

Ribbelpatronen en zandtransporten in de Westerschelde.

Een bundeling van een drietal morfologische studies uitgevoerd door studenten fysische geografie (Rijksuniversiteit Utrecht) als stageopdracht voor de Rijkswaterstaat Directie Zeeland en de Dienst Getijdewateren Middelburg in het kader van het project OOSTWEST.

- Asselman, N.E.M., Morfologische ontwikkeling van het platengebied van Valkenisse in de periode 1972-1986 (44 pag.).
- Ruessink, G., De bodemmorfologie in de geulen van het oostelijk deel van de Westerschelde (53 pag.).
- Kruyt, N.M., Berekende en gemeten zandtransporten over dwarsraaien in de Westerschelde (29 pag.).

Middelburg, Januari 1992

Begeleider: C. Storm (RWS Dienst Getijdewateren)

**MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN HET PLATENGEBIED VAN
VALKENISSE IN DE PERIODE 1972-1986**

N.E.M. Asselman

Oktober 1991

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	3
1. INLEIDING	4
2. WERKWIJZE	6
2.1. Inleiding	6
2.2. Luchtfoto interpretatie	6
2.3. Digitaliseren	9
3. ONTWIKKELING VAN DE PLATEN VAN VALKENISSE IN DE PERIODE 1800 - 1971	11
4. ONTWIKKELING VAN DE PLATEN VAN VALKENISSE IN DE PERIODE 1972 - 1986	16
4.1. Bagger- en stortactiviteiten	16
4.1.1. De geschiedenis van het baggeren en het storten	16
4.1.2. De effecten op de morfodynamiek	16
4.2. Hydraulische ontwikkeling	19
4.2.1. Ontwikkeling van het verticale getij	19
4.2.2. Ontwikkeling van het horizontale getij	20
4.3. Morfologische ontwikkeling: luchtfoto interpretatie	23
4.3.1. Inleiding	23
4.3.2. De macromorfologie	24
4.3.3. De micromorfologie	35
4.3.4. Fouten discussie	38
4.4. Verbanden en relaties tussen baggeractiviteiten, hydrodynamiek en morfologie .	39
4.4.1. Effecten op de macromorfologie	39
4.4.2. Effecten op de micromorfologie	40
5. CONCLUSIES	42
LITERATUURLIJST	44

LIJST VAN FIGUREN

Fig. 1.1	Ligging van het gebied	5
Fig. 2.1	Indeling van de micromorfologie in 7 eenheden	6
Fig. 2.2	Verband tussen de vorm van de ribbel en de relatieve ruwheid	8
Fig. 3.1	Overzichtskaartjes van 1800 t/m 1971	13
Fig. 4.1	Ligging van de bagger- en stortlokaties	18
Fig. 4.2	Ligging van de debietraaien	20
Fig. 4.3	Meerjarig verloop van de maximale stroomsnelheden in eb- en vloedgeulen	22
Fig. 4.4	Micromorfologische opnamen	25
Fig. 4.5	Dieptelijnen kaartjes	27
Fig. 4.6	Omtrek van de platen	29
Fig. 4.7	Ligging van de hoogterraaien	32
Fig. 4.8	Grafische weergave hoogterraaien	33

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1	Gegevens met betrekking tot gebruikte luchtfoto's	6
Tabel 4.1	Bagger en stortgevens per lokatie van 1895 t/m 1987	19
Tabel 4.2	Getijkarakteristieken van de geulen in de debietraaien (herleid naar gemiddeld getij)	21
Tabel 4.3	Oppervlakten per jaar per eenheid	36

VOORWOORD

De studie met betrekking tot de micro- en macromorfologische ontwikkeling van het platengebied van Valkenisse is verricht gedurende mijn stageperiode bij Directie Zeeland, Rijkswaterstaat van 1 mei t/m 31 juli 1991. De studie is uitgevoerd in het kader van het project OostWest, waarbij onderzoek wordt verricht naar verschillende aspecten van het oostelijk deel van de Westerschelde.

Voor het totstandkomen van dit verslag is dank verschuldigd aan Ir. F. de Vos en Drs. C. Storm voor hun inzet en begeleiding. G. Bitter wil ik bedanken voor zijn hulp bij het GIS-pakket ARC-info. Tevens gaat mijn dank uit naar alle medewerkers van Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren Middelburg voor de genoten gastvrijheid.

