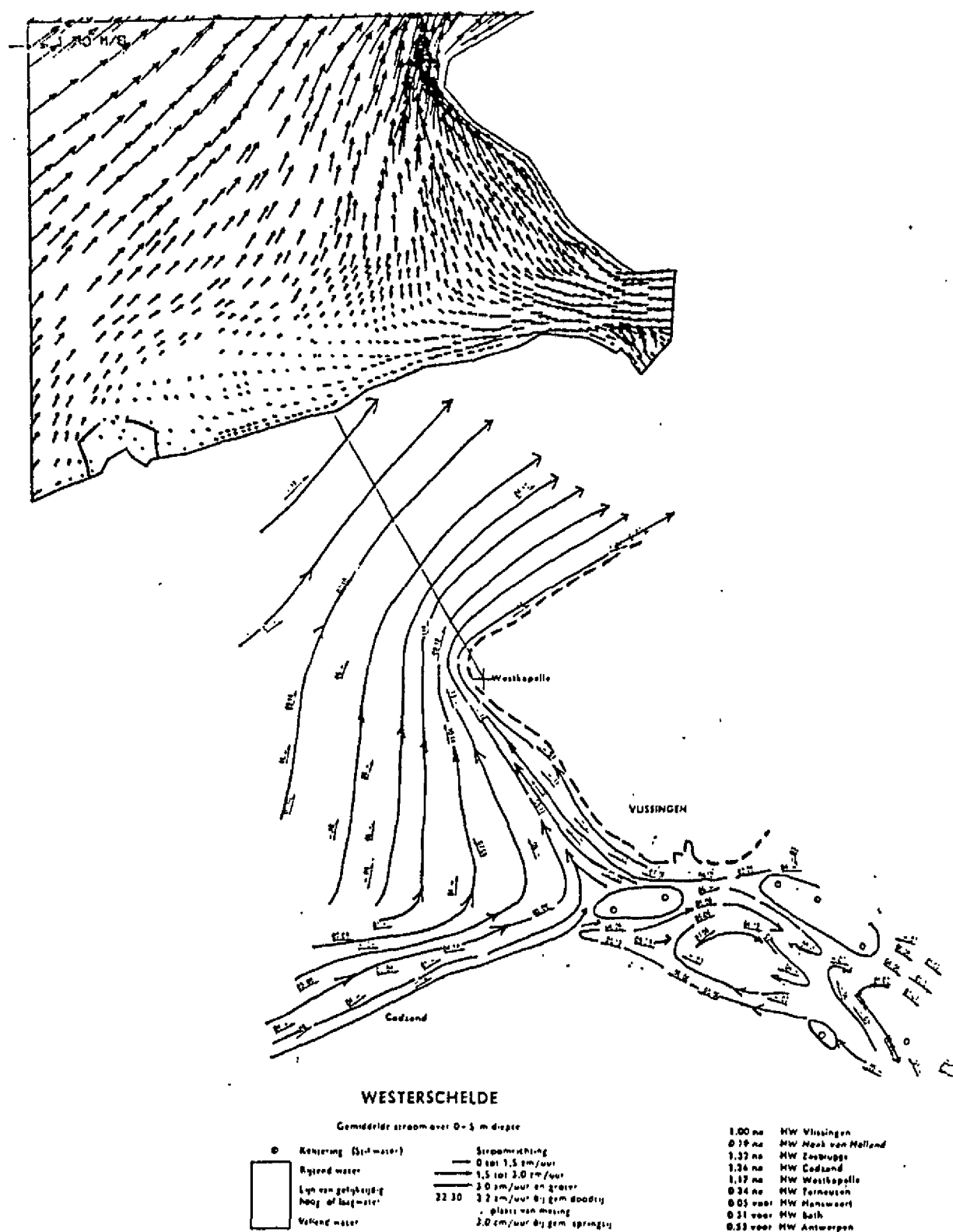






SNELHEIDEN

Tijd : 4950.0

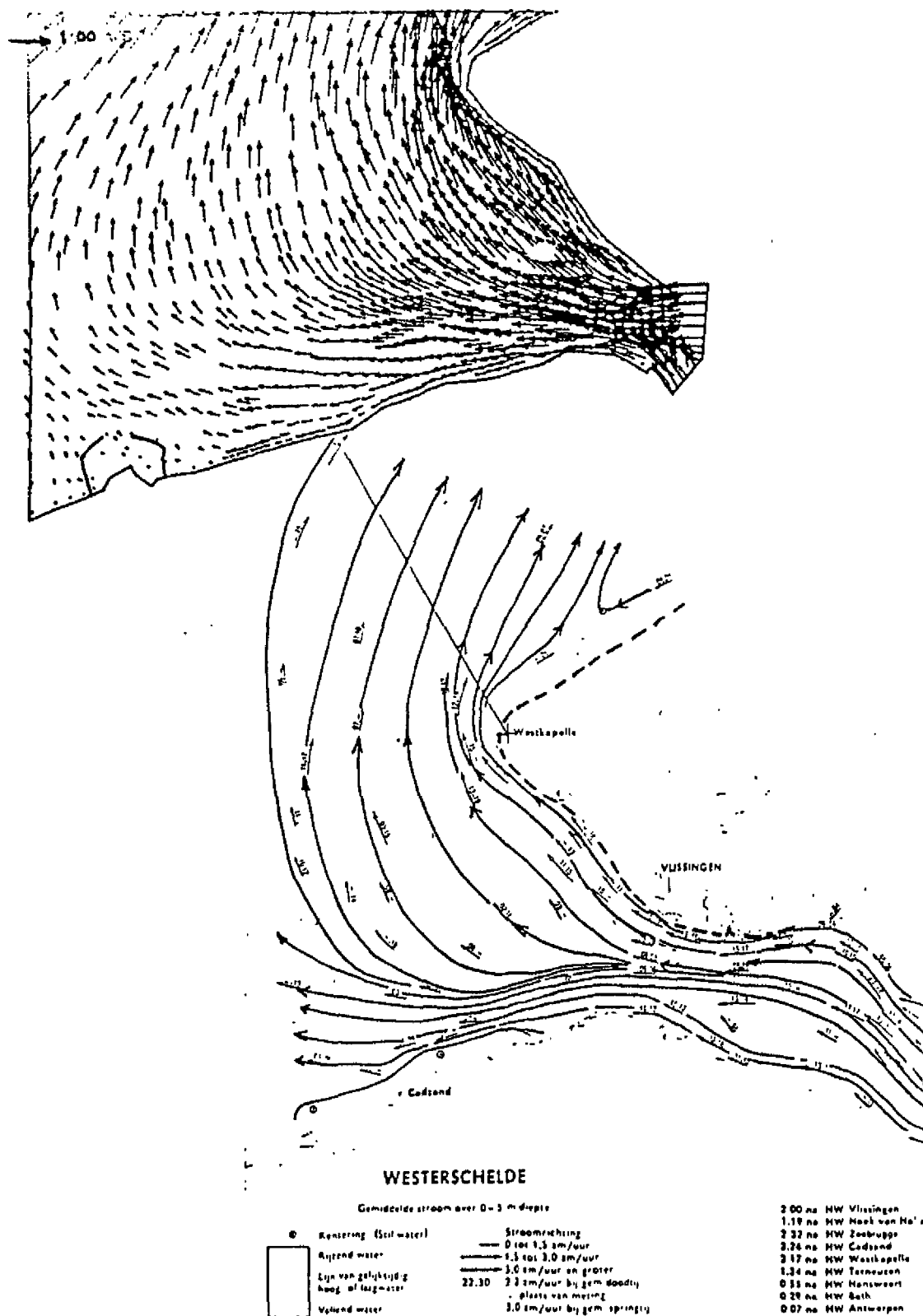


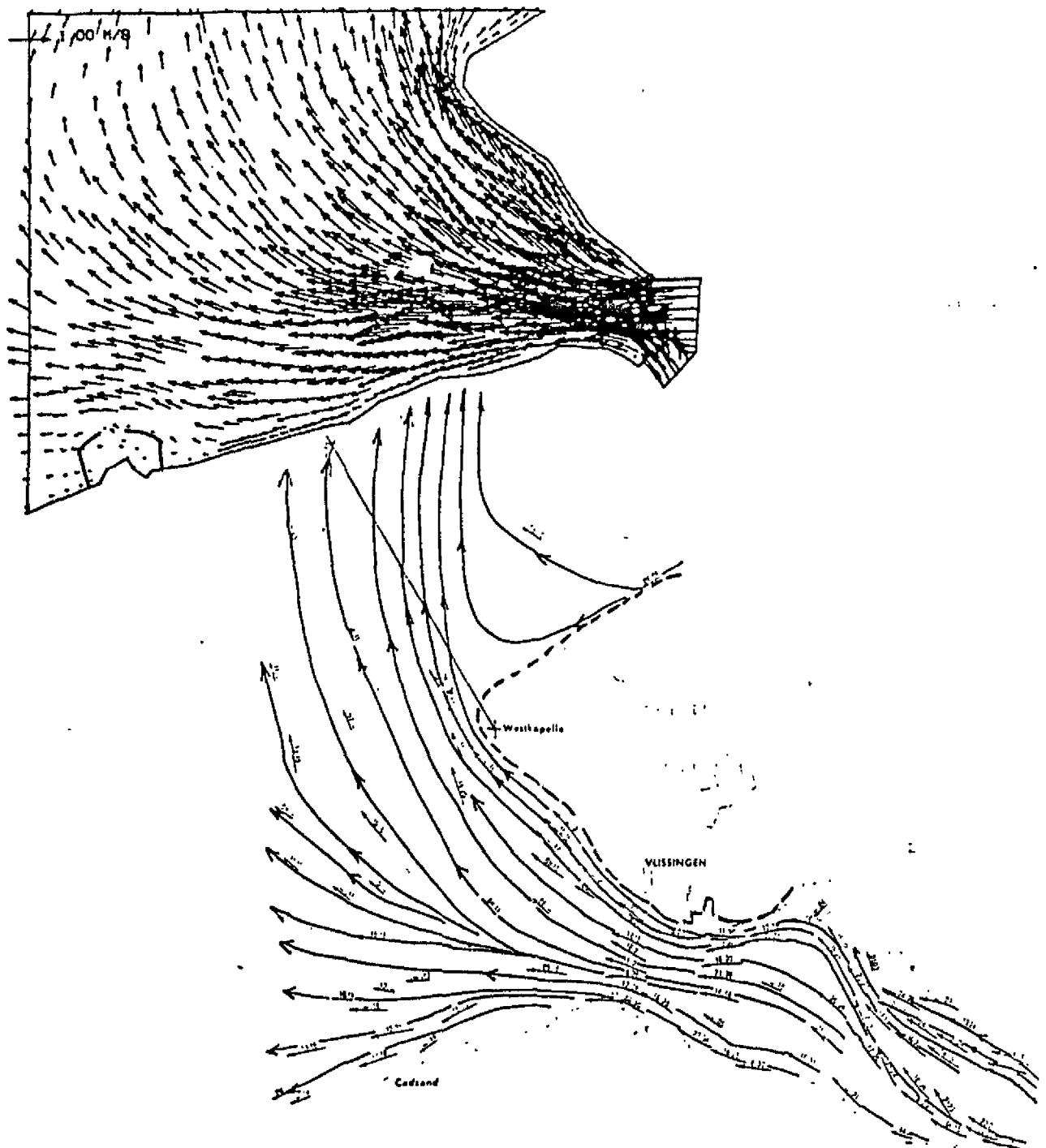
Project 690

VERGELIJKING SNELHEIDSVELDEN STROOMATLAS/FINEL

Fig. 4.39

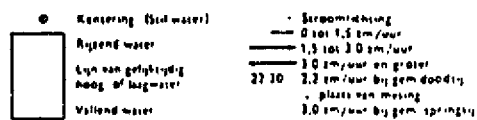
1 UUR NA HW



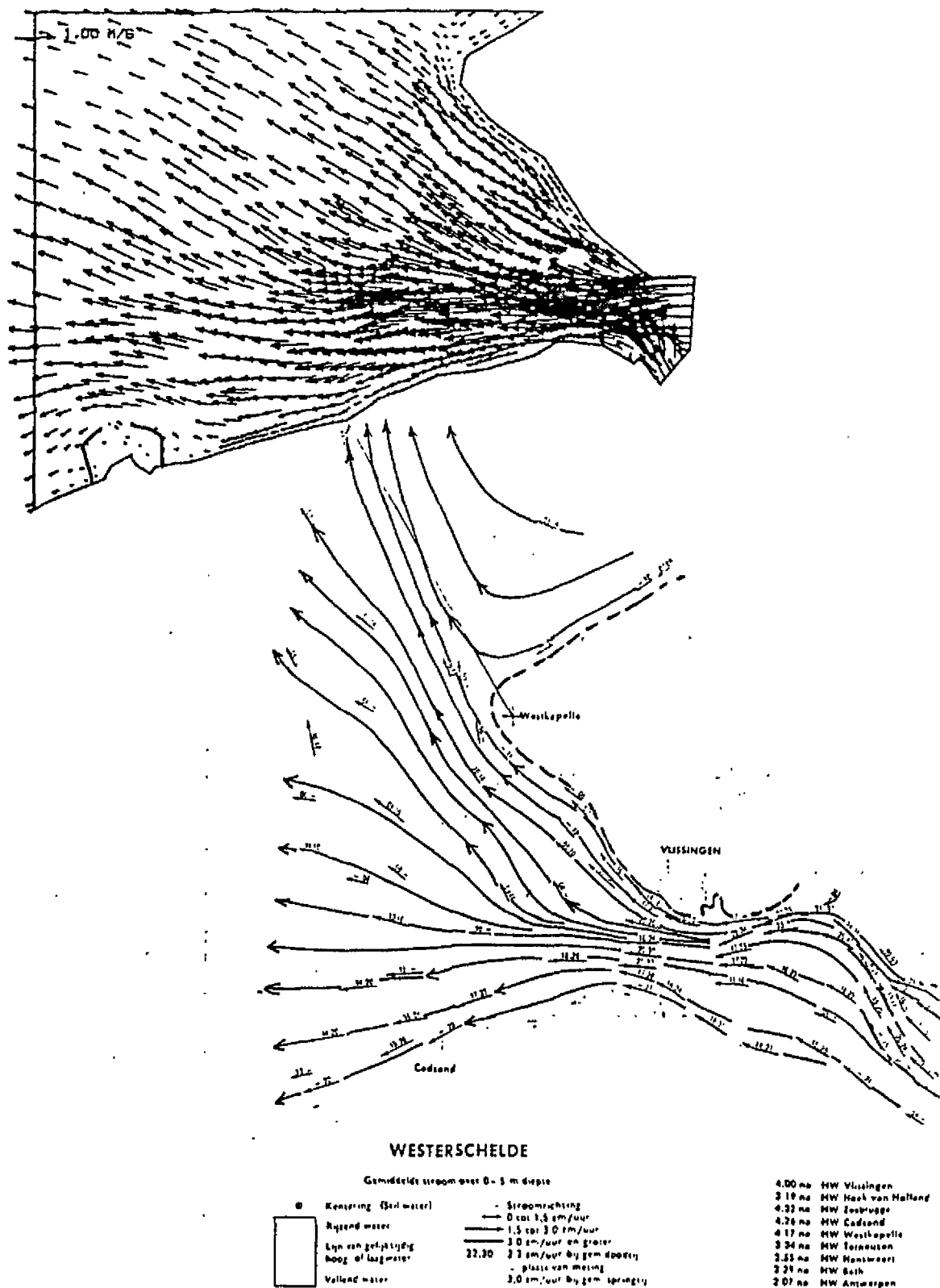


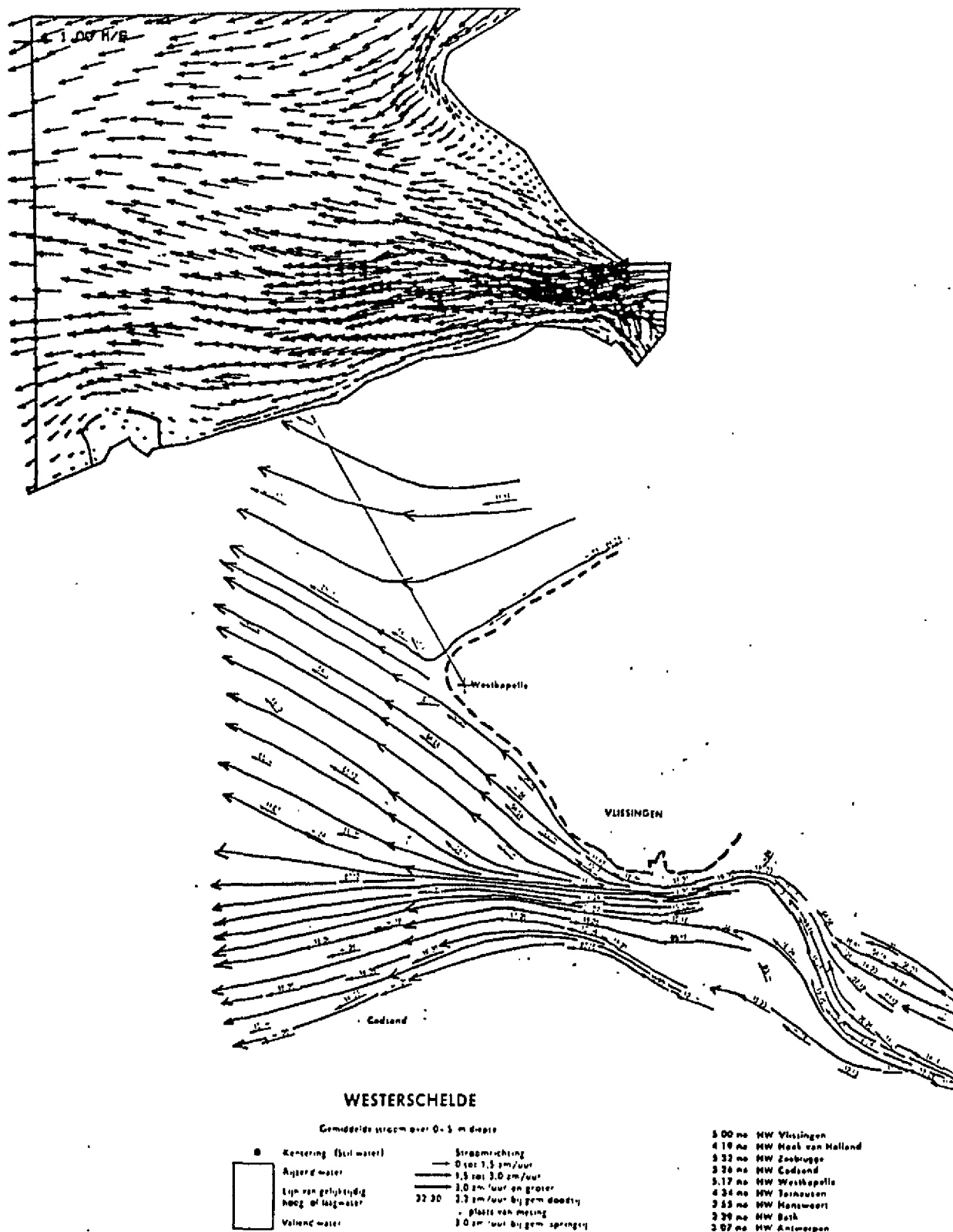
WESTERSCHDELDE

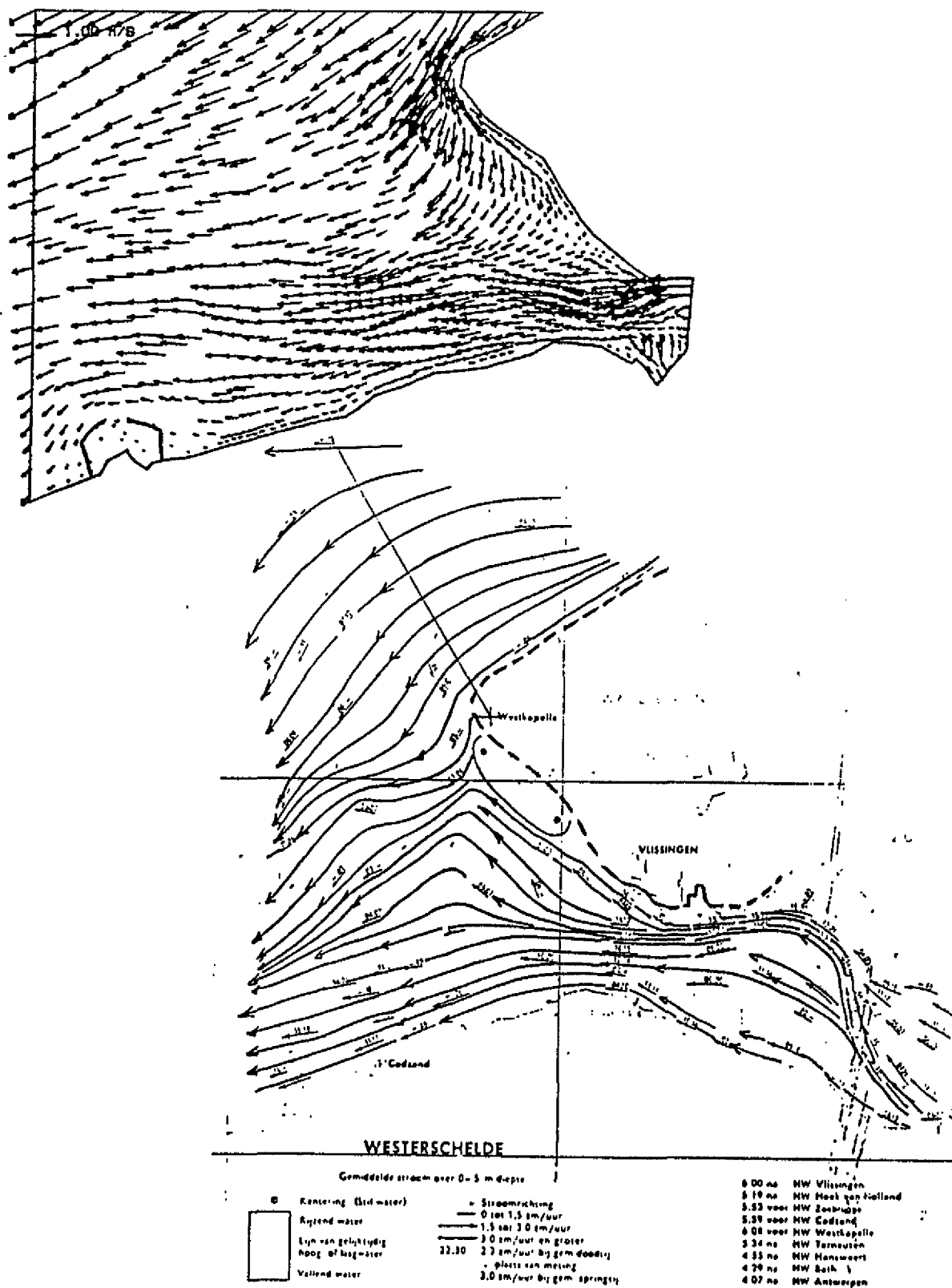
Gemiddelde stroom over 0-5 m diepte

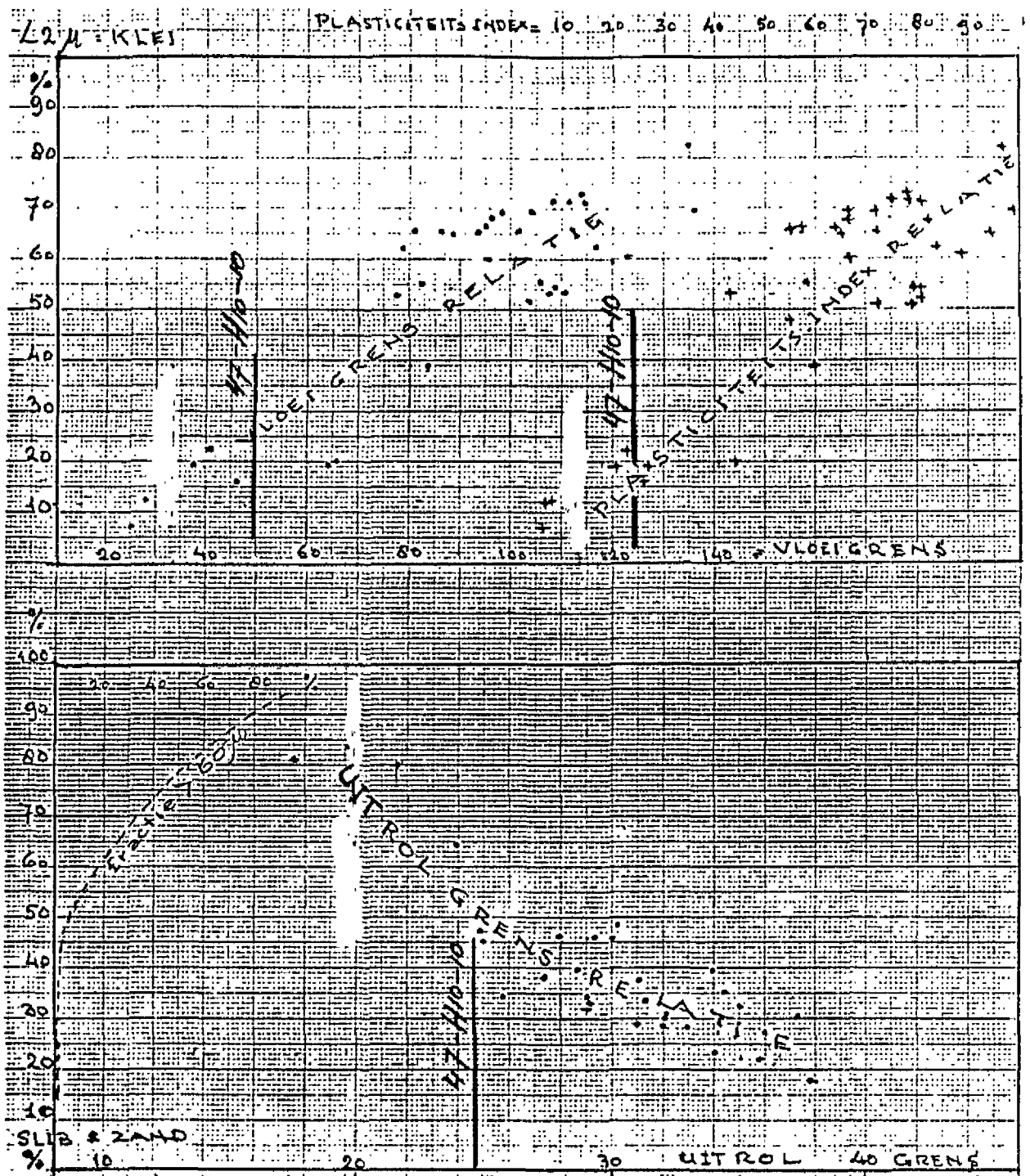


3.00 na	NW Vlissingen
2.19 na	NW Hoek van Holland
2.32 na	NW Zeebrugge
2.26 na	NW Cadzand
2.17 na	NW Westkapelle
2.34 na	NW Terneuzen
1.33 na	NW Harnswaert
1.29 na	NW Bath
1.07 na	NW Antwerpen





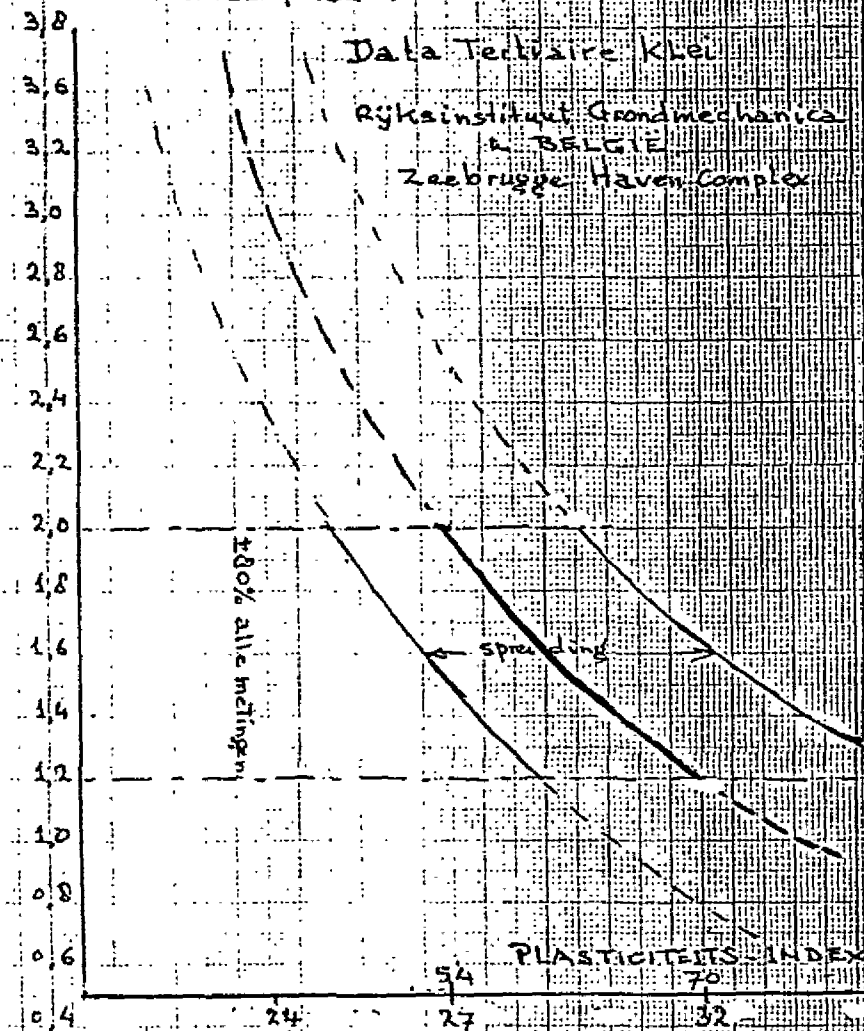




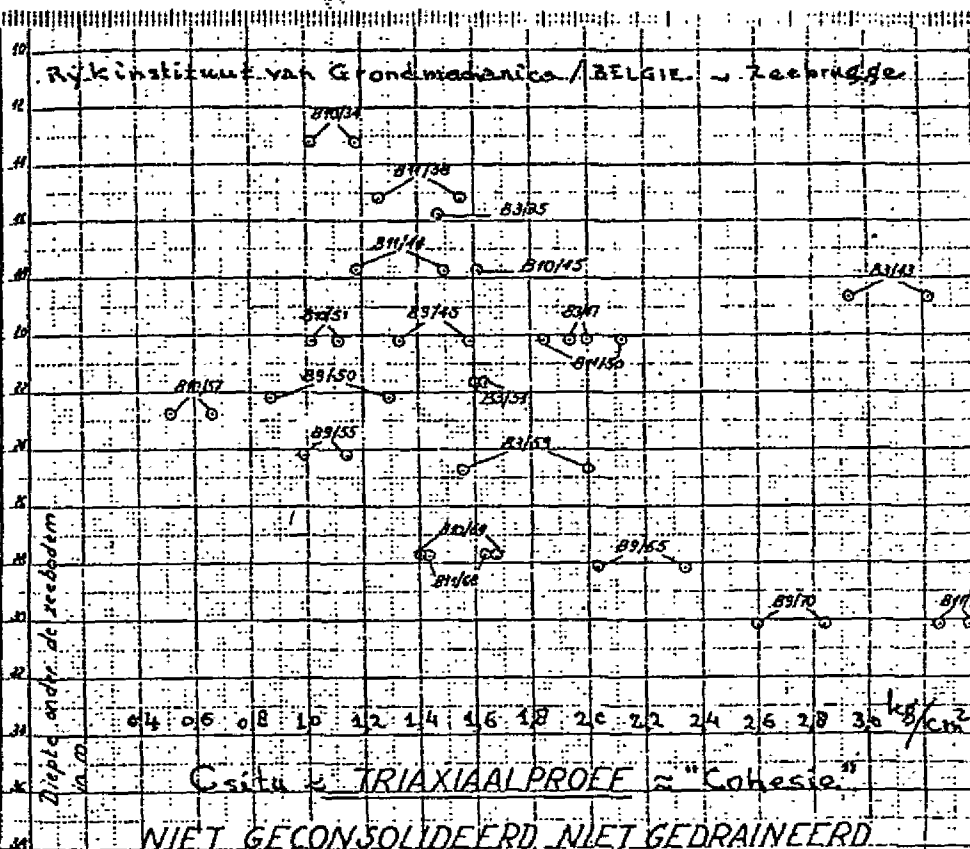
Statistische verwerking van Data Tertiaire klei van het
 Ryksinstituut voor Grondmechanica te België op monsters van
 het Zeebrugge Haven Complex.

Gemiddeld situ.-volume Gewicht = 1,96
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{max } 2,05 \text{ à } 2,15 \\ \gamma_{2\mu} \text{ 80\% } 90\% \\ \text{min. } 1,875 \text{ à } 1,885 \end{array} \right.$

kg/cm^2 "Cohesie" van } niet geconsolideerd
triaxiaal proef } niet gedraineerd

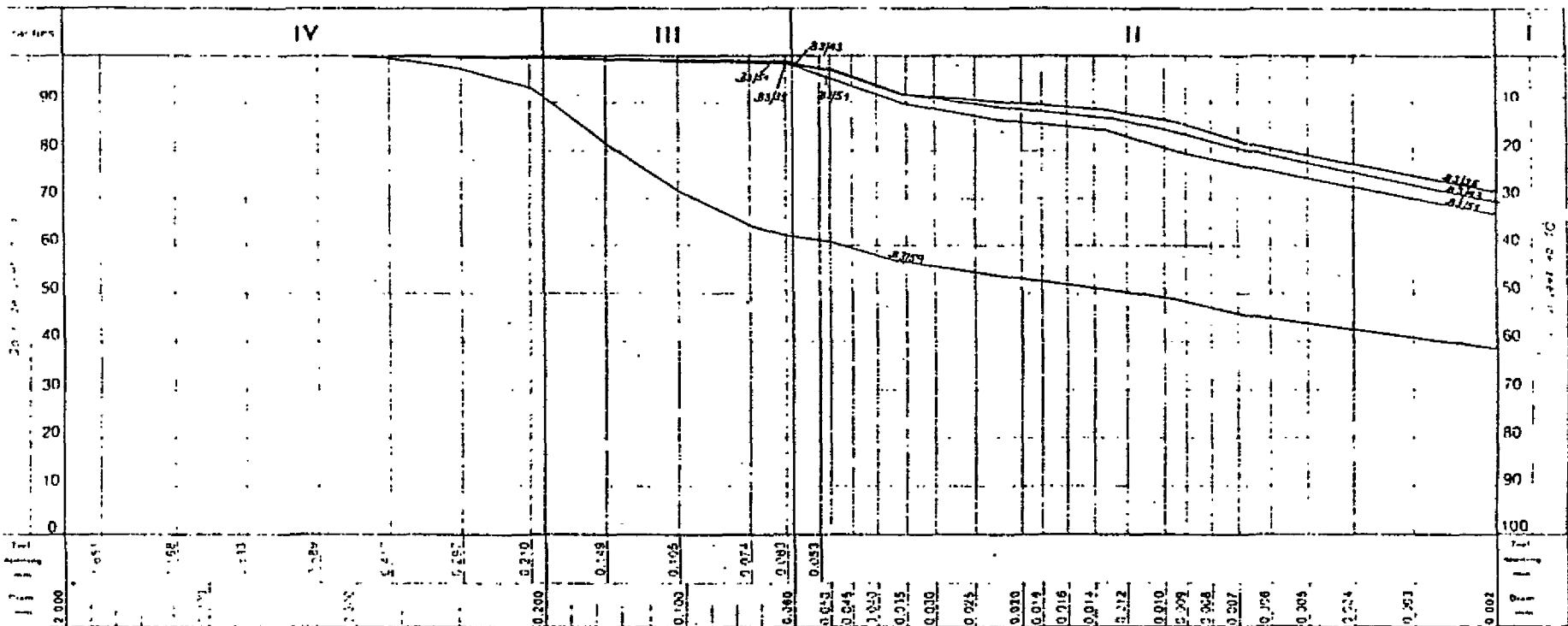