1. INLEIDING

De Westerschelde behoort tot de laatste twee estuaria van Nederland. De Westerschelde wordt gekenmerkt door een meervoudig geulenstelsel met eb- en vloedscharen. Waar de eb- en de vloedscharen bij elkaar komen bevinden zich drempels. Tussen de geulen zijn meerdere plaatgebieden aanwezig. De ontwikkeling van het platen- en geulenstelsel in de Westerschelde is vanaf 1800 op hydrografische kaarten vastgelegd. Reeds voor 1800 zijn de randgebieden van de Westerschelde onder andere door inpoldering sterk door de mens beïnvloed. De geulen en de platen in de Westerschelde worden tot 1900 echter gekenmerkt door een natuurlijke ontwikkeling. Na 1900 wordt ook deze ontwikkeling steeds meer door de mens beïnvloed. Deze verstoring van de natuurlijke ontwikkeling is vooral het gevolg van bagger- en stortwerkzaamheden die vanaf ongeveer 1925 regelmatig plaatsvinden.

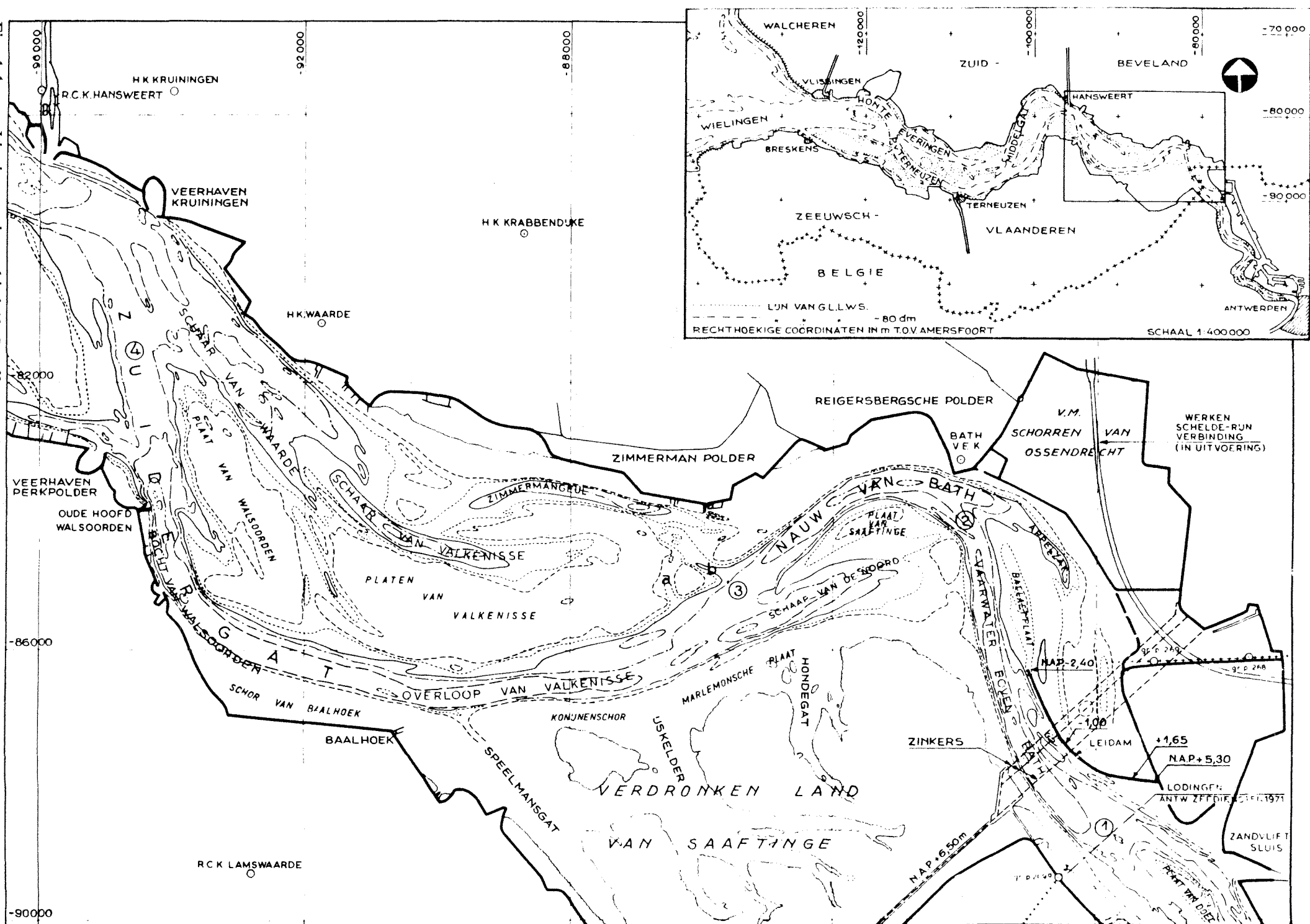
Het doel van deze studie is de ontwikkeling van de micro- en de macromorfologie van het platengebied van Valkenisse voor de periode 1971 - 1986 vast te leggen. Dit platengebied bevindt zich in het oostelijk deel van de Westerschelde (zie het overzichts kaartje in figuur 1.1). De micromorfologie omvat kleinschalige vormen als megaribbels en duinen. De macromorfologie bestaat uit grootschalige vormen zoals het platen- en geulensysteem.