Gevoeligheid tegen verkruisen = gemiddeld $\theta = C_{situ} : C_{overkruis}$
minimaal $L = 6 (\pm 25\% < 2,4)$ maximaal $10 (\pm 25\% < 2,4)$



Mechanisch voorbehand kan uit bovenstaande grafiek gecon-
cludeerd worden dat de schuifvastheid toeneemt met
de diepte.
Aan de oppervlakte kan de "cohesie-waarde" $\approx 2/3$ be-
dragen, afgezien van verzwakking door getij & golven.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM



Herkomst	Rekening	Procent 2 B.	Monster n°	Grondsoort	Korrelverdelingsdiagram					Stk. grote 20	Vast gram	Staat gram	Plant cristal materia	Hout grote gram	Zak grote gram	Steen grote gram	Ander grote gram
					IV	III	II	I									
SECONDARE					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Offshore	83/83	150	77/1140	83/83		95	45	25	75	80	111	334	723	32	25		w. humush. - w. kalkh.
	"	1450	1650	77/1142		95	1	25	63	84	109	334	723	44	49		" w. kalkh.
	"	2150	2350	77/1144		95	45	34	67	86	94	349	622	42	49		" w. kalkh.
	"	2600	2890	77/1146		85	29	25	38	53	83	237	597	41	38		- kalkh.

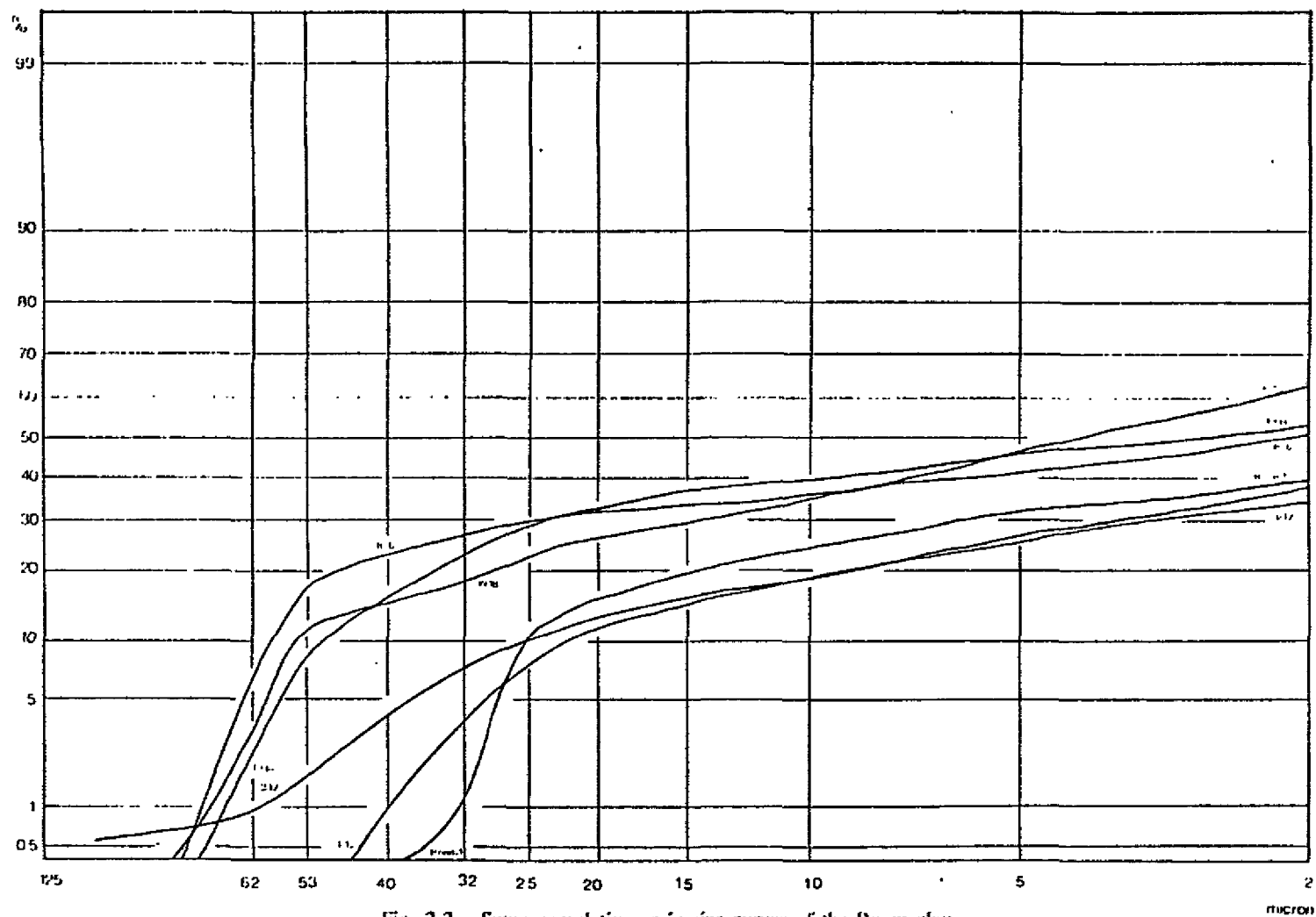


Fig. 2.2 - Some cumulative grain-size curves of the Boom clay.
Enkele kumulatieve korrelgrootte verdelingen van de Boomse klei.

Bezinkingssnelheid & Korreldiameter ($\gamma=2,65$)

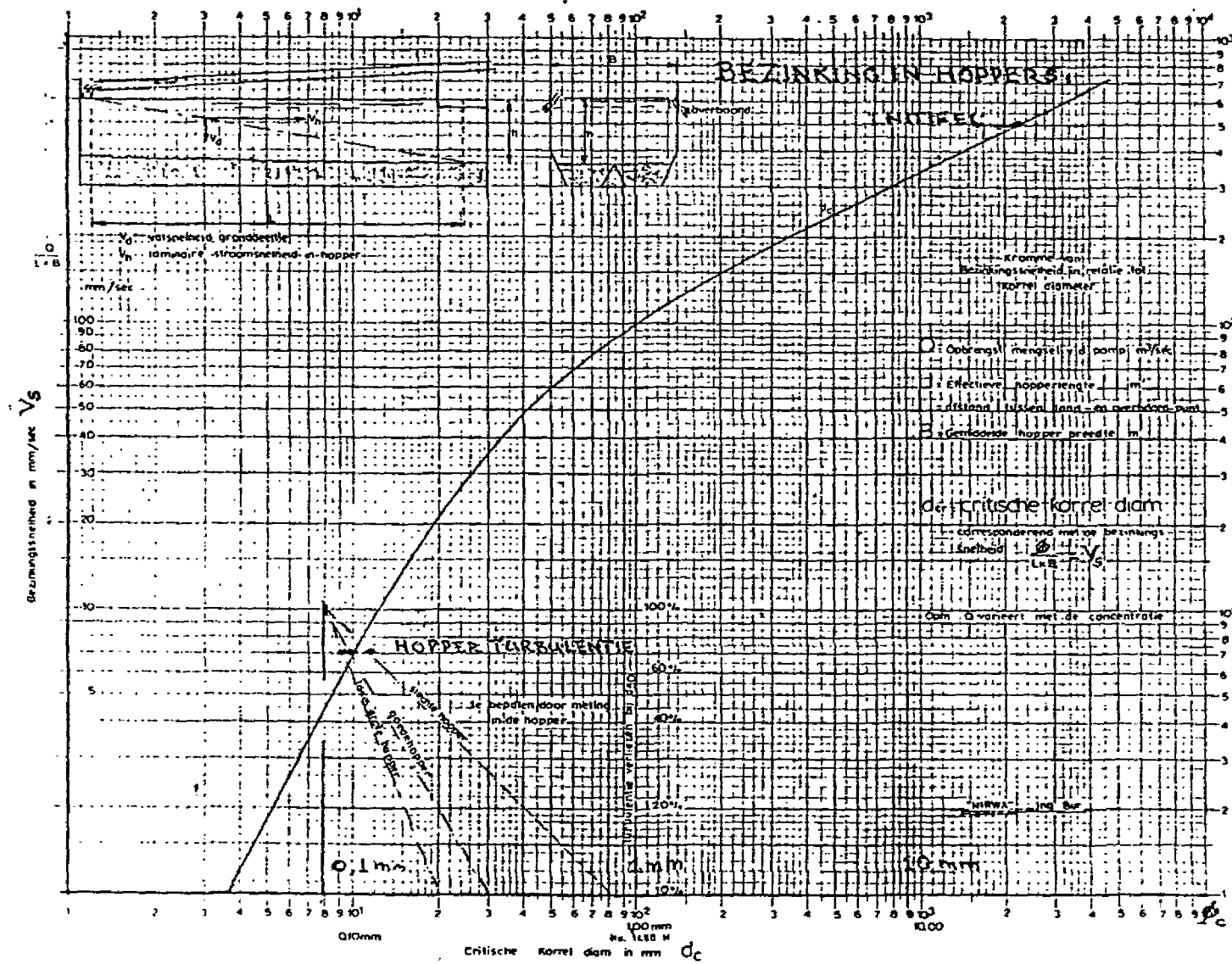
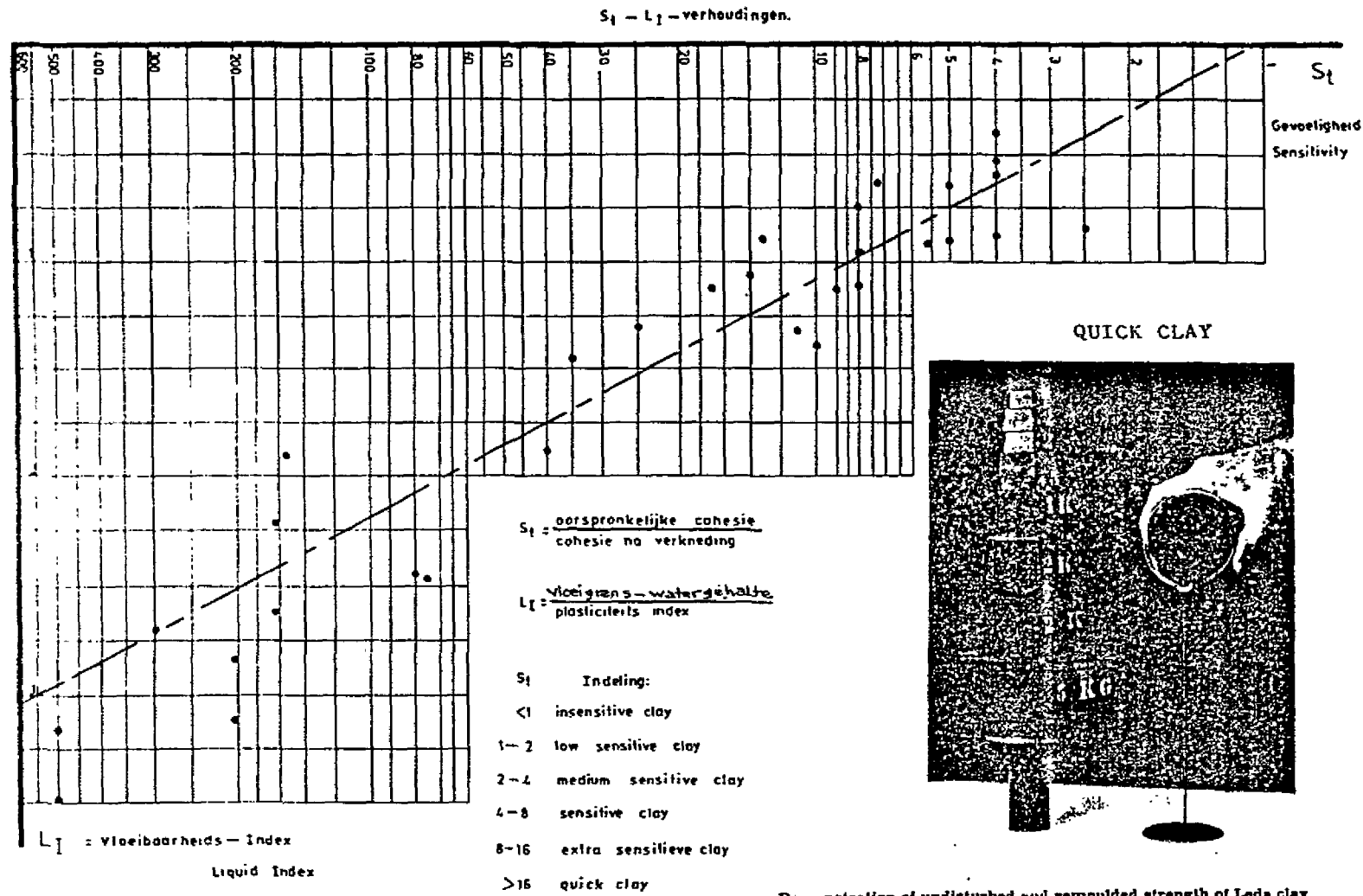


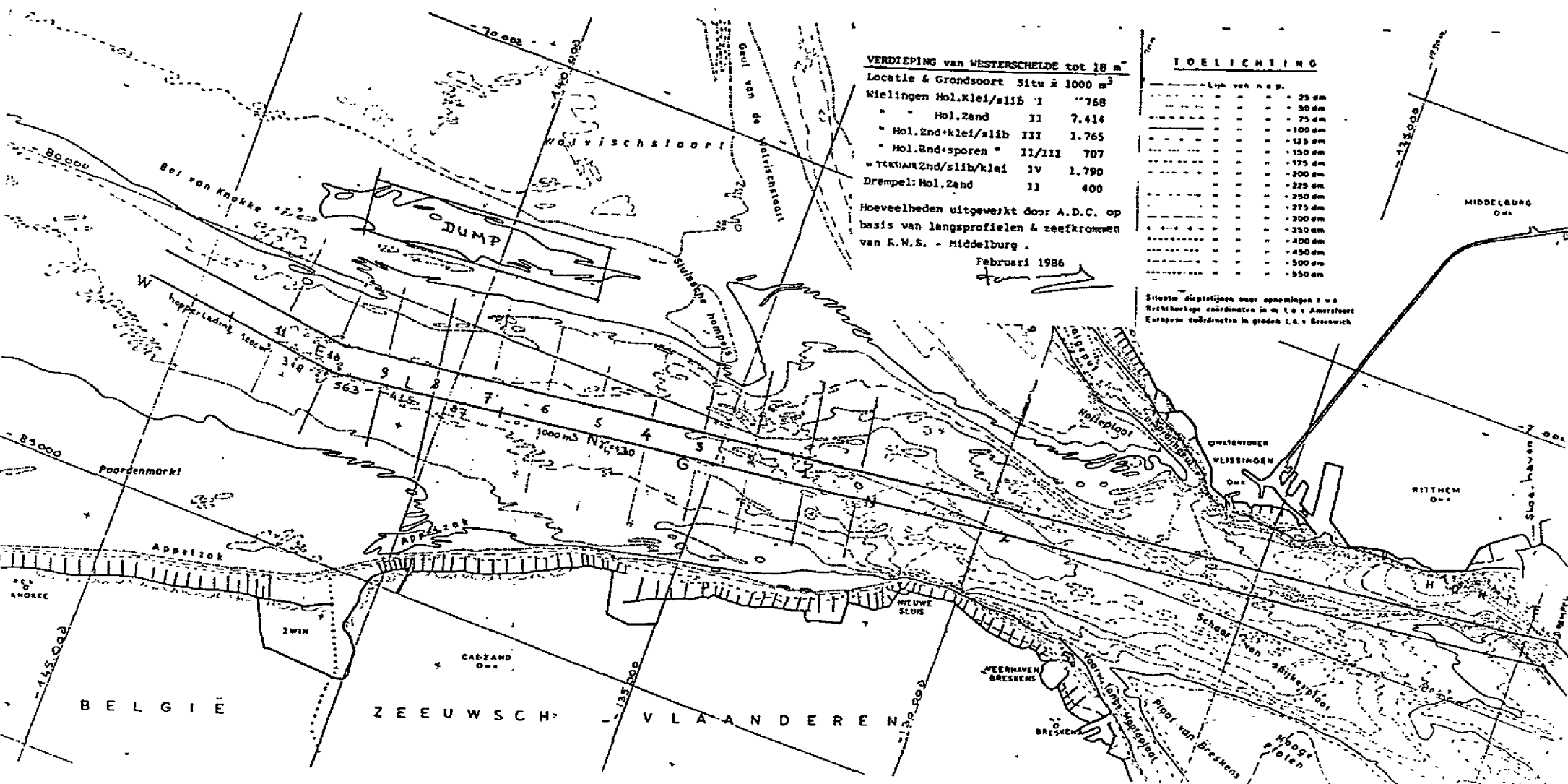
Fig. 5.5



Demonstration of undisturbed and remoulded strength of Leda clay

Fig. 5.6

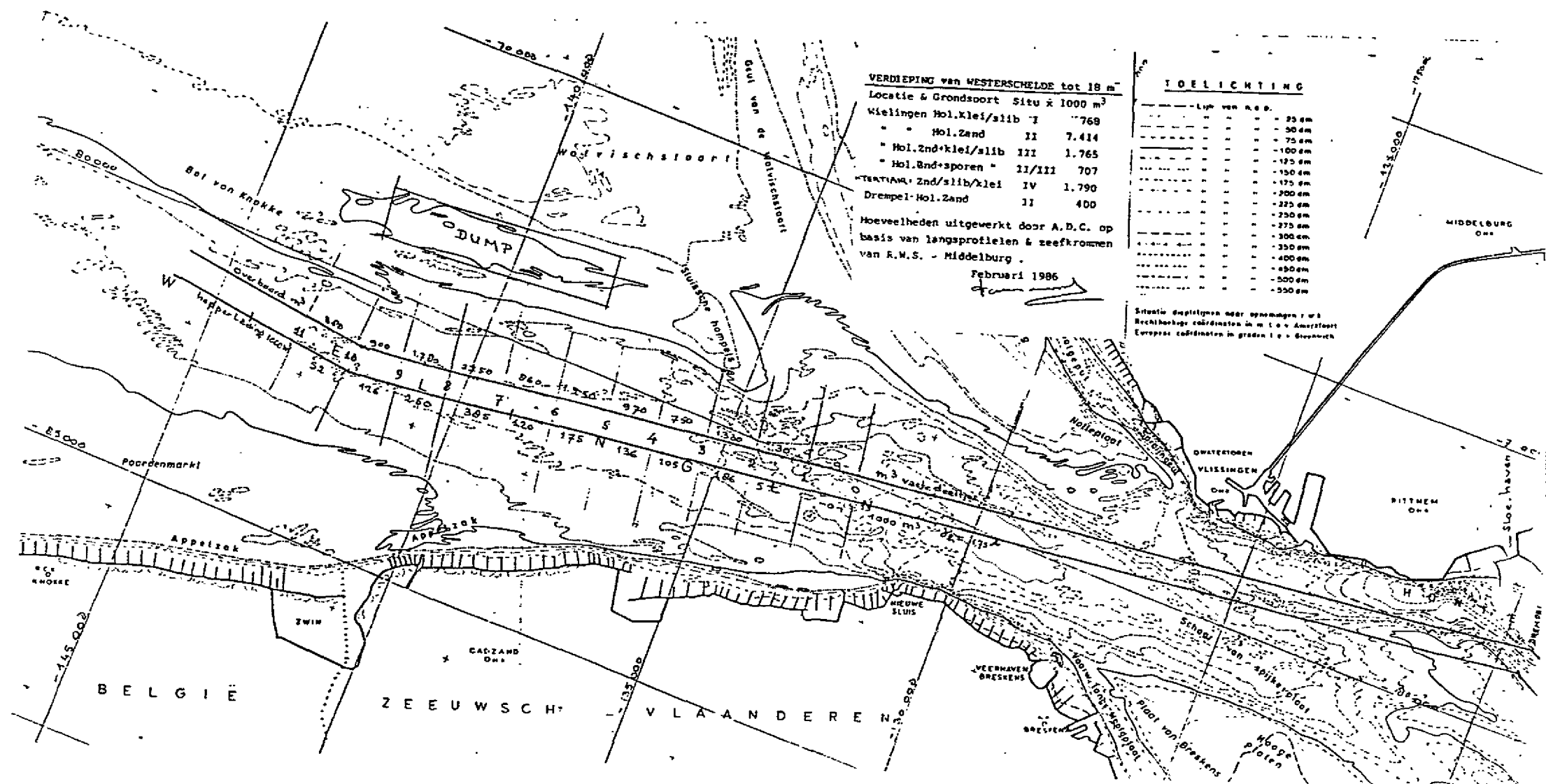
Ontleend aan diverse grondmechanische tijdschriften en publikaties en gerangschikt door "Nirwa".



I Holocene klei = 768.000 m³ situ

Projekt 690

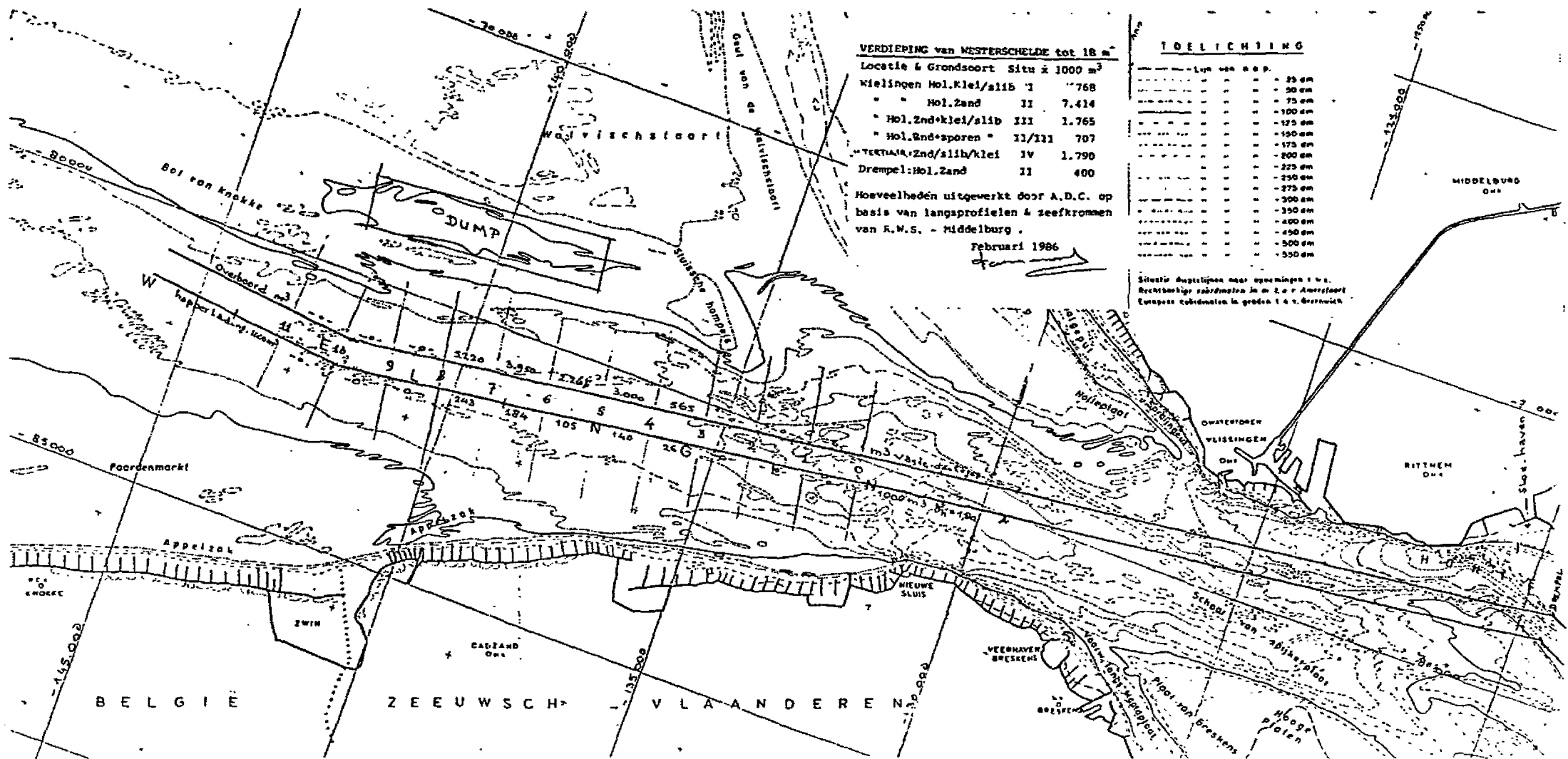
Fig. 5.7



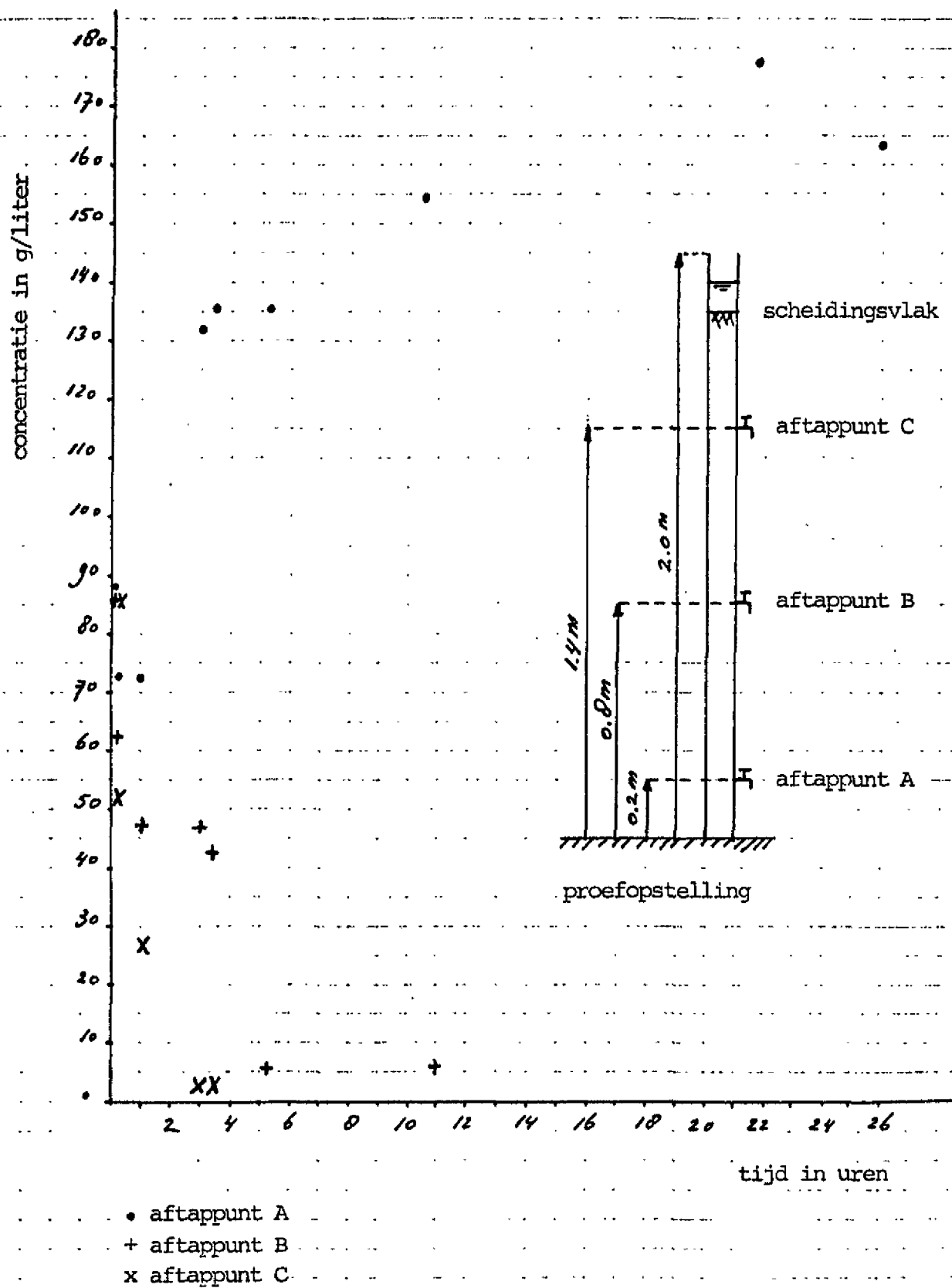
III Holocene zand met klei en sliedagen = 1.765.000 m³ situ