Een tweede doelstelling is het vinden van verbanden tussen de micro- en de macromorfologie en de hydraulica enerzijds en de baggerwerkzaamheden anderzijds.

De ontwikkeling zal worden bepaald met behulp van luchtfoto's van de jaren 1972, 1973, 1983 en 1986, en echolodingen van de jaren 1971, 1973, 1983 en 1986. De luchtfoto's zijn uitgewerkt tot kaartjes waarin de aanwezige micromorfologie en macromorfologie is aangegeven. Om de onderlinge relaties en verbanden aan te kunnen geven, wordt gekeken naar de ontwikkeling van de hydraulische situatie en naar de bagger- en stortactiviteiten in het betreffende gebied.

Fig. 1.1

Ligging van het gebied (de Looft van van Malde, 1976)



2. WERKWIJZE

2.1. Inleiding

De ontwikkeling van de micro- en de macromorfologie is nagegaan aan de hand van een serie luchtfoto's. De luchtfoto's zijn genomen in de jaren 1972, 1973, 1983 en 1986. Een opname van één jaargang bestaat uit meerdere foto's, welke vaak niet allen op het zelfde tijdstip genomen zijn. De belangrijkste gegevens met betrekking tot de opnamen zijn vermeld in tabel 2.1

Tabel 2.1 Gegevens met betrekking tot gebruikte luchtfoto's

jaar	datum	waterstand	getij- verschil	doodtij/springtij	opmerking
1972	16-07-'72	NAP -1.7m	4.38 m	na springtij	
1973	22-02-'73	onbekend	4.85 m	na springtij	
1983	12-03-'83	NAP +0.5m	4.39 m	halftij	zuidrand
	26-04-'83	NAP -2.0m	5.05 m	voor springtij	noordrand
1986	26-02-'86	NAP -0.5m	5.33 m	springtij	zuidrand
	27-02-'86	NAP -1.8m	5.37 m	springtij	noordrand

2.2. Luchtfoto interpretatie

De micromorfologie is onderverdeeld in zeven eenheden.

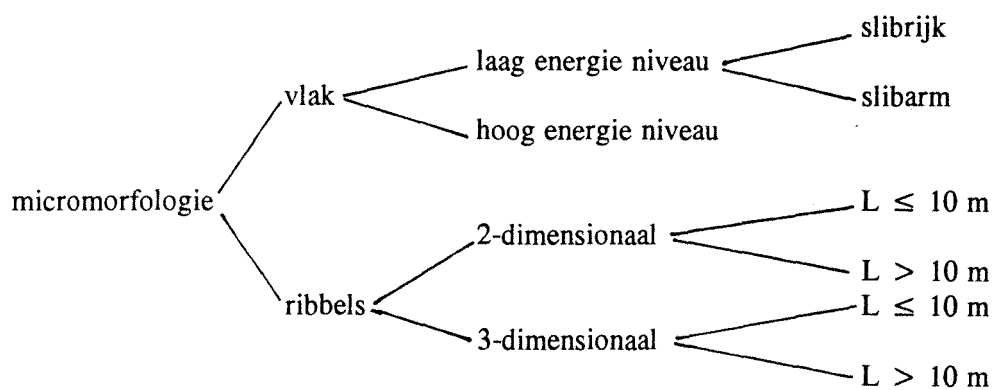


Fig. 2.1 Indeling van de micromorfologie in 7 eenheden

De hoofddeling is gebaseerd op de aanwezigheid van ribbels. Deze hoofddeling is verder opgesplitst volgens fig. 2.1. De te onderscheiden eenheden zijn dus:

- vlakke gebieden met een hoog energie niveau,
- vlakke gebieden met een laag energie niveau en slibarm,
- vlakke gebieden met een laag energie niveau en slibrijk,
- gebieden met 2-D ribbels met een lengte kleiner dan 10m,
- gebieden met 2-D ribbels met een lengte groter dan 10m,
- gebieden met 3-D ribbels met een lengte kleiner dan 10m,
- gebieden met 3-D ribbels met een lengte groter dan 10m.

De onderverdeling slibarm/slibrijk is niet gebaseerd op analyse van bodemonsters e.d., maar op het aanwezige drainage patroon en de mate van reflectie (licht/donker). Er is vanuit gegaan dat natte, donker gebieden waarin geultjes (oppervlakte afstroming) zichtbaar zijn slibrijker zijn dan droge, licht gekleurde gebieden zonder oppervlakte afstroming.

De onderverdeling van de ribbels is gebaseerd op de lengte van de ribbel en de vorm van de kamlijn, omdat beide kenmerken een indicatie van de stromingscondities geven.

Voor kleinschalige ribbels geldt (Allen, 1984) dat ribbelhoogte en ribbellengte worden bepaald door de korrelgrootte van het materiaal en de gemiddelde bodemschuifspanning, welke een functie is van onder andere stroomsnelheid en bodemruwheid. Onder stromingscondities dichtbij de bovengrens van het bereik waarin ribbels voorkomen kunnen zowel ribbellengte als ribbelhoogte snel toenemen bij een geringe toename van de bodemschuifspanning. Een afname in stroomsnelheid kan leiden tot de ontwikkeling van kleinere vormen.

De vorm van de stromingsribbels is afhankelijk van stroomsnelheid en relatieve ruwheid. De relatieve ruwheid is de verhouding van de gemiddelde ribbelhoogte H ten opzichte van de gemiddelde waterdiepte h . Dit verband is weergegeven in figuur 2.2.

Een kleiner waarde voor L_x/L_z betekent een rechttere, 2-dimensionale kamlijn. Relatief rechte kamlijnen komen voor bij een geringe relatieve ruwheid, ofwel bij een relatief grote waterdiepte. Meer gebogen (3-dimensionale) kamlijnen ontstaan bij een grote relatieve ruwheid, ofwel bij een geringe waterdiepte in verhouding tot de ribbelhoogte. Dit betekent dat in ondiepe "snelle" stromingen met name ribbels met korte en gebogen kamlijnen voorkomen. Lange kamlijnen komen voor in diepere en tragere stromingen (Allen, 1984).

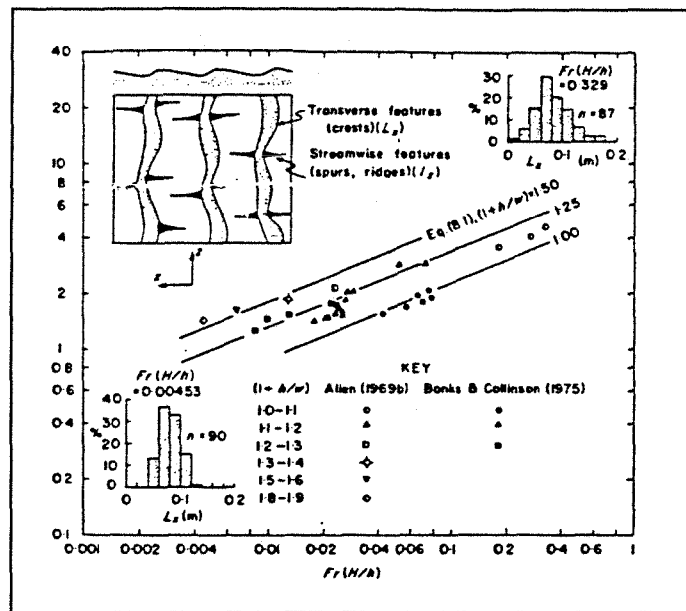


Fig. 2.2 Verband tussen de vorm van de ribbel en de relatieve ruwheid (Allen, 1984)
Data van Allen is gebaseerd op fijn zand (tot $250 \mu\text{m}$), data van Banks en Collinson op medium zand ($250 - 500 \mu\text{m}$).