Projekt 690

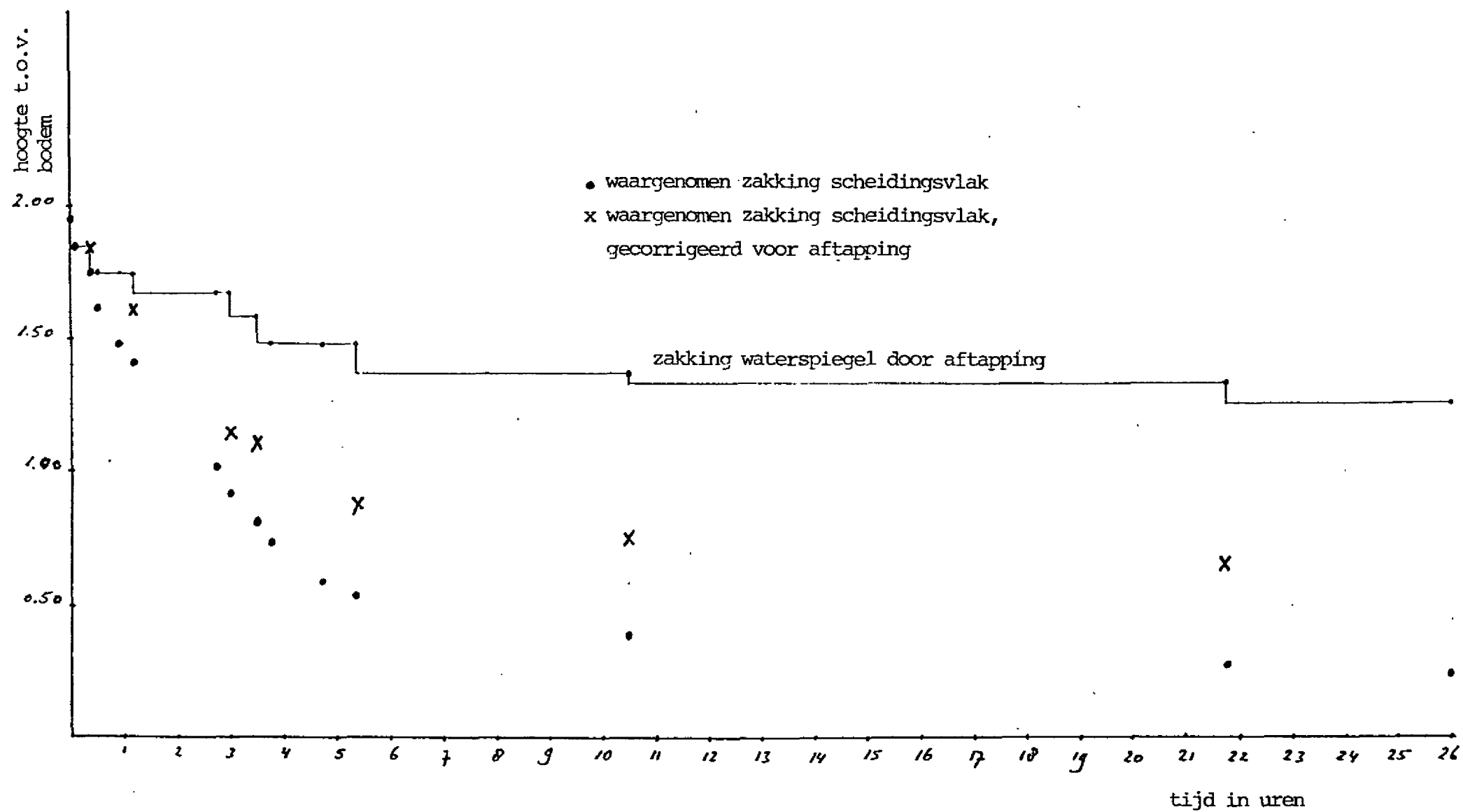
Fig. 5.9

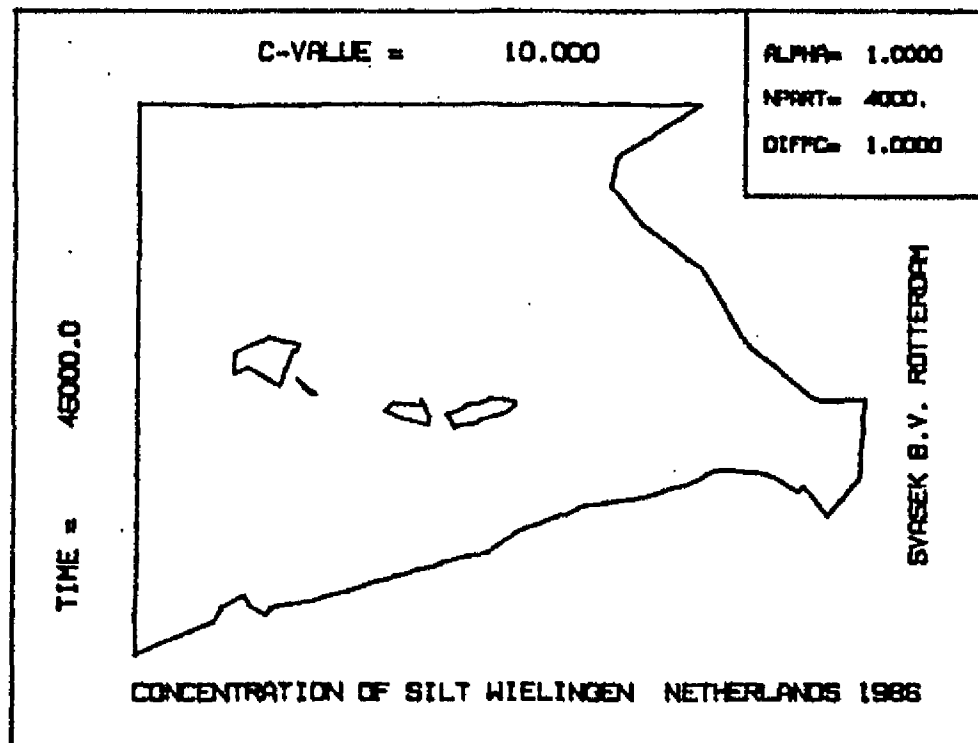


II/III Holocene zand met weinig slib en/of klei = 707.000 m³ situ



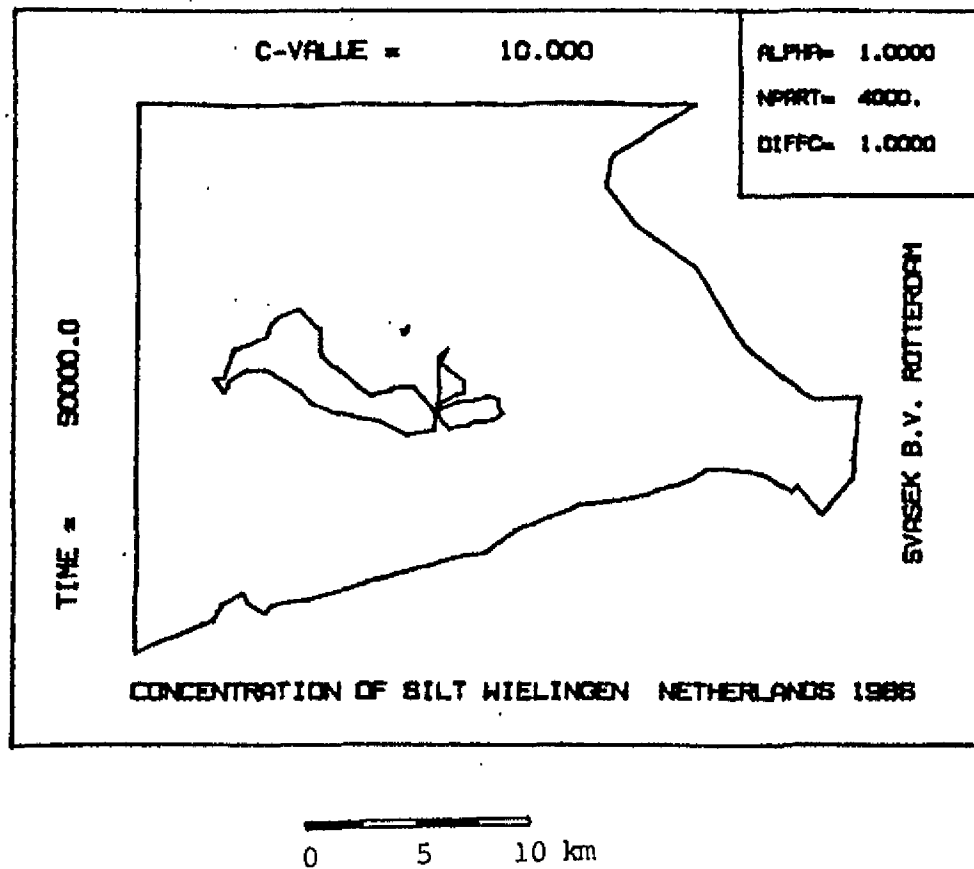
Resultaten valsnelheidsproef



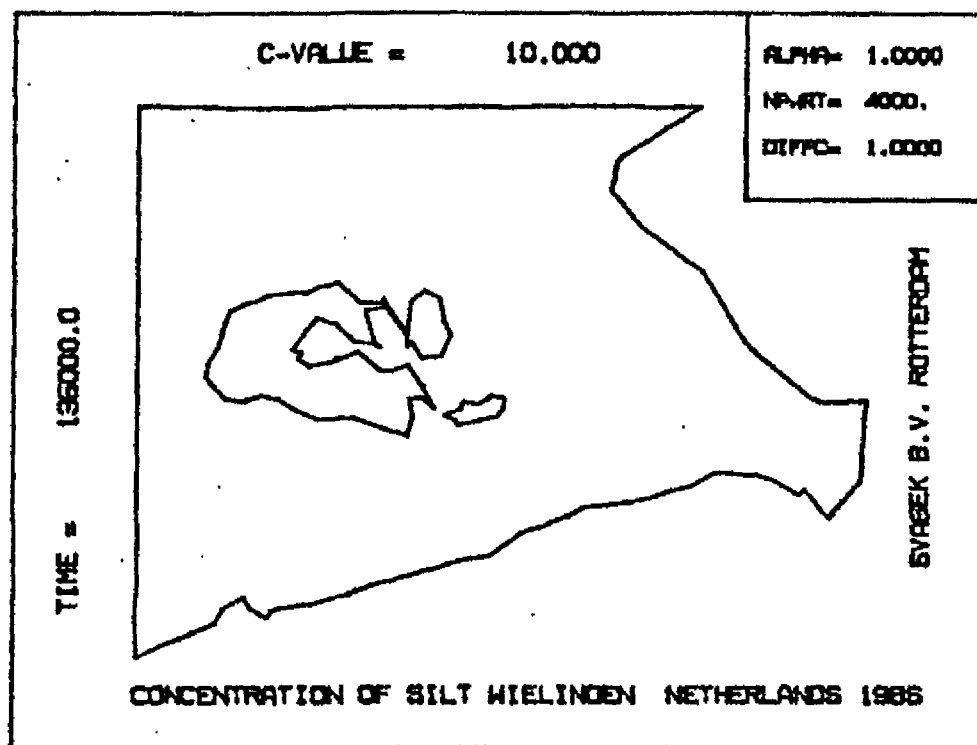


0 5 10 km

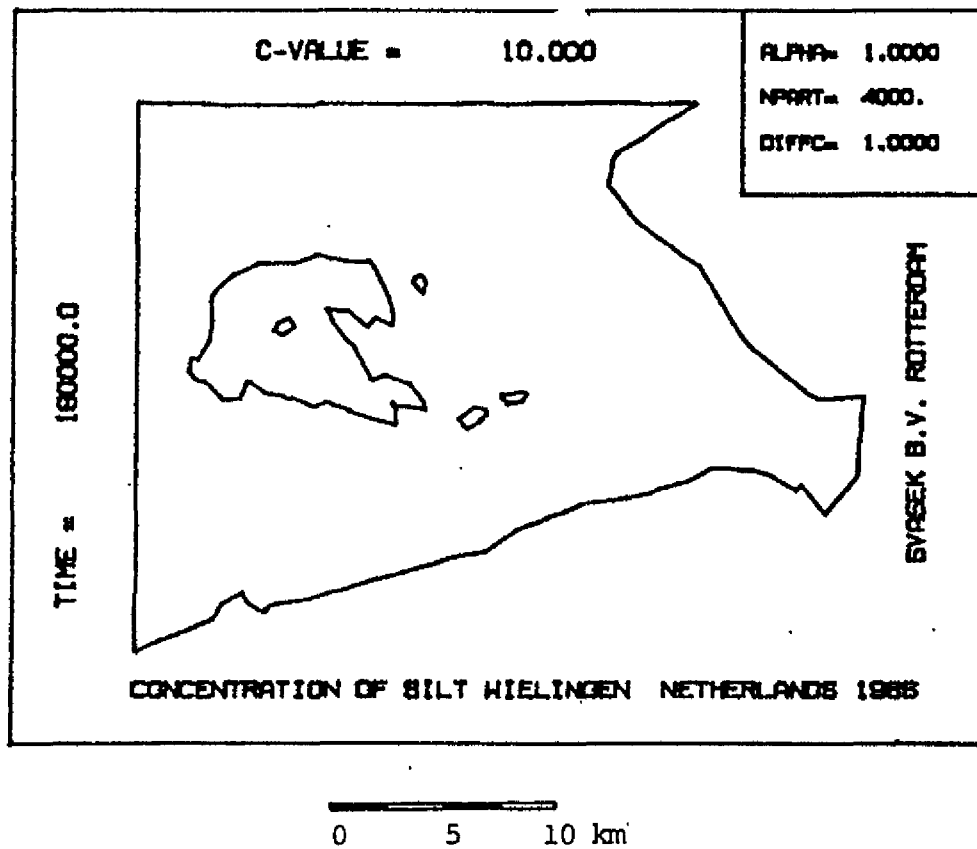
Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 1 getij
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



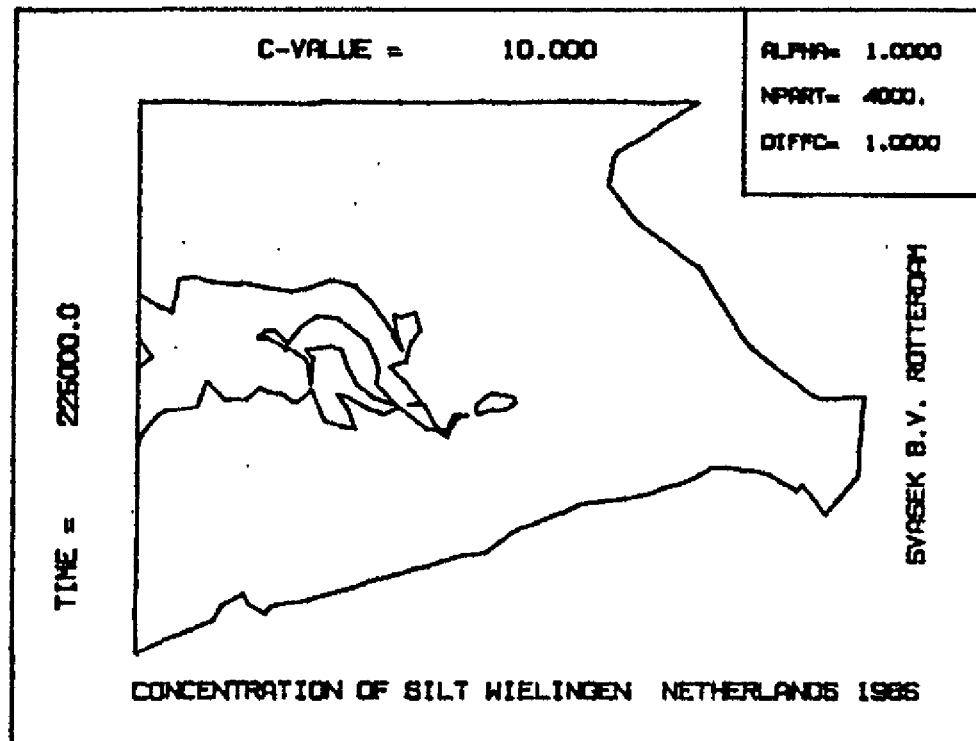
Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 2 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



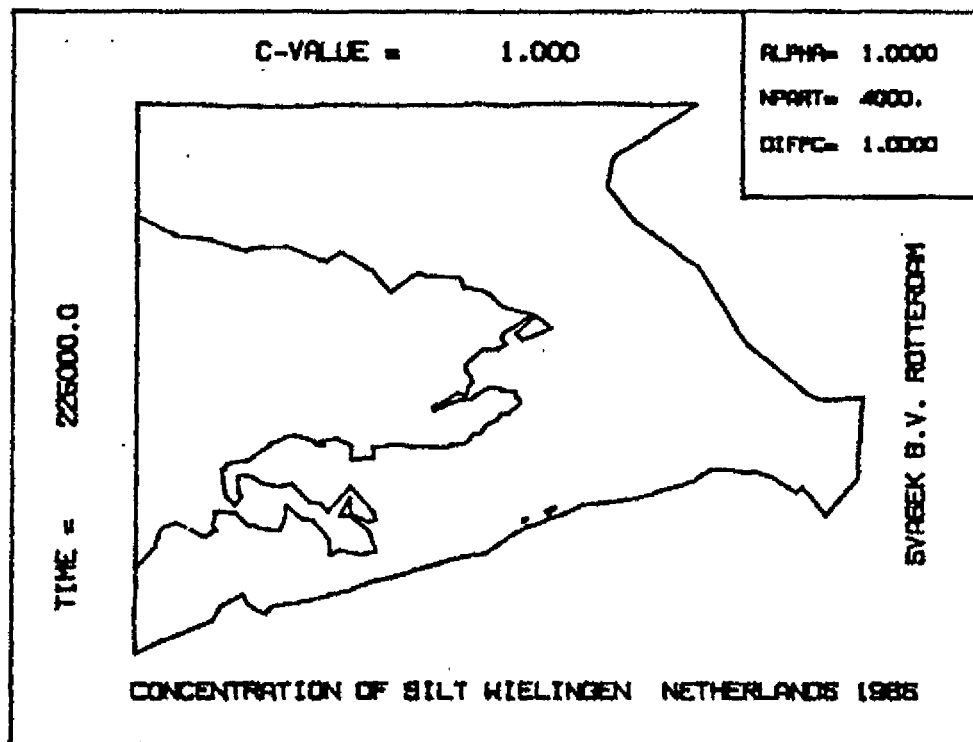
Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
 Concentratie slib 10 g/m³ na 3 getijden
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
 Concentratie slib 10 g/m³ na 4 getijden
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

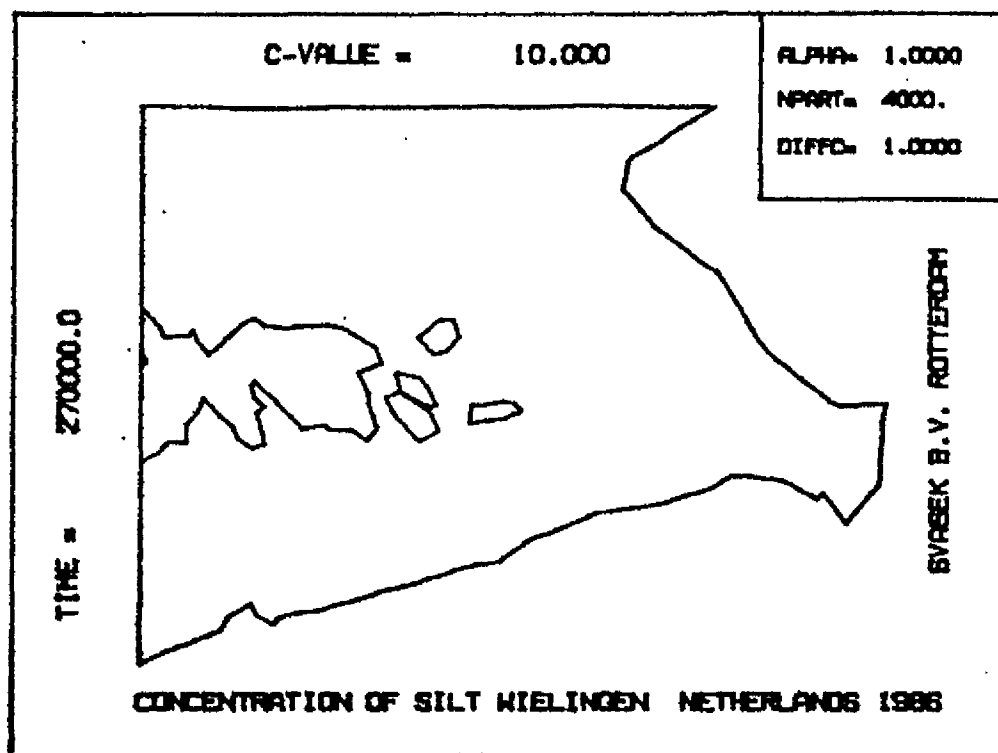


Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 5 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



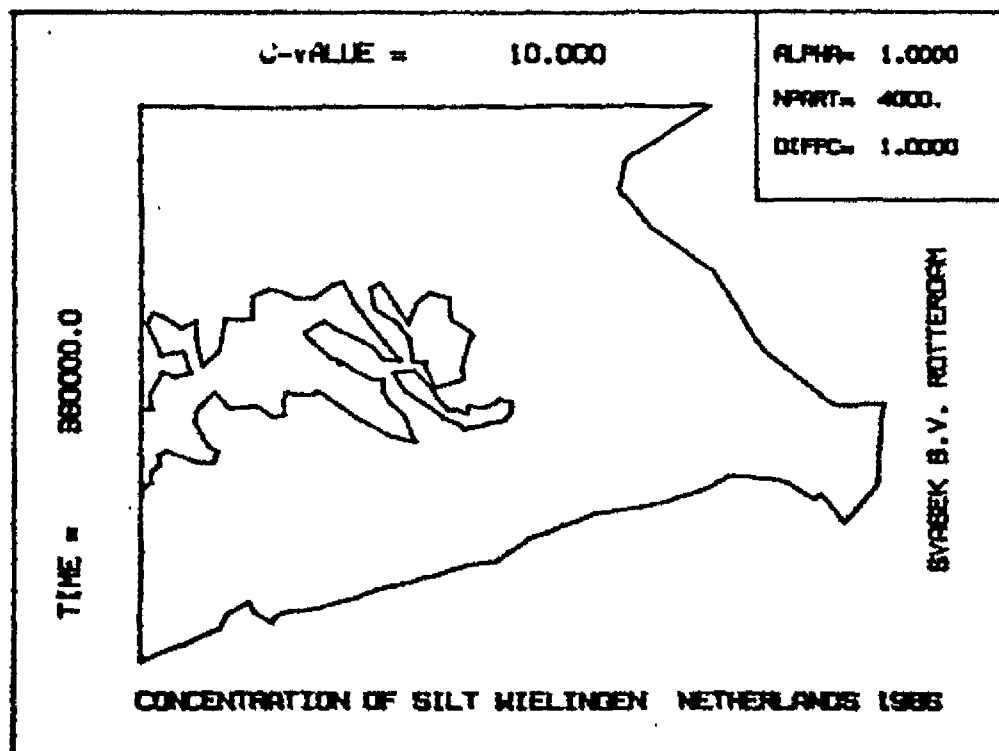
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 5 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



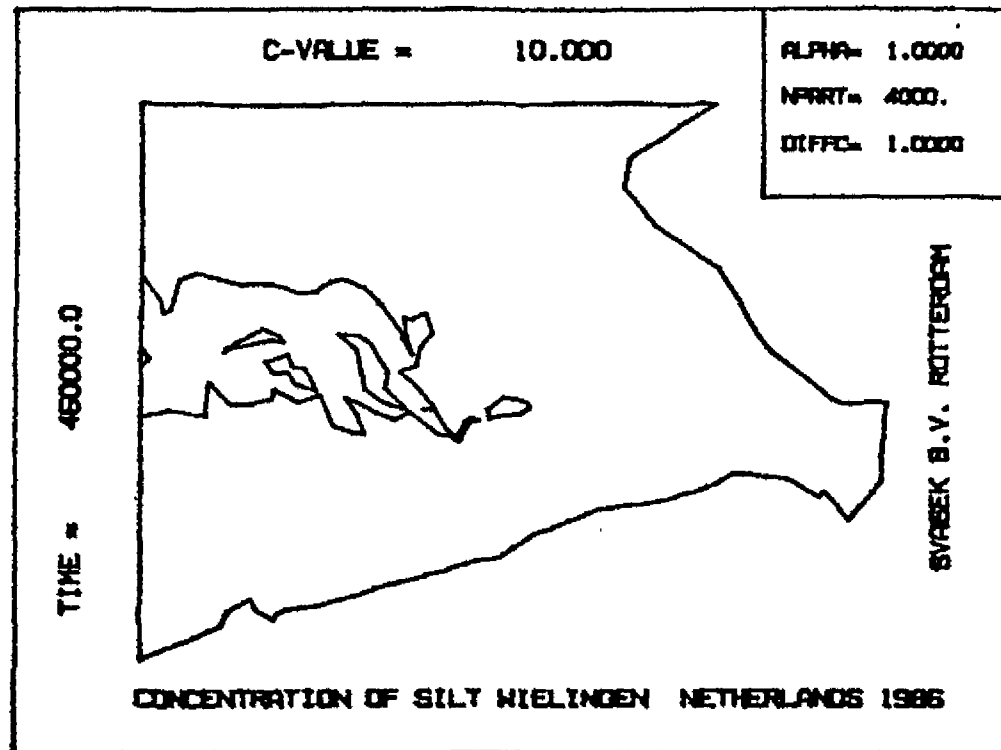
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 6 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



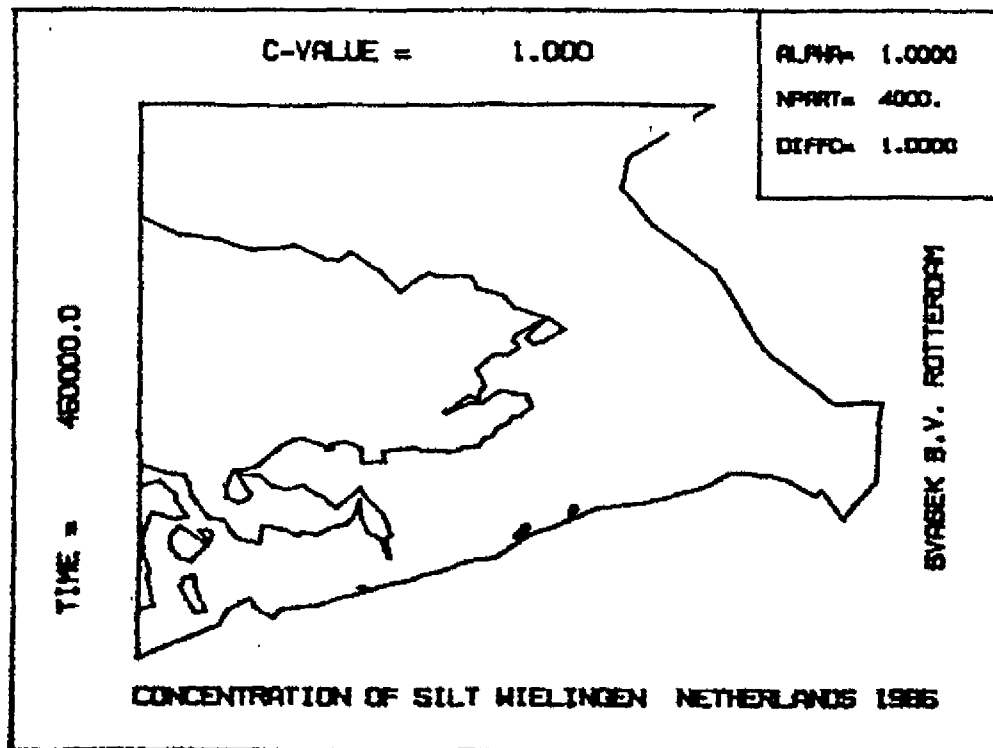
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 8 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

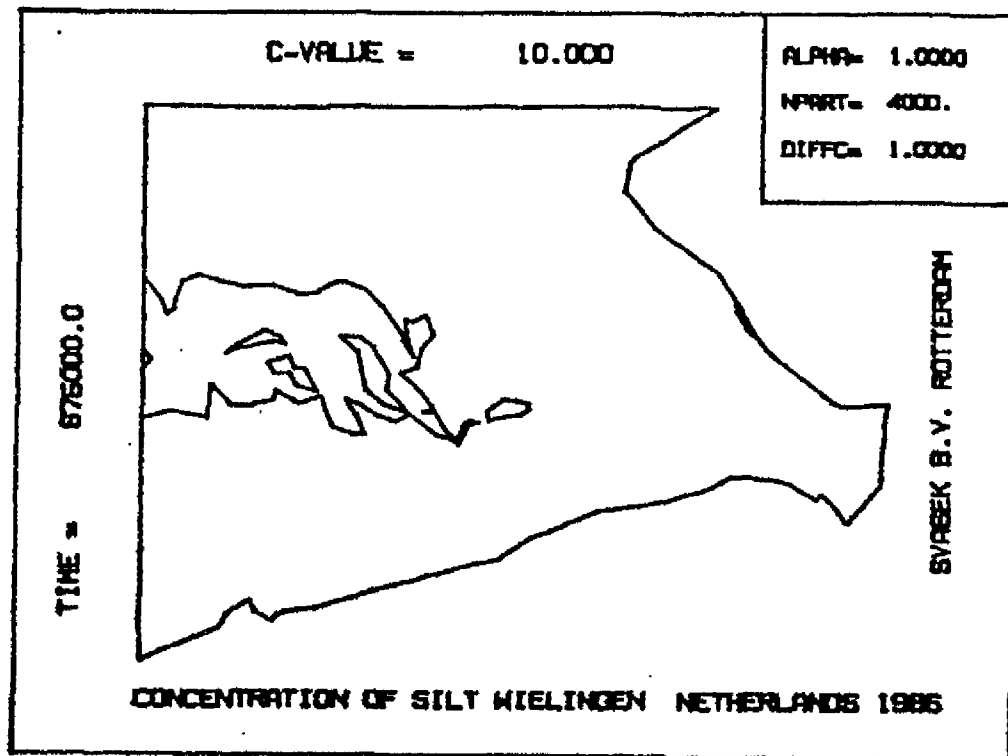


0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 10 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

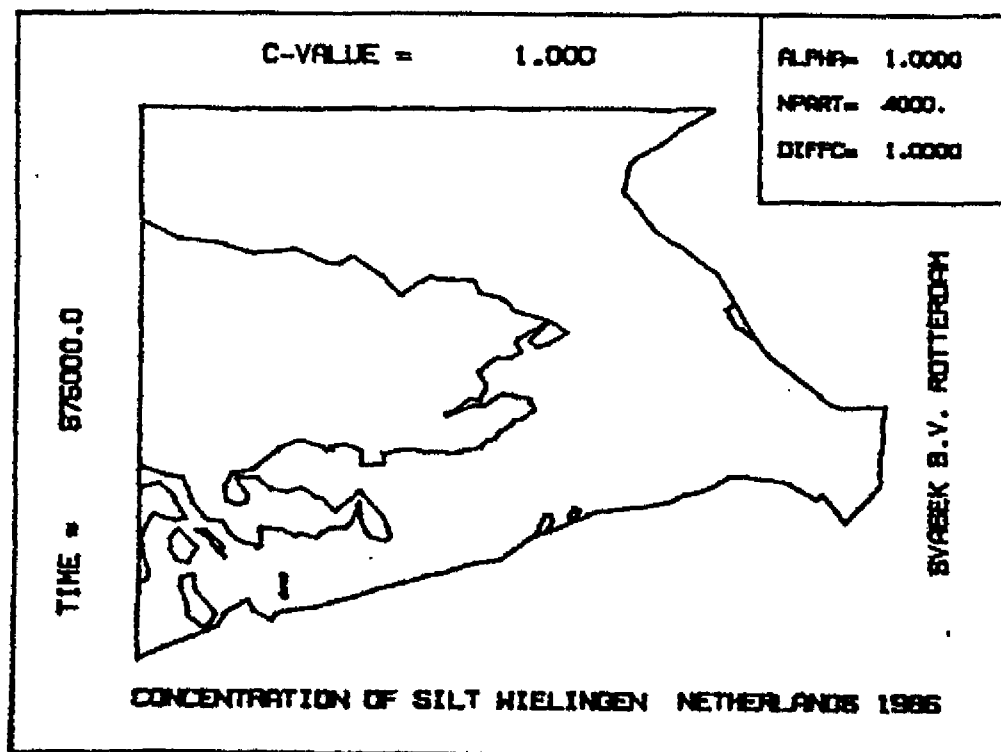


Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
 Concentratie slib 1 g/m³ na 10 getijden
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



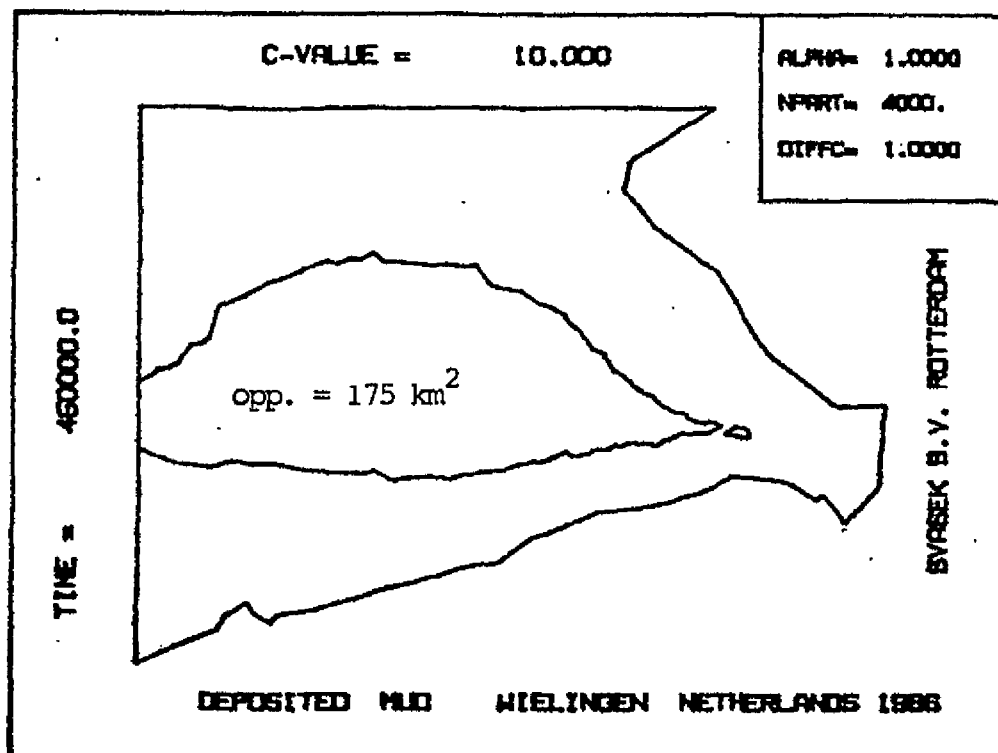
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 15 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



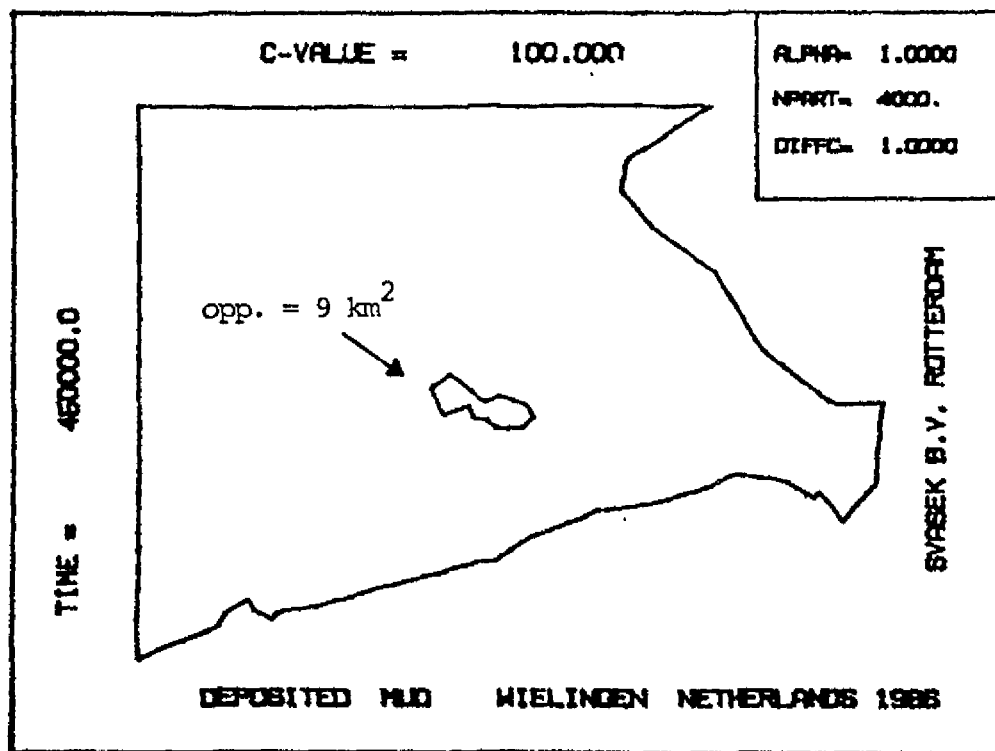
Oppervlak van neergeslagen slib

na 10 getijden : 10 g/m² (laagdikte ca 0.04 mm)

einde lozing : ca 375 g/m² (laagdikte ca 1.5 mm)

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie

Neergeslagen slib 10 g/m² na 10 getijden



0 5 10 km

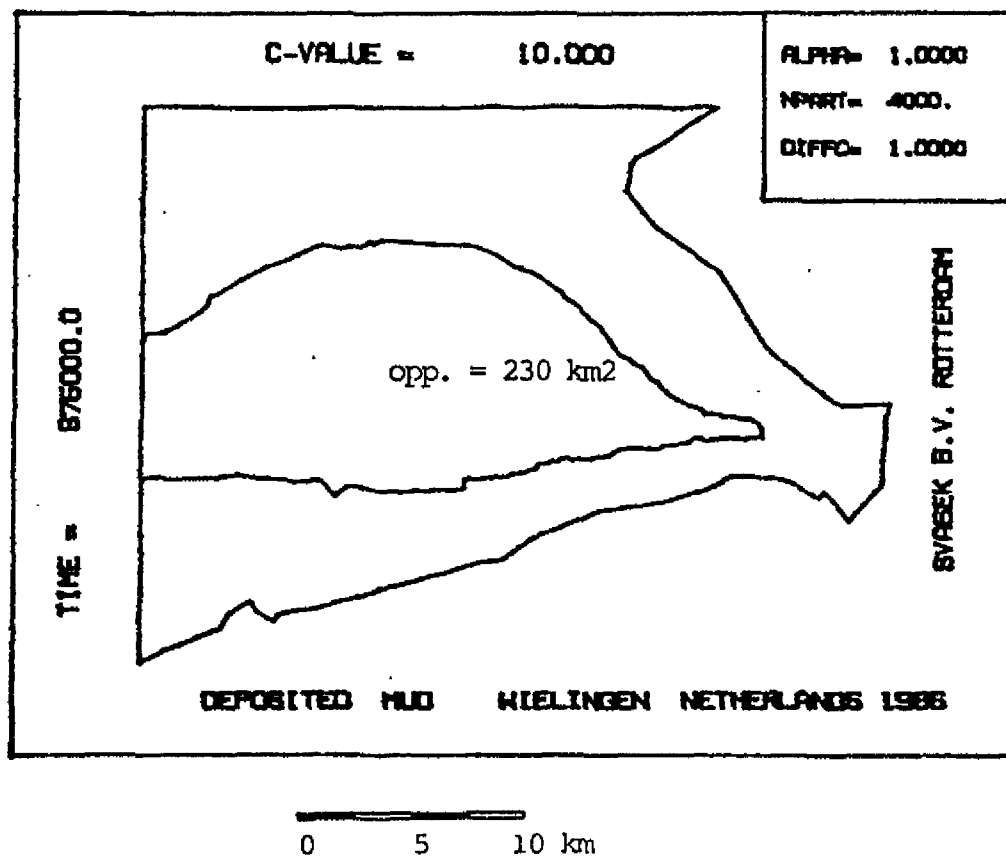
Oppervlak van neergeslagen slib

na 10 getijden : 100 g/m² (laagdikte 0,4 mm)

einde lozing : ca 3750 g/m² (laagdikte 15 mm)

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie

Neergeslagen slib 100 g/m² na 10 getijden



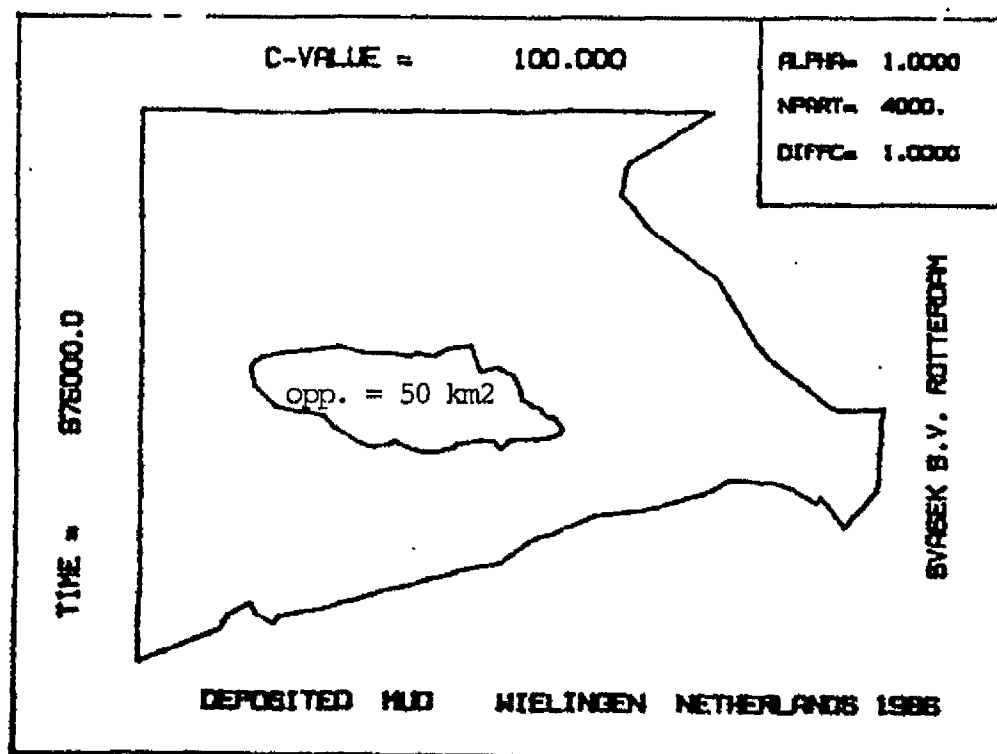
Oppervlak van neergeslagen slib

na 15 getijden : 10 g/m² (laagdikte 0,04 mm)

einde lozing : ca 250 g/m² (laagdikte 1,0 mm)

Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie

Neergeslagen slib 10 g/m² na 15 getijden



0 5 10 km

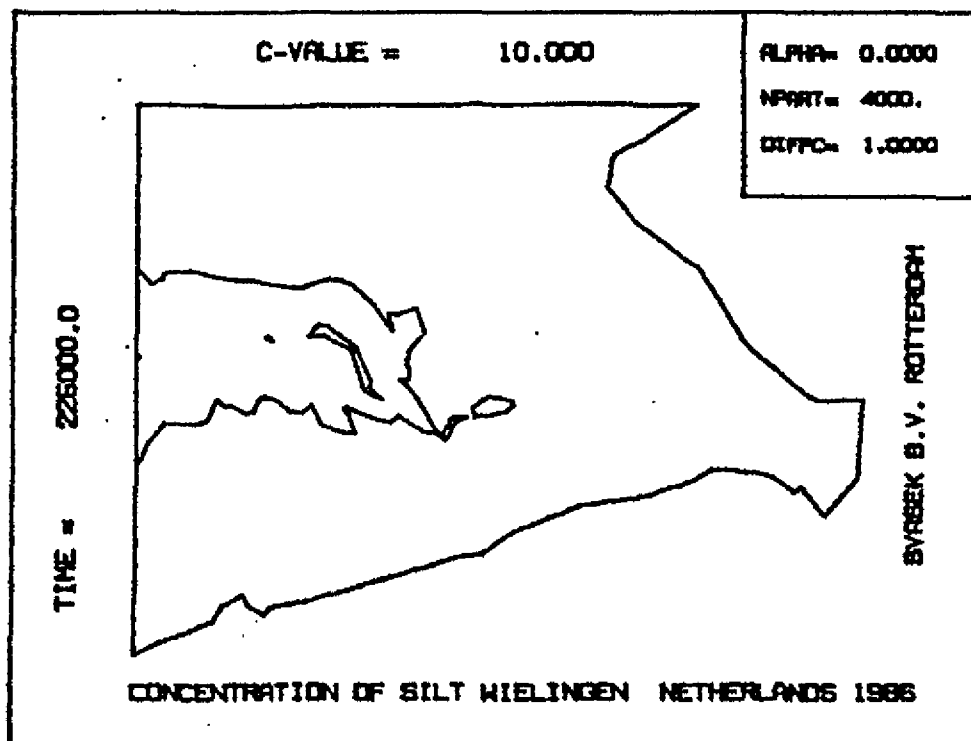
Oppervlak van neergeslagen slib

na 15 getijden : 100 g/m² (laagdikte 0,4 mm)

einde lozing : ca 2500 g/m² (laagdikte 10,0 mm)

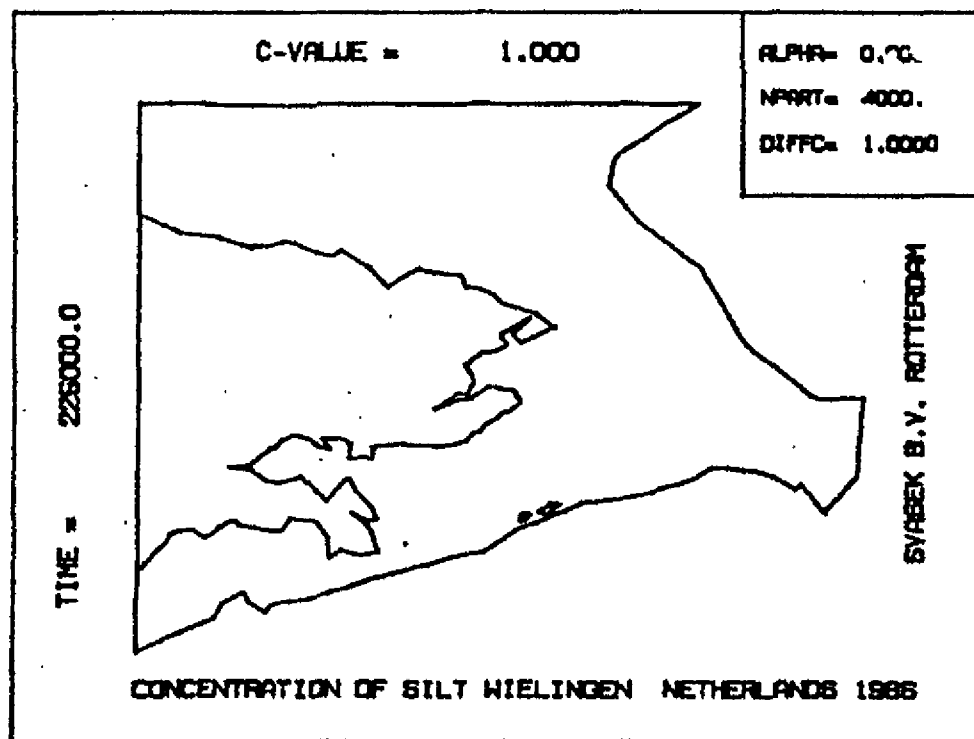
Lozing 75 kg/sec droge stof zonder resuspensie