Gebruikte symbolen:

H	=	ribbelhoogte
h	=	waterdiepte
w	=	breedte van de stroming
L_x	=	afstand tussen vormen met een oriëntatie loodrecht op de stromingsrichting
L_z	=	afstand tussen vormen met een oriëntatie evenwijdig aan de stromingsrichting

In het geval van duinen (megaribbels) wordt de ribbellengte bepaald door (Allen, 1984):

- korrelgrootte: hoe grover het materiaal des te groter het aandeel van het bodem transport ten opzichte van het totale transport en des te kleiner de lengte,
- stroomsnelheid: een hogere stroomsnelheid leidt tot grotere ribbellengtes.
- grenslaagdikte: bij een grotere grenslaagdikte kunnen de ribbels langer worden. Bij een stationaire, unidirektionele stroming, zoals deze in rivieren voorkomt, kan de grenslaagdikte gelijk zijn aan de waterdiepte. In het geval van een omkerende en niet stationaire stroming, zoals in de Westerschelde het geval is, heeft de grenslaag niet de tijd uit te groeien tot de gehele waterdiepte. De grenslaagdikte zal hier dus geringer zijn, waardoor de ribbels korter zullen zijn.

De hoogte van de duinen is afhankelijk van (Allen,1984):

- korrelgrootte: duinen kunnen hoger worden naarmate het materiaal grover is,
- stroomsnelheid: de hoogte neemt aanvankelijk toe met toenemende snelheden. Boven een bepaalde waarde van de snelheid neemt de hoogte af ("washed out dunes").

Beide parameters zijn verwerkt in de mobiliteitsparameter Θ' . Θ' geeft de verhouding tussen de krachten die de stroming op een deeltje uitoefent, waardoor het opgetild en meegenomen wordt en het gewicht van het deeltje onder water, waardoor het kan blijven liggen (v. Rijn 1989).

Weergegeven in formule:

$$\Theta' = \frac{(u'_*)^2}{(S-1)g d_{50}}$$

Waarin: $u'_* = \left(\frac{g^{0.5}}{C'}\right) \bar{u}$

$$C' = 18 \log\left(\frac{12h}{3d_{90}}\right)$$

$$S = \frac{\rho_{sed.}}{\rho_{water}}$$

met	u'_*	=	schuifspanningssnelheid op basis van korrelruwheid (m/s)
	C'	=	chezy coëfficiënt op basis van korrelruwheid (m ^{0.5} /s)
	g	=	valversnelling (m/s ²)
	d_{50}	=	mediane korrelgrootte (m)
	d_{90}	=	90 percentiel korrelgrootte (m)
	$\bar{u}$	=	diepte gemiddelde snelheid (m/s)
	h	=	waterdiepte (m)
	S	=	specifieke dichtheid

De kritieke waarde van deze parameter, de Shields parameter Θ_{cr} , geeft het begin van beweging van sediment aan.

Ook hierbij geldt dat de hoogte van de ribbel toeneemt tot een bepaalde kritieke waarde van Θ' is bereikt. Daarna neemt de hoogte af ("washed out dunes").

De vorm van de dunes is volgens Allen (1984) met name afhankelijk van de stroomsnelheid. Het blijkt dat 2-D vormen, zowel kleinschalige ribbels als grootschalige duinen, vrijwel altijd in rustigere en vrijwel nooit in ondiepere stromingen voorkomen dan 3-D vormen. Waarschijnlijk worden 2-D duinen gevormd bij de onder- of eventueel de bovengrens van het stromingsbereik waarbinnen duinen voor kunnen komen, terwijl de 3-D duinen in het centrale deel van dit bereik voorkomen.

Tevens kan de korrelgrootte van het materiaal een rol spelen. De duinen die in fijn materiaal zijn gevormd bij een sediment transport, waarbij een groot deel van het materiaal suspensief getransporteerd is, hebben een 2-dimensionale kamlijn.

2.3. Digitaliseren

Aan de hand van de luchtfoto's zijn vier micromorfologische kaartjes gemaakt. Om de kaarten op de zelfde schaal te krijgen zijn ze gedigitaliseerd. Voor het digitaliseren is gebruik gemaakt van het software pakket ARC-info.