Neergeslagen slib 100 g/m² na 15 getijden



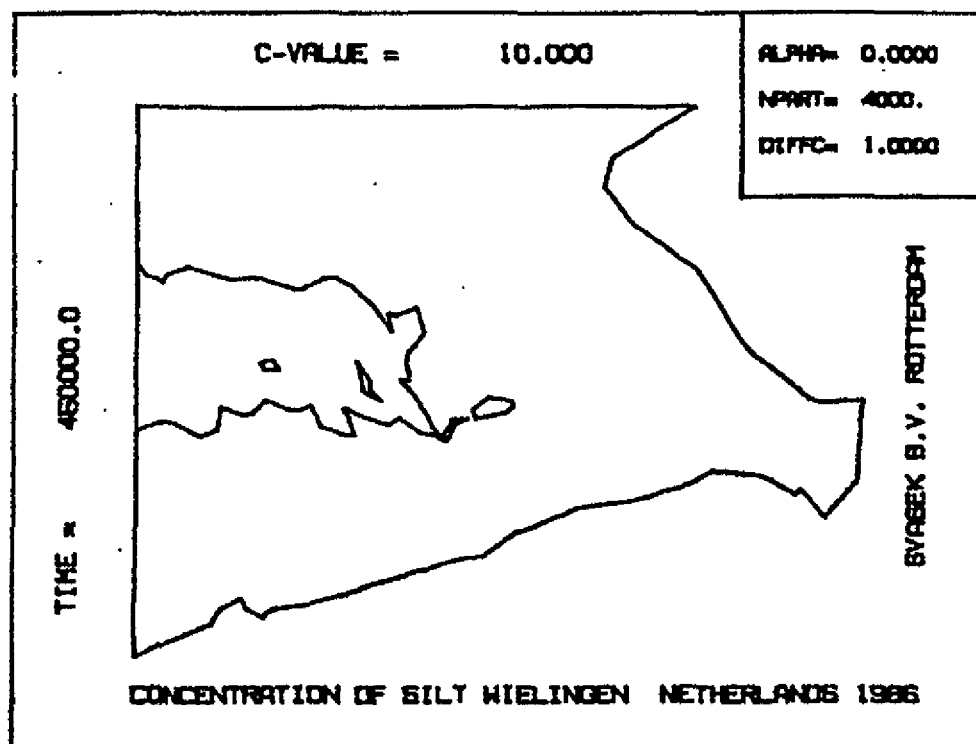
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 5 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

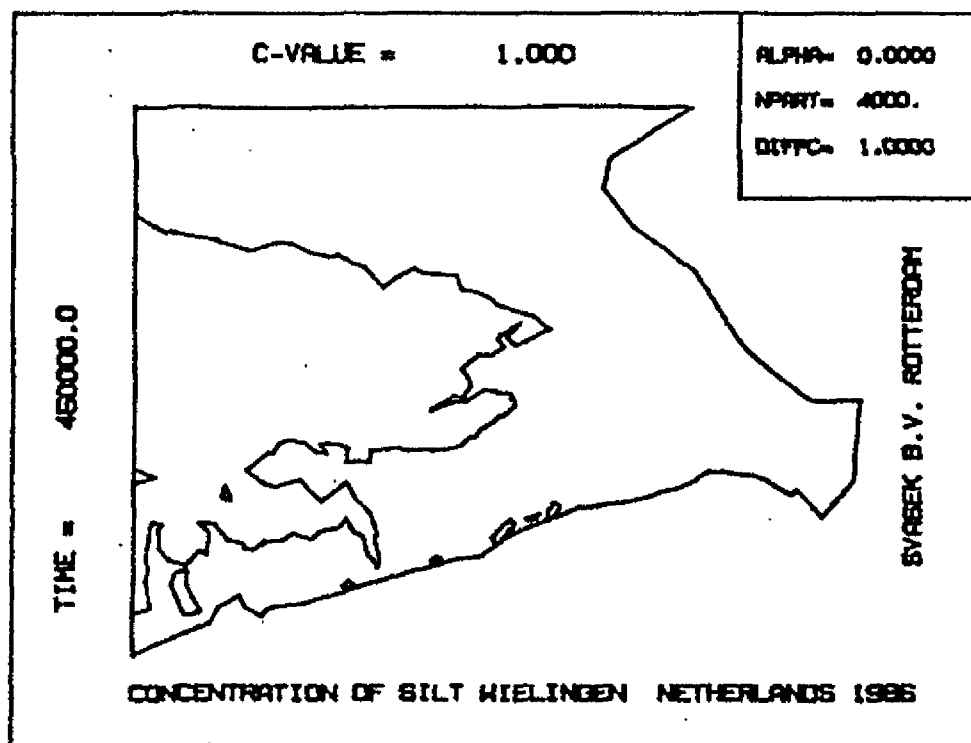


0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 5 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

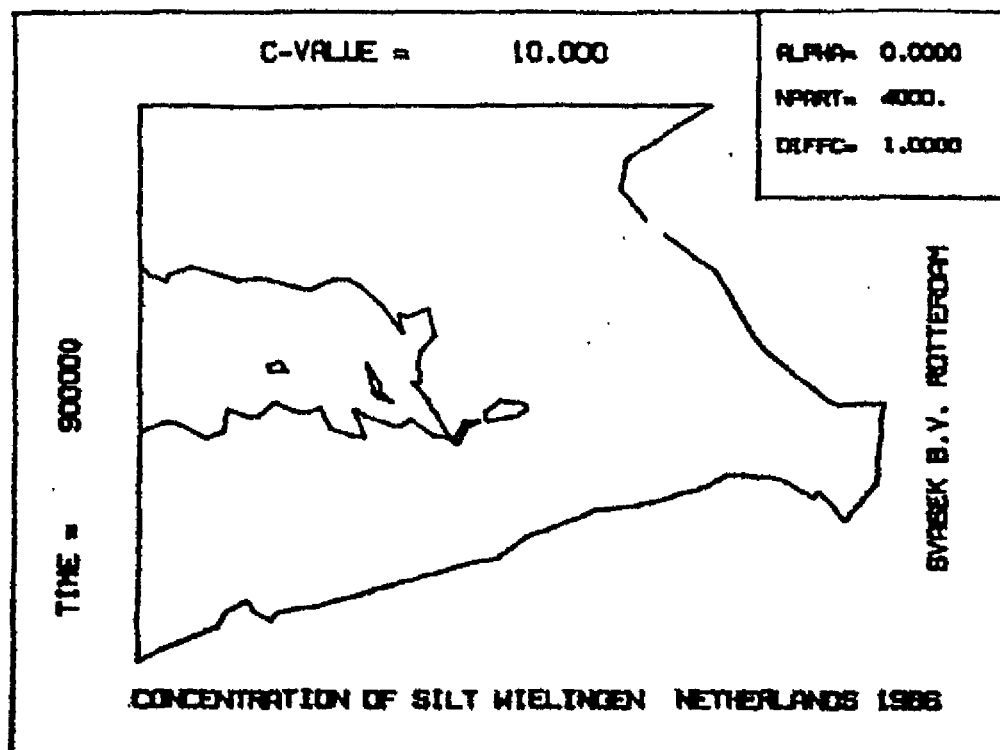


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 10 g/m³ na 10 getijden
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



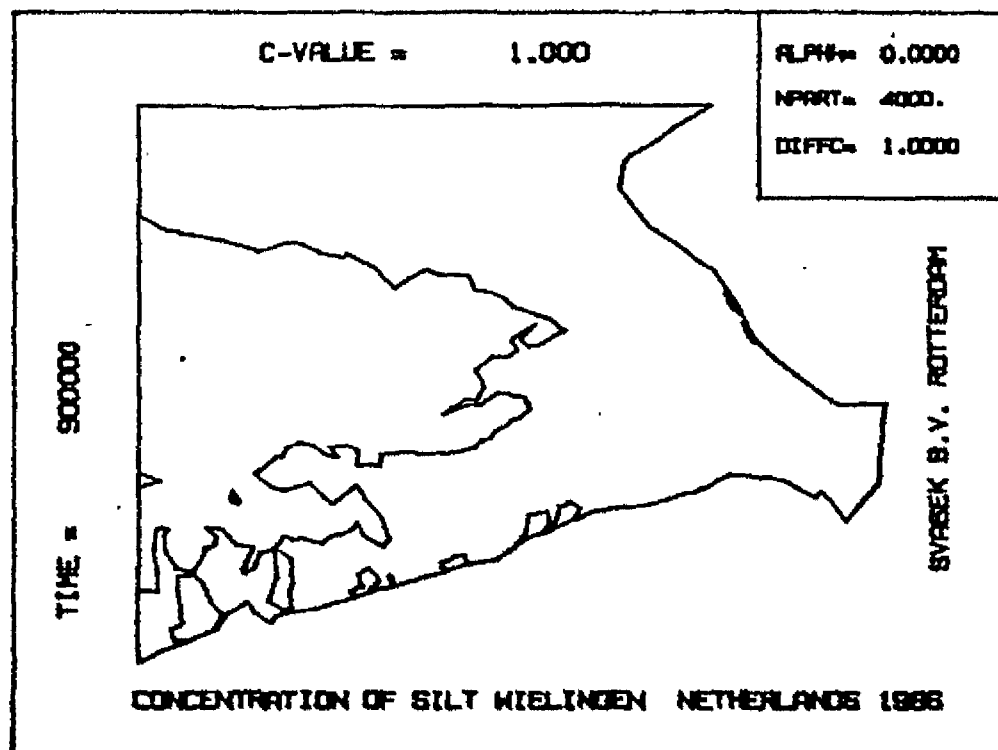
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 10 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



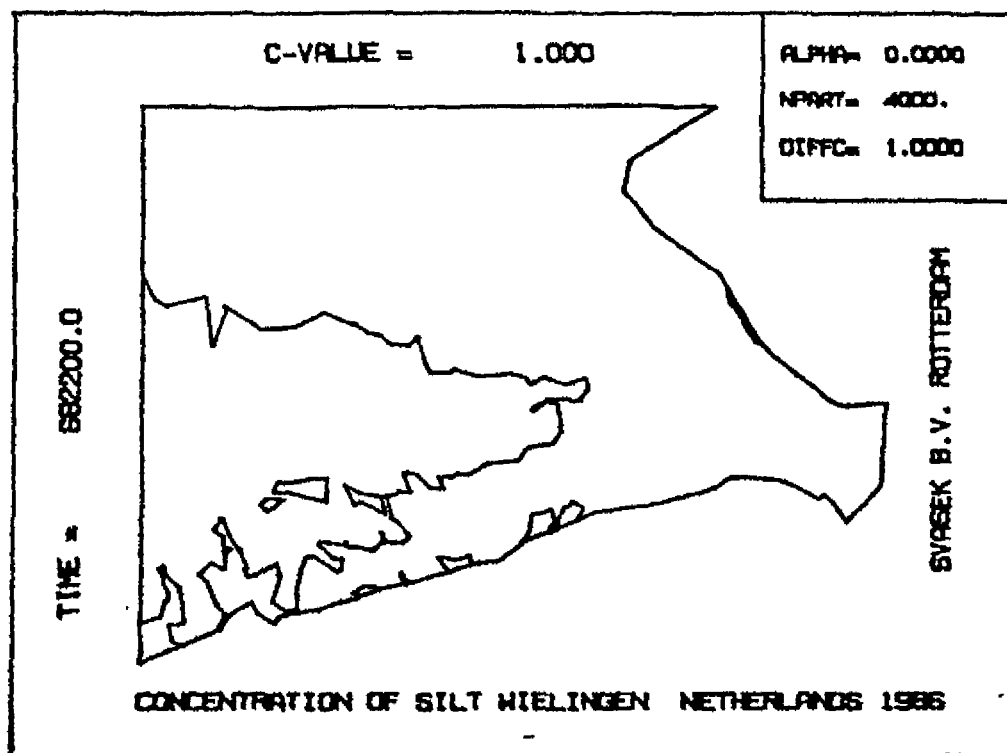
0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 20 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

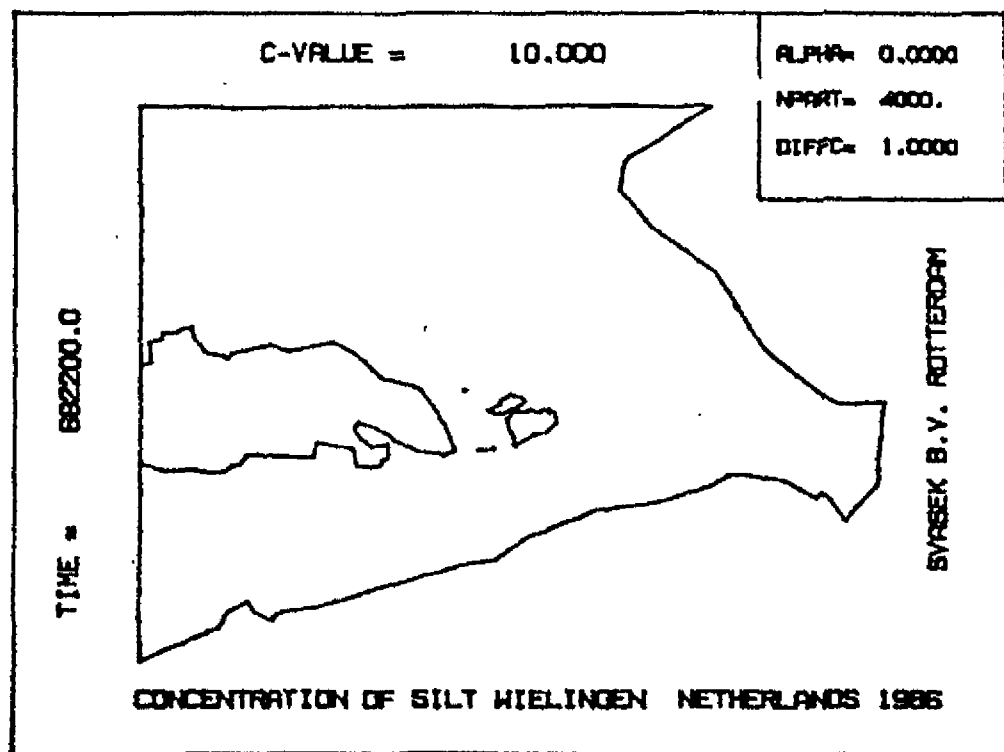


0 5 10 km

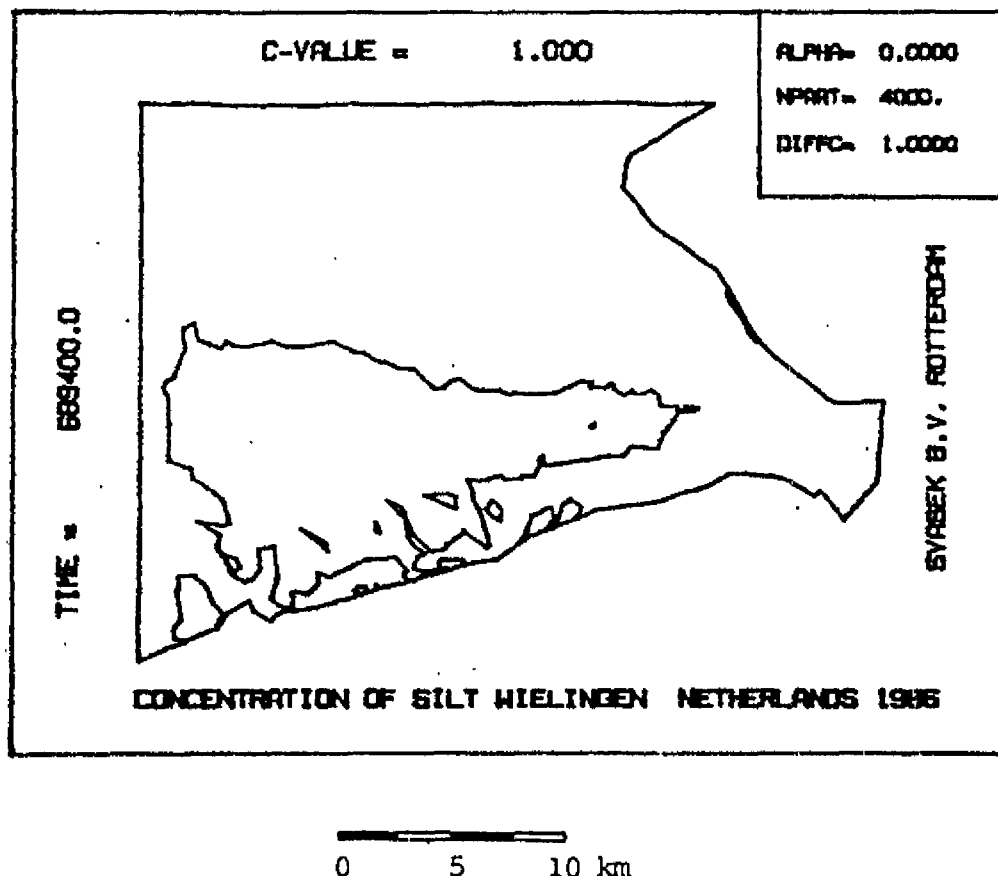
Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 20 getijden
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



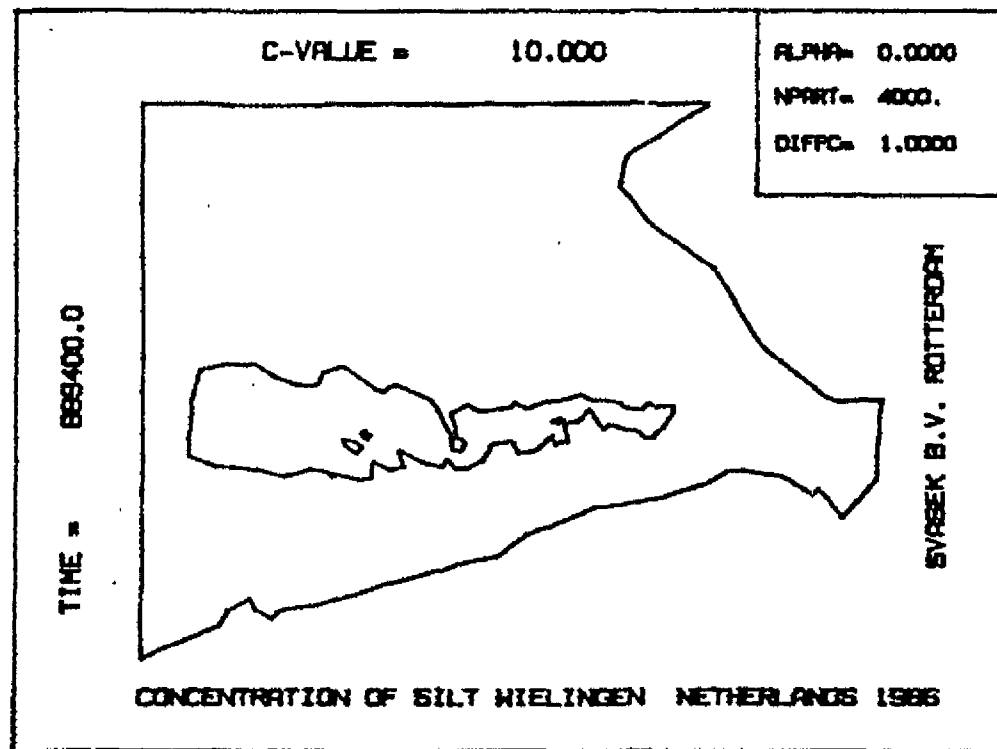
Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 1 g/m³ na 15 getijden en 2 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 2 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

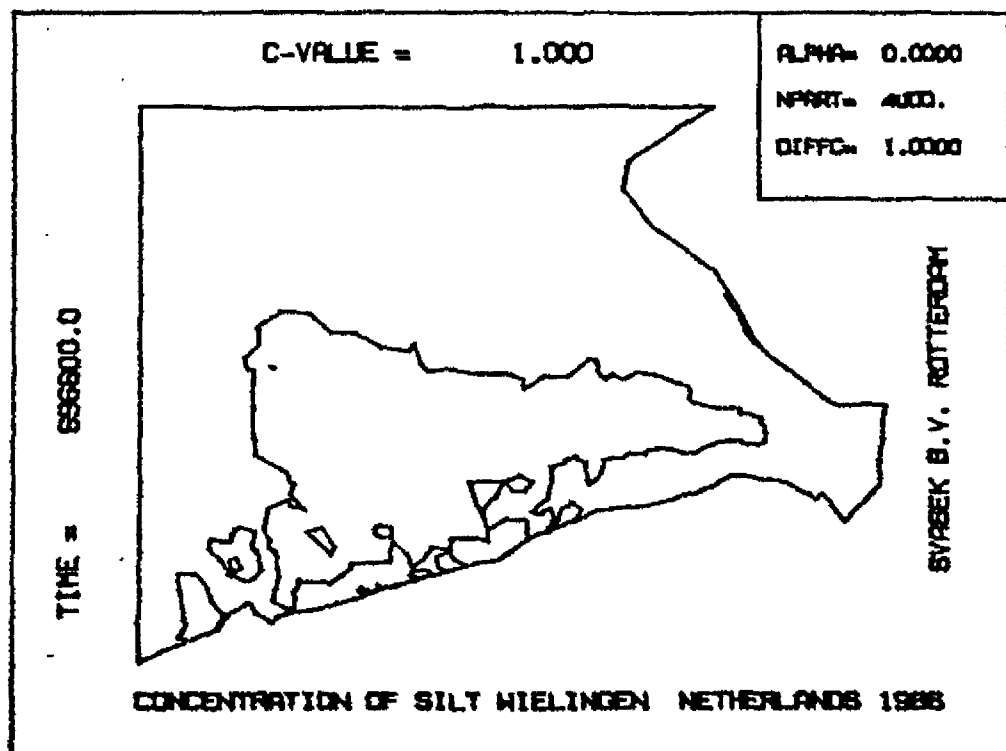


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³ na 15 getijden en 4 uur
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