Van de dijk is een aparte kaart gemaakt. Bij het digitaliseren van de plaatgebieden van de vier opeenvolgende opnamen is deze als basiskaart gebruikt om de platen in weer te geven.

Na aan elk deelgebied het bijbehorende label (eenheid) te hebben toegekend zijn de oppervlaktes per eenheid berekend. Deze berekening is eveneens uitgevoerd met het GIS-pakket ARC-info. Omdat het coördinatenstelsel in meters ten opzichte van Parijs is uitgedrukt worden de oppervlaktes in m² gegeven.

3. ONTWIKKELING VAN DE PLATEN VAN VALKENISSE IN DE PERIODE 1800 - 1971

De ontwikkeling van het platen en geulen stelsel zal kort worden toegelicht met behulp van een serie kaartjes van de Looft en van Malde (1976). De kaartjes (figuur 3.1 a t/m i) geven de situatie weer in de jaren 1800, 1860, 1905, 1921, 1931, 1945, 1955, 1963 en 1971. De belangrijkste ontwikkelingen zullen kort worden besproken.

Het gebied wordt in de periode 1800 - 1971 gekenmerkt door twee grote geulen: een noordelijk en een zuidelijk gelegen geul. De scheiding tussen beide geulenstelsels wordt gevormd door enkele platen. Deze platen zijn van elkaar gescheiden door meerdere eb- en vloedscharen.

Noordelijk geulenstelsel

De tegen de noordelijke oever gelegen geulen de Pas van Waarde en het Groot Vaarwater vormen in 1800 de hoofdgeul (fig. 3.1.a). In 1860 wordt de hoofdgeul echter gevormd door het Zuidergat. Deze geul ligt tegen de zuidelijke oever. Het Groot Vaarwater is dan verzand. De Pas van Waarde is naar het westen gemigreerd en is tevens in betekenis afgenomen. De belangrijkste geul tegen de noordelijke oever is de Schaar van Waarde.

In 1921 vertakt de Schaar van Waarde zich in oostelijke richting in twee uitlopen (fig. 3.1.d): een "oudere" noordelijke tak en een nieuw gevormde zuidelijke tak. Ten noorden van deze nieuwe uitloop treedt verondieping op.

In 1931 (fig. 3.1.e) heeft de noordoostelijke tak zich verder ontwikkeld tot de Schaar van Valkenisse. De Schaar van Valkenisse komt via de Zimmermangeul uit in het Nauw van Bath. De zuidelijke tak behoudt de naam de Schaar van Waarde.

Vanaf 1931 t/m 1971 neemt de Schaar van Waarde in betekenis af.

De Zimmermangeul neemt vanaf begin jaren '60 in omvang toe. Deze ontwikkeling hangt nauw samen met het storten van baggerspecie in de Schaar van de Noord en baggeractiviteiten in het Nauw van Bath. Door het storten van baggerspecie in de Schaar van de Noord gaat een groter deel van het getijvolume door het Nauw van Bath, waar de Zimmermangeul op uit komt. Bovendien hebben de baggerwerkzaamheden in het Nauw van Bath tot gevolg dat in nabij gelegen gebieden, waaronder de Zimmermangeul, erosie plaats vindt om een nieuw evenwicht tussen de morfologie en de hydraulische situatie te verkrijgen.

Zuidelijk geulensysteem

Vanaf 1860 ligt de hoofdgeul tegen de zuidelijke oever. De hoofdgeul wordt gevormd door het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse.

In 1945 ontstaat ten zuiden van de Plaat van Walsoorden een kortsluitgeul, de Schaar van Walsoorden genaamd (fig. 3.1.f). Na baggerwerkzaamheden wordt in 1951 de Schaar van Walsoorden als hoofdvaarwater voor de scheepvaart in gebruik genomen.

In 1963 is de Schaar van Walsoorden als gevolg van uitbochting samengegaan met het Zuidergat. Het Zuidergat neemt door baggerwerkzaamheden in omvang toe.

In 1971 is in het zuidwestelijke deel van de Plaat van Walsoorden een nieuw vloodschaartje ontstaan.

Platengebied

Het tussen deze twee geulensystemen gelegen platengebied wordt in 1800 gekenmerkt door twee platen: de Grootte en de Kleine Plaat van Walsoorden (fig. 3.1.a).