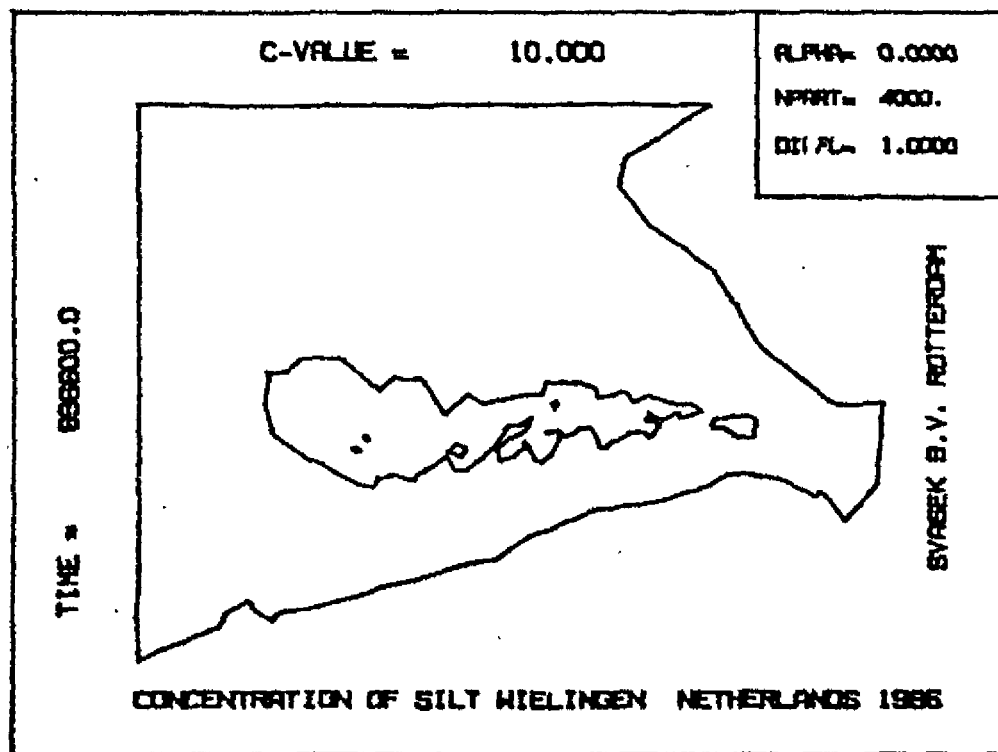


0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 4 uur
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

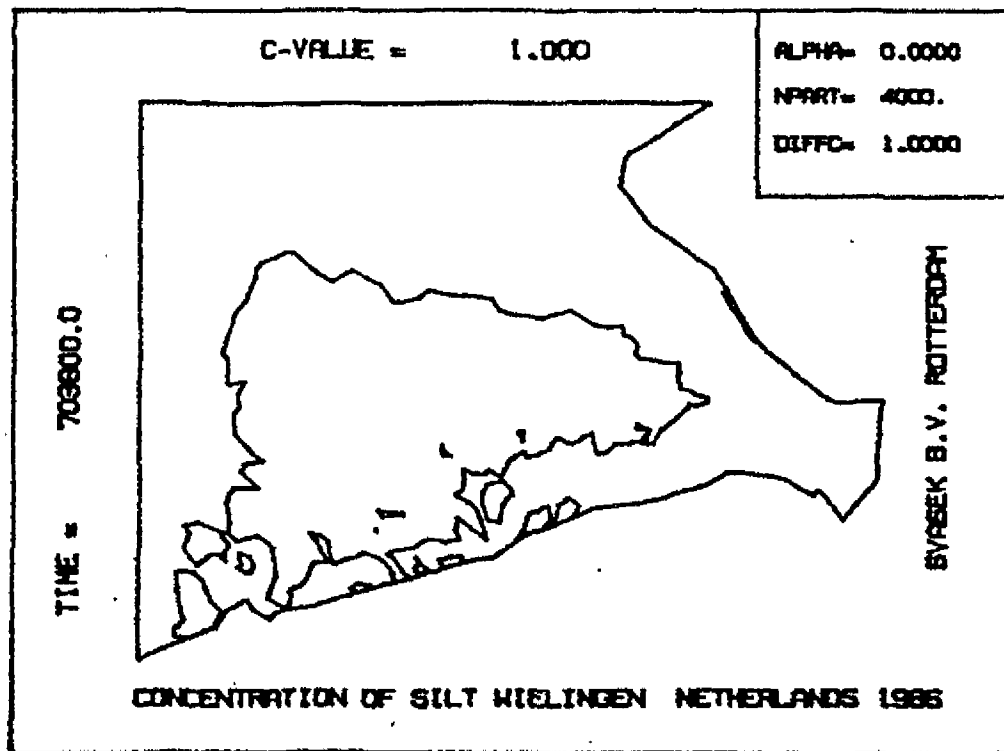


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 1 g/m³ na 15 getijden en 6 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

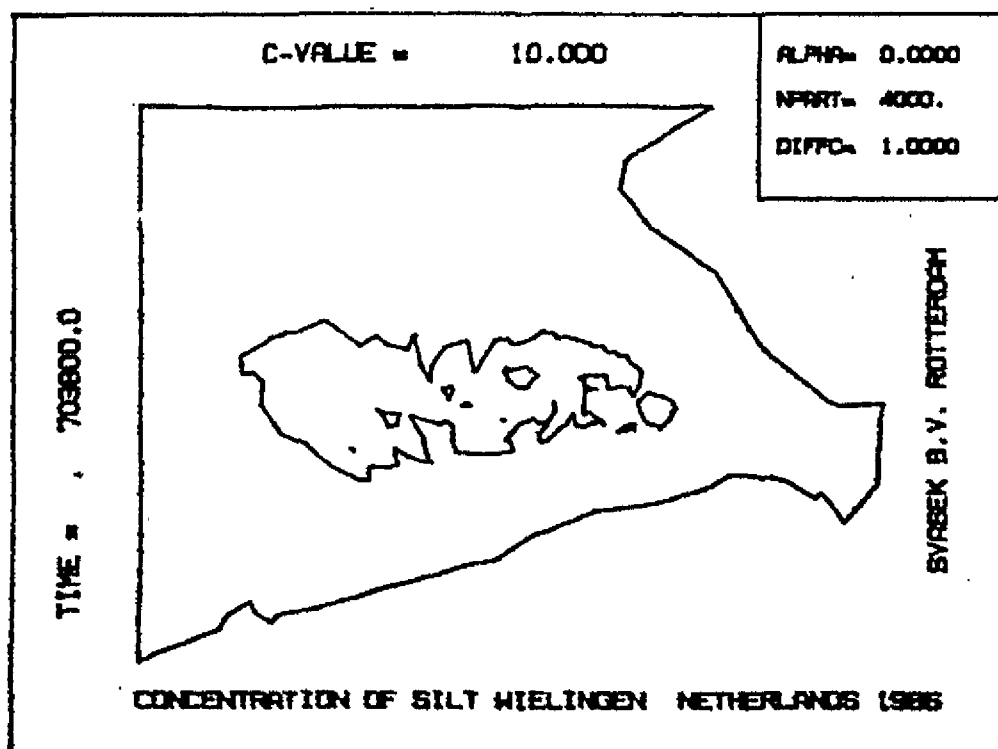


0 5 10 km

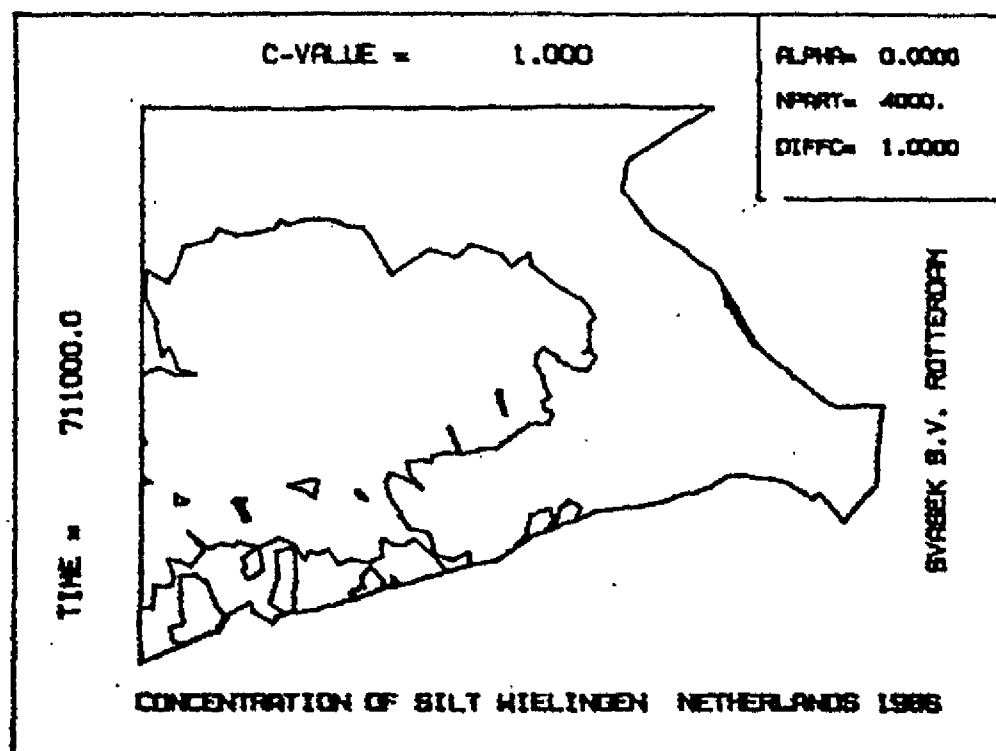
Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 6 uur
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



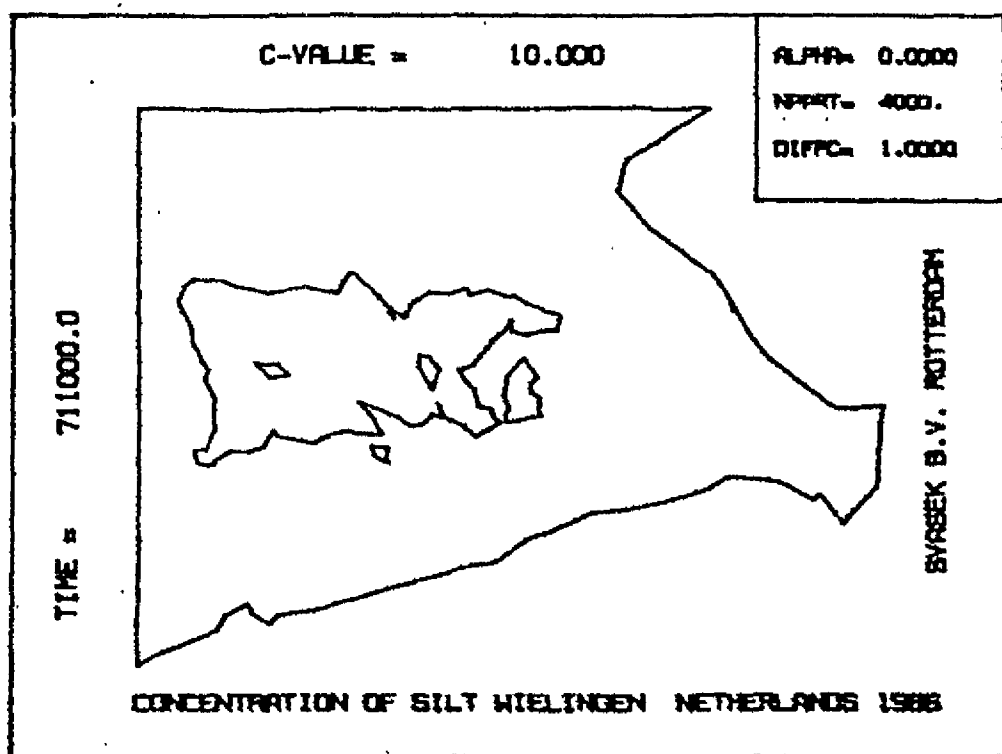
Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 1 g/m³ na getijden en 8 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 8 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

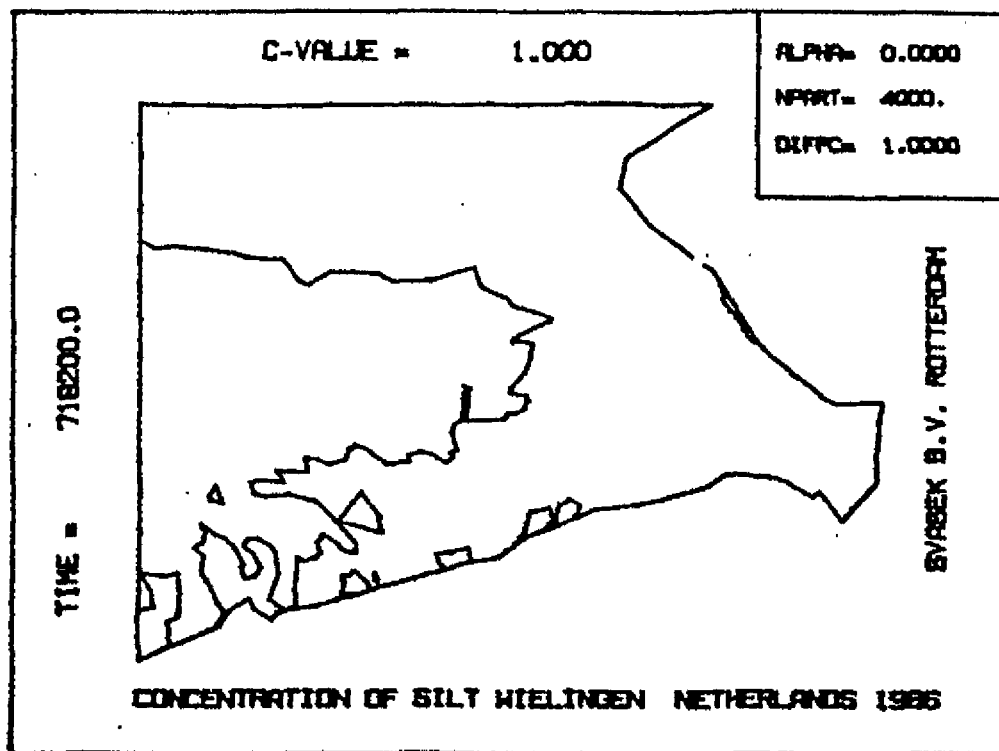


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Contratie slib 1 g/m³ na 15 getijden en 10 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

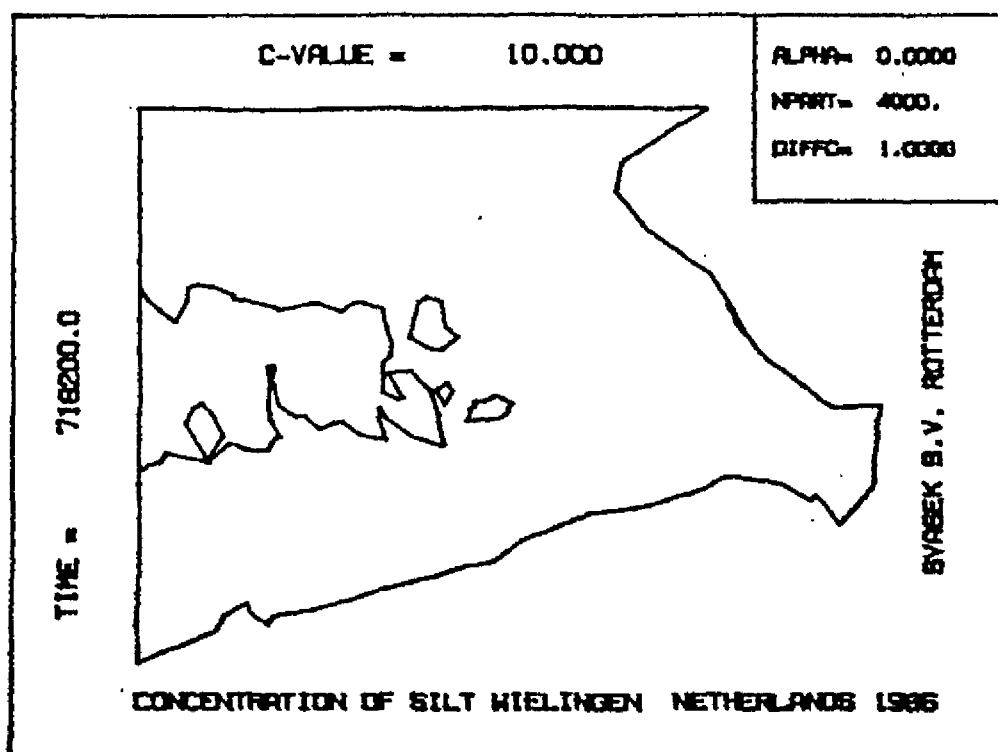


0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 10 uur
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

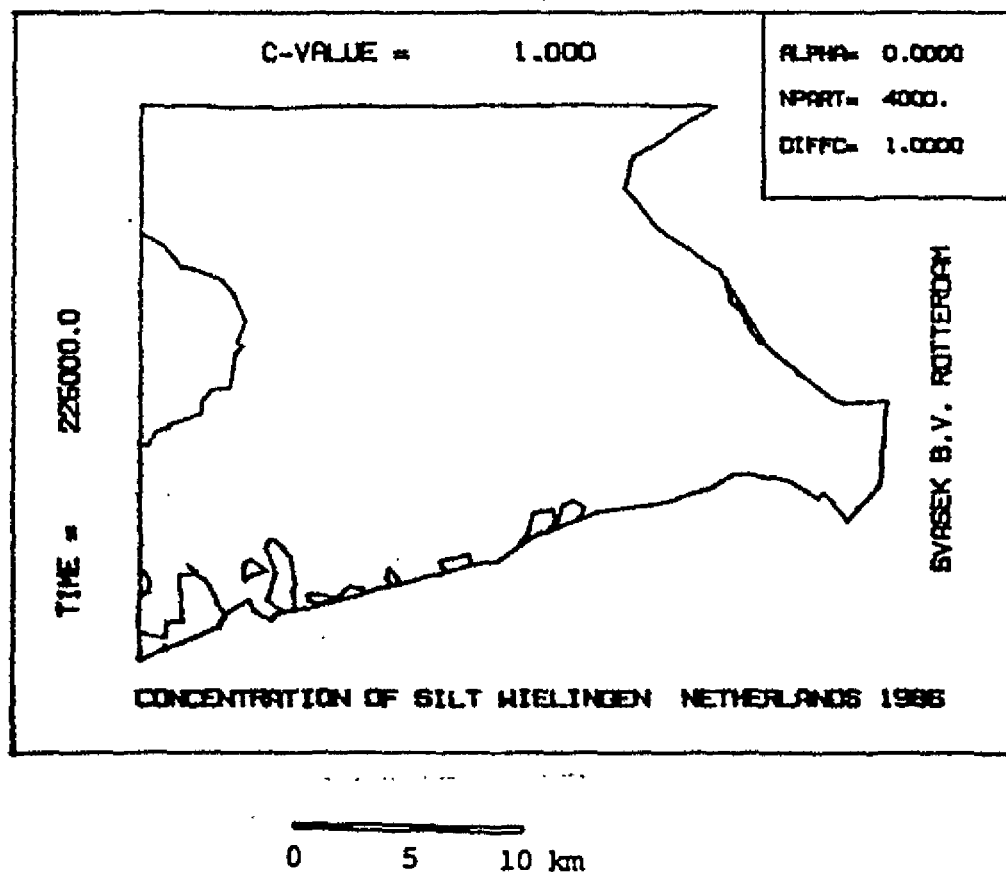


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Concentratie slib 1 g/m³ na 15 getijden en 12 uur
 (verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

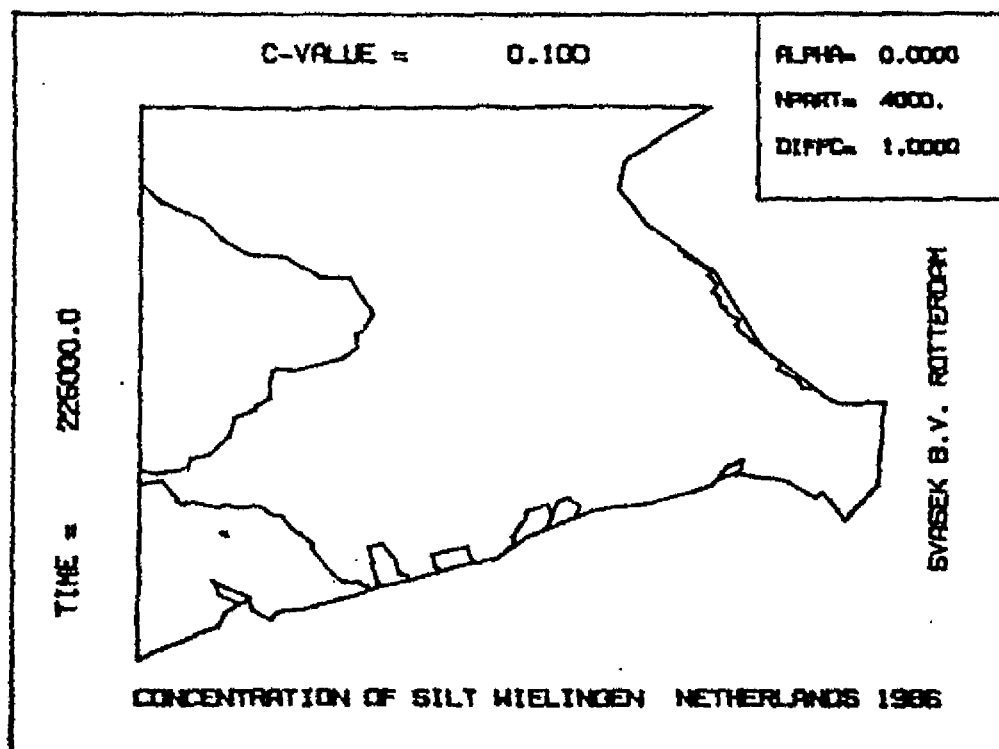


0 5 10 km

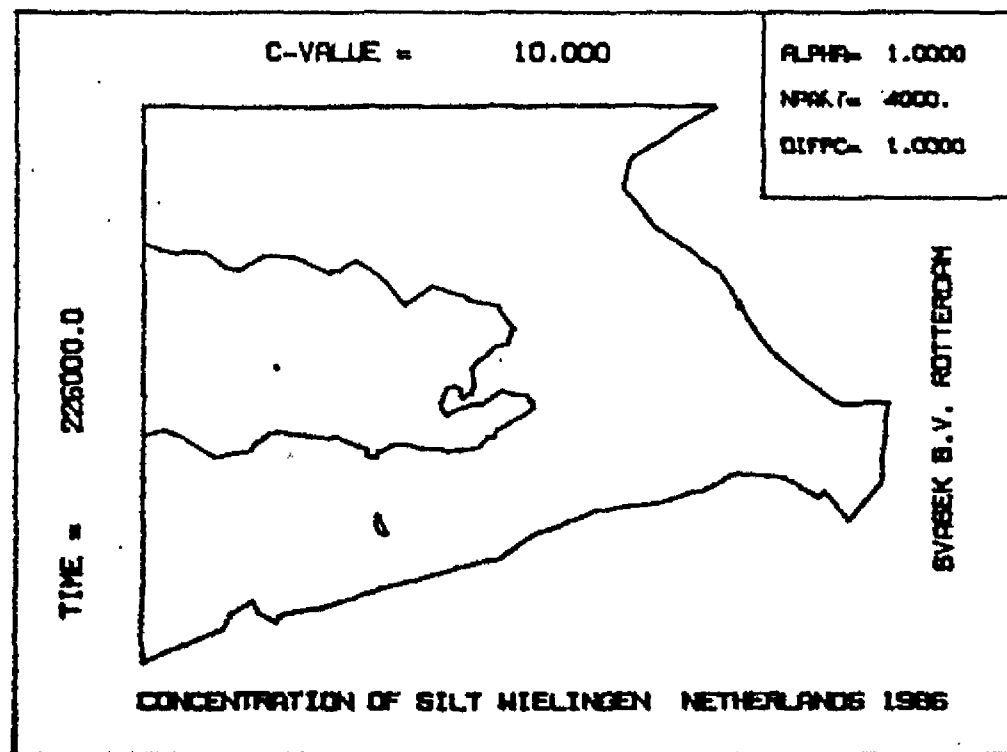
Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 10 g/m³ na 15 getijden en 12 uur
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 1 g/m³, 5 getijden na stopzetting lozing
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

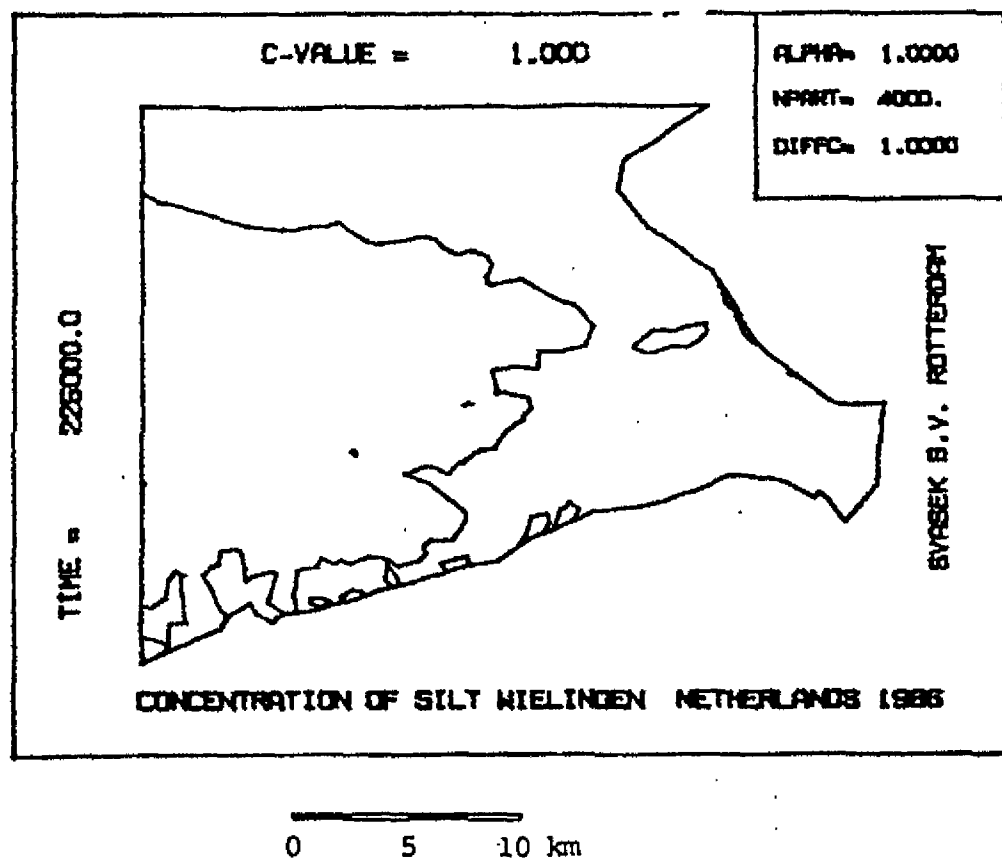


Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Concentratie slib 0,1 g/m³, 5 getijden na stopzetting lozing
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)

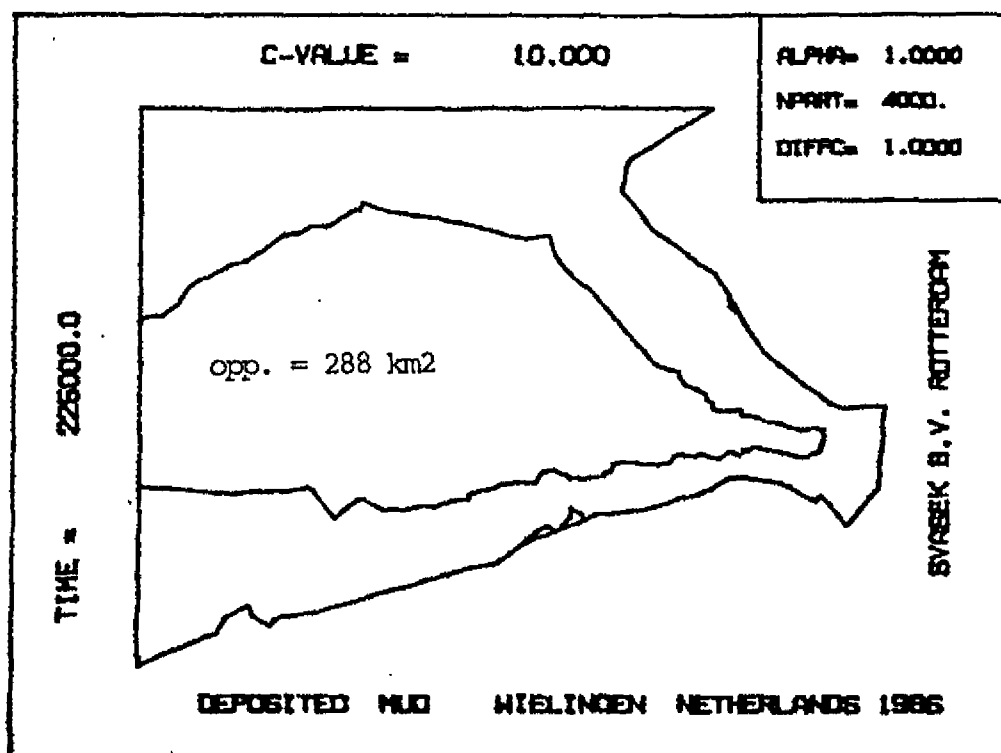


0 5 10 km

Concentratie slib 10 g/m³
na 5 getijden met een lozing van 750 kg/sec
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



Concentratie slib 1 g/m³
na 5 getijden met een lozing van 750 kg/sec.
(verhoging t.o.v. achtergrondslibgehalte)



0 5 10 km

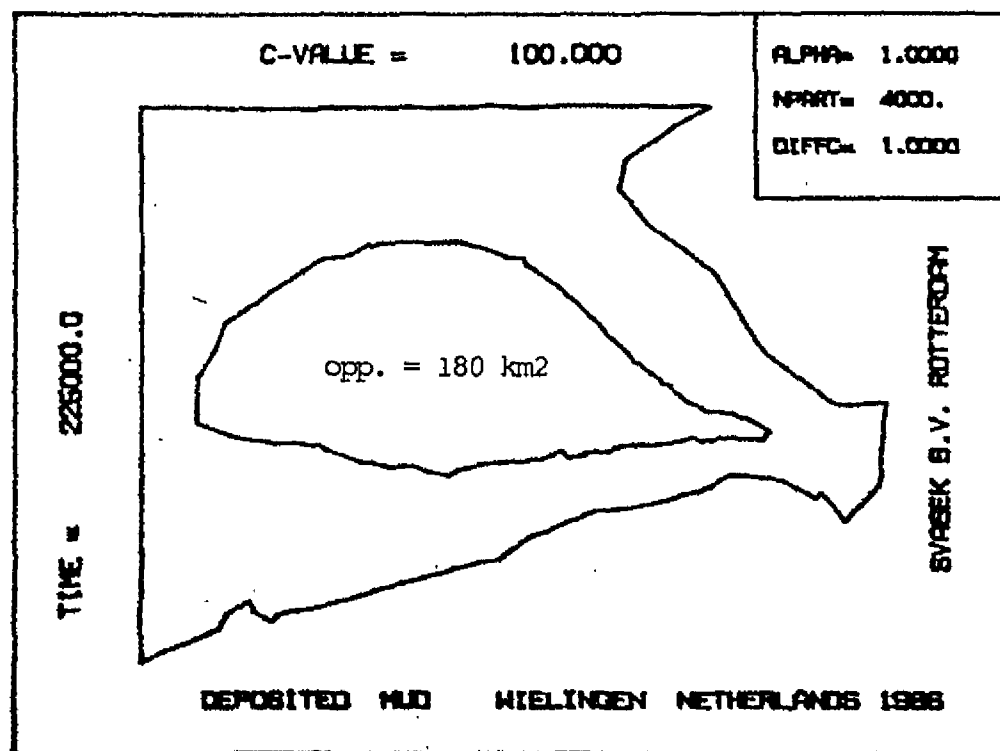
Oppervlak van neergeslagen slib

na 5 getijden : 10 g/m² (laagdikte ca 0,04 mm)

einde lozing : 100 g/m² (laagdikte ca 0,4 mm)

Neergeslagen slib 10 g/m²

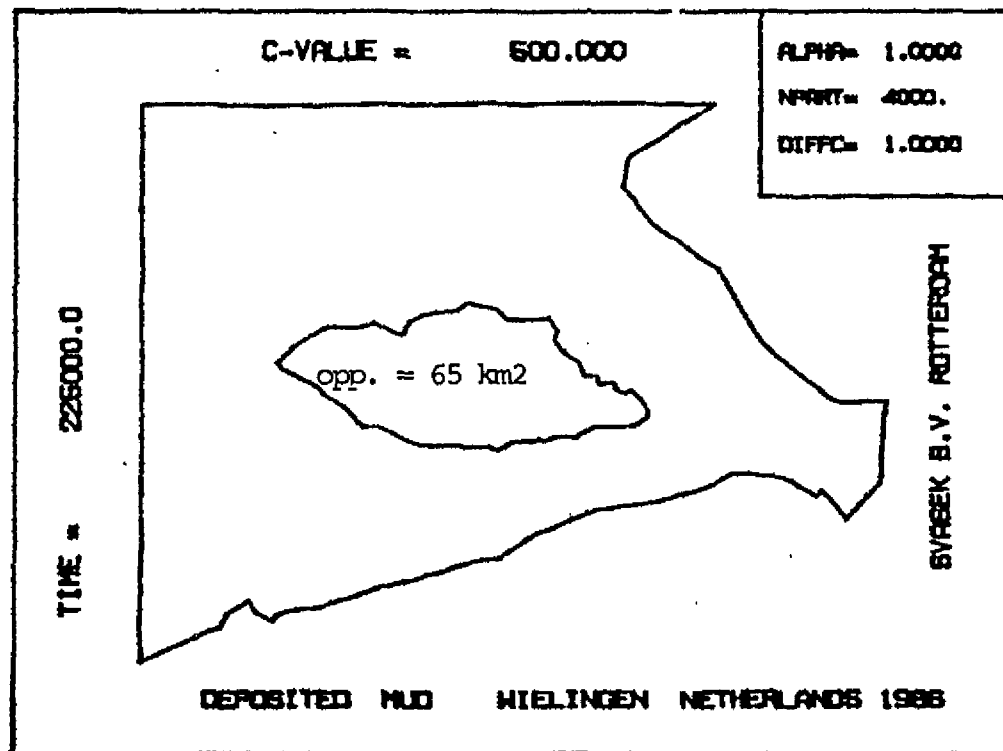
na 5 getijden met een storting van 750 kg/sec.



0 5 10 km

Oppervlak van neergeslagen slib
 na 5 getijden : 100 g/m² (laagdikte ca 0,4 mm)
 einde lozing : 1000 g/m² (laagdikte ca 4mm)

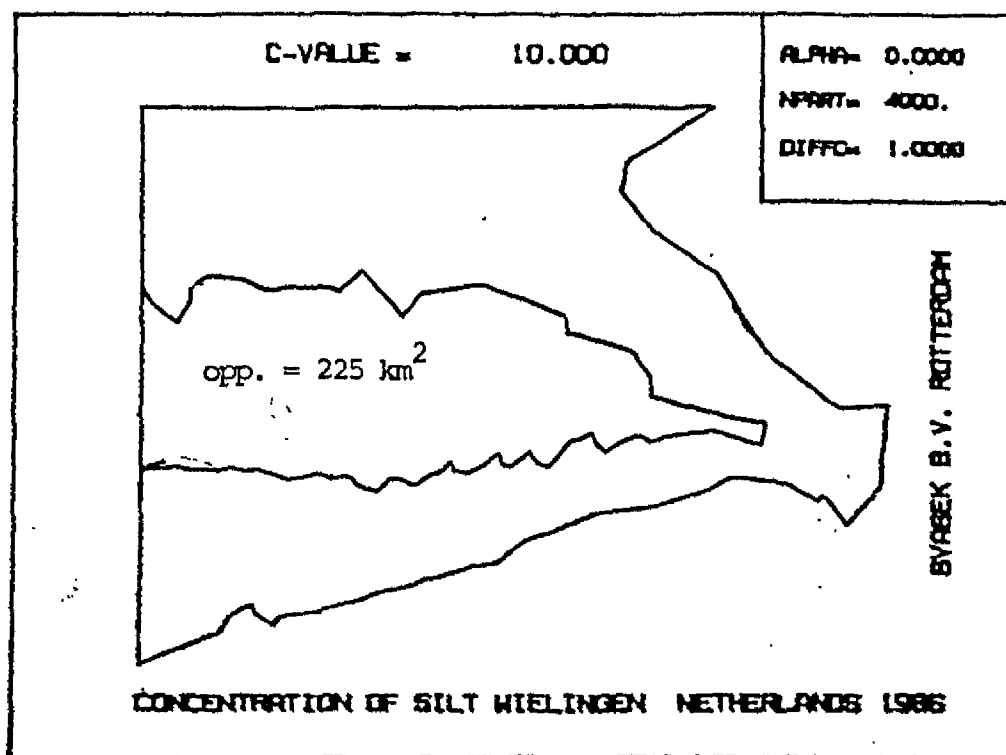
Neergeslagen slib 100 g/m²
 na 5 getijden met een storting van 750 kg/sec.



0 5 10 km

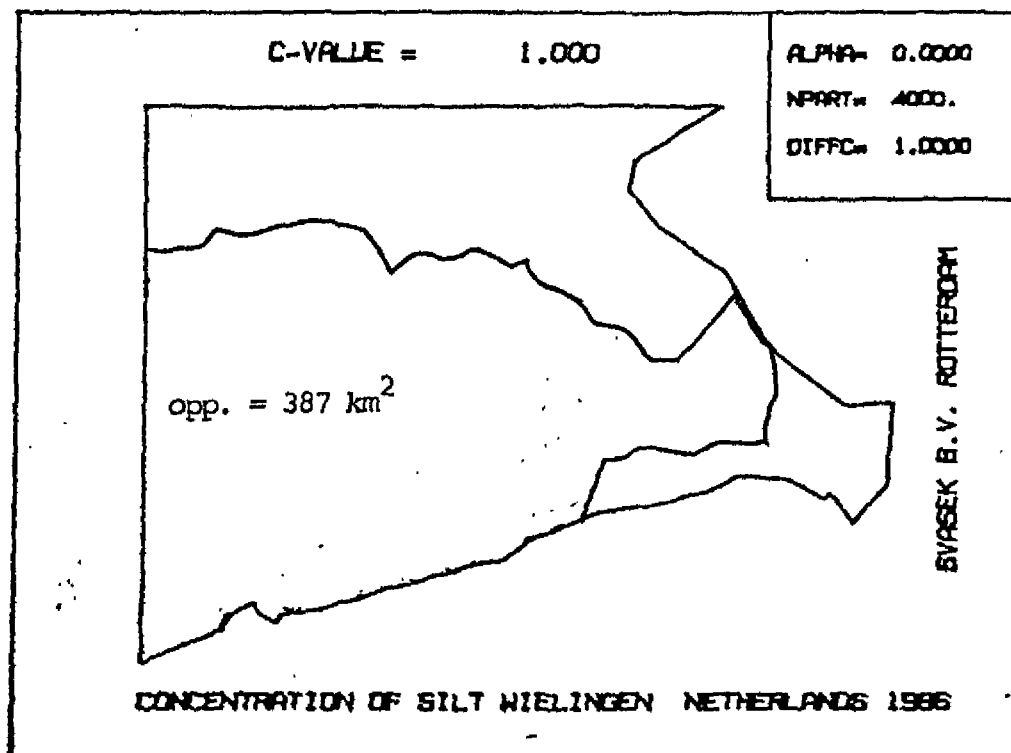
Oppervlak van neergeslagen slib
 na 5 getijden : 500 g/m² (laagdikte ca 2 mm)
 einde lozing : 5000 g/m² (laagdikte ca 20 mm)

Neergeslagen slib 500 g/m²
 na 5 getijden met een storting van 750 kg/sec.



0 5 10 km

Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
Gebied waar in de loop van een getij de verhoging van
de slibconcentratie boven het achtergrondslibgehalte
10 g/m³ bedraagt.



Lozing 75 kg/sec droge stof met volledige resuspensie
 Gebied waar in de loop van een getij de verhoging van
 de slibconcentratie boven het achtergrondslibgehalte
 1 g/m³ bedraagt.

oppervlakte slibdeken x 10 km²

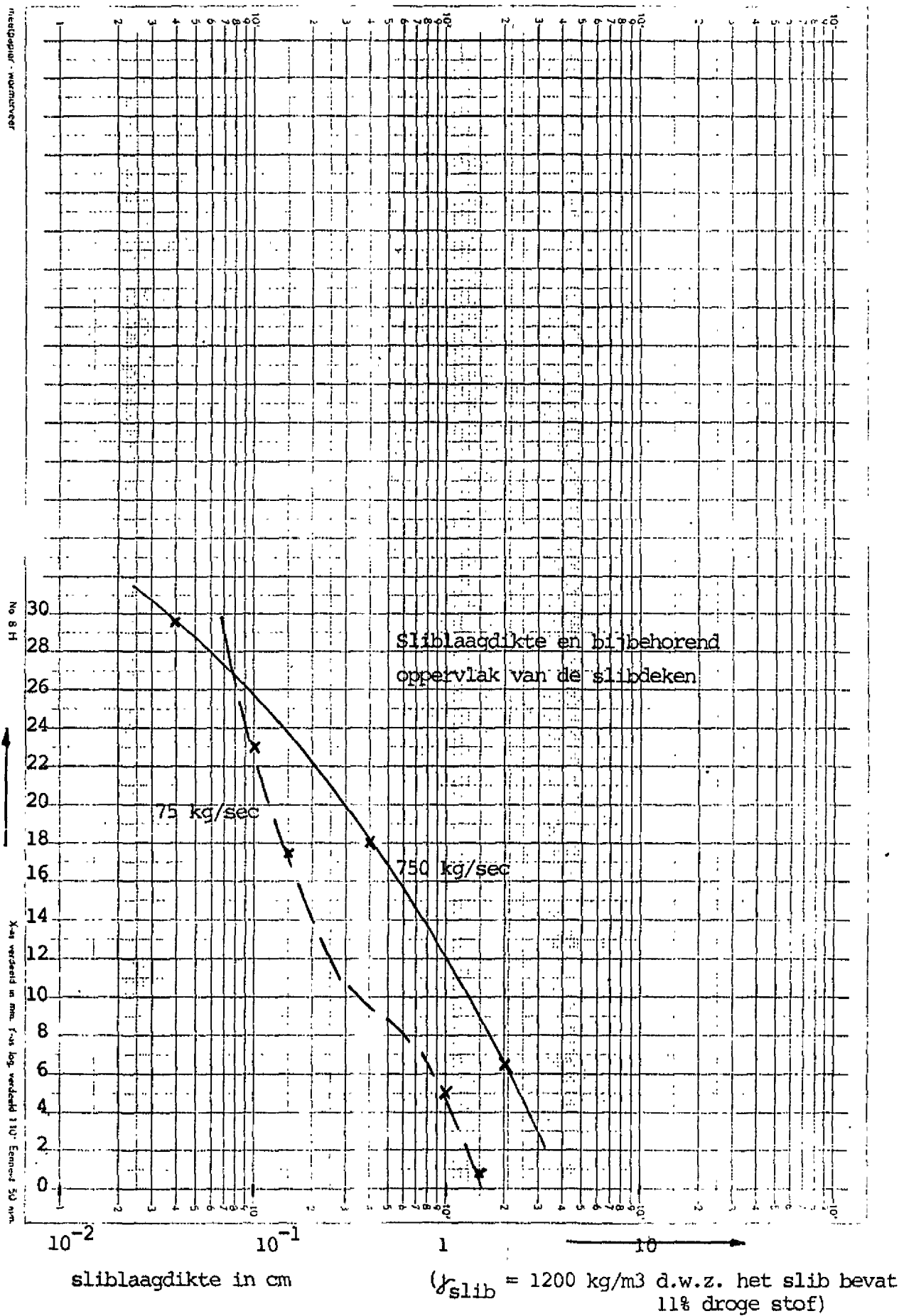


Fig. 6.46

Overzicht van invoer en resultaten van het verspreidingsmodel:

Lozing droge stof <60 μ	Resuspensie	Afbraak	Opp. slibwolk		Opp. slibdeken na afloop lozing	Dikte slibdeken ($\gamma_{\text{slib}} = 1,2$)
75 kg/sec	geen	$\alpha = 1$	c = 1 mg/l	190 km ²	230 km ²	1 mm
					175 km ²	1.5 mm
			c = 10 mg/l	90 km ²	50 km ²	10 mm
					9 km ²	15 mm
75 kg/sec	volledig	$\alpha = 0$	c = 1 mg/l	200 km ²	-	-
			c = 10 mg/l	100 km ²	-	-
750 kg/sec	geen	$\alpha = 1$	c = 1 mg/l	300 km ²	288 km ²	0.4 mm
			c = 10 mg/l	150 km ²	180 km ²	4 mm
					65 km ²	20 mm
na 5 getijden:						
na einde lozing	volledig	$\alpha = 0$	c = 1 mg/l	45 km ²	-	-
75 kg/sec			c = 10 mg/l	0 km ²	-	-