In 1860 komen ten oosten van de Plaat van Walsoorden de Platen van Valkenisse tot ontwikkeling (fig. 3.1.b).

De Kleine Plaat van Walsoorden is in 1905 geheel geërodeerd.

De Platen van Valkenisse zijn in omvang toegenomen. De ebgeultjes die door de Platen van Valkenisse heen lopen migreren als gevolg van bochtwerking, in westelijke richting (fig. 3.1 c t/m g). In 1963 zijn de platen minder versneden door kleine eb en vloodscharen. Dit is met name het gevolg van het in omvang afnemen van de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse.

De belangrijkste ontwikkelingen in de periode 1931-1971 zijn enerzijds het in omvang afnemen van de Schaar van Waarde en anderzijds het in omvang toenemen van het Zuidergat als gevolg van omvangrijke baggerwerken.

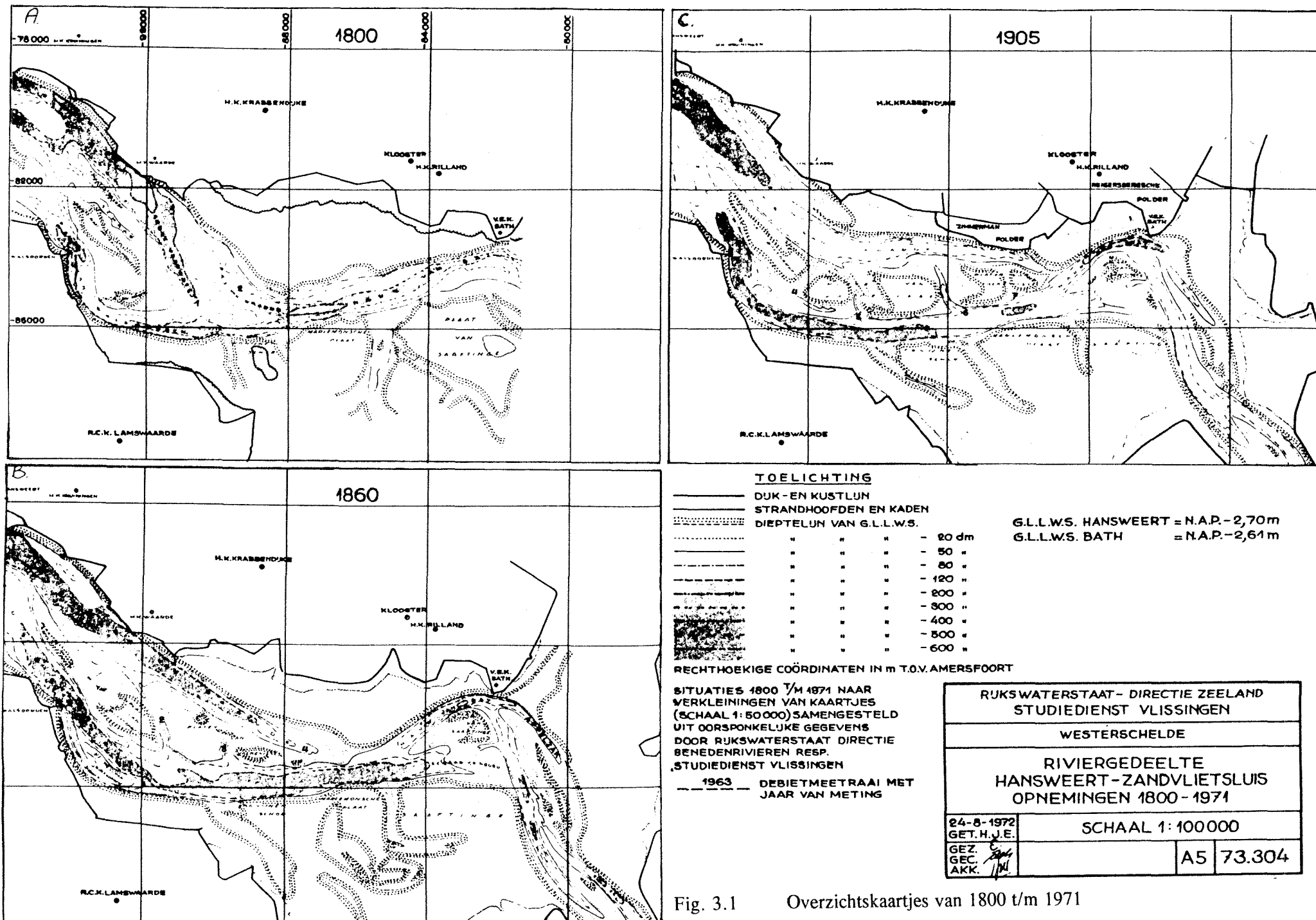


Fig. 3.1

Overzichtskaartjes van 1800 t/m 1971

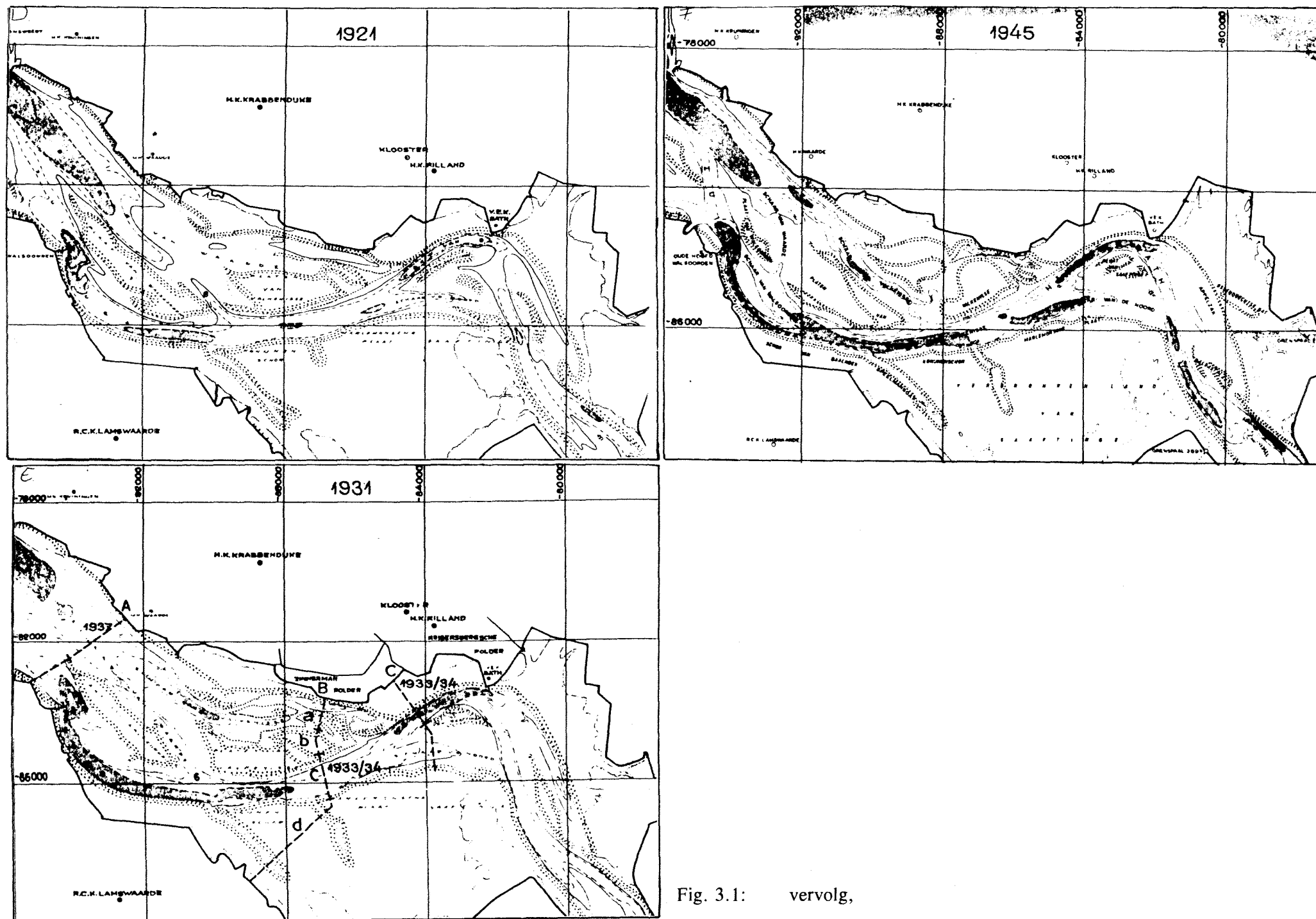


Fig. 3.1: vervolg,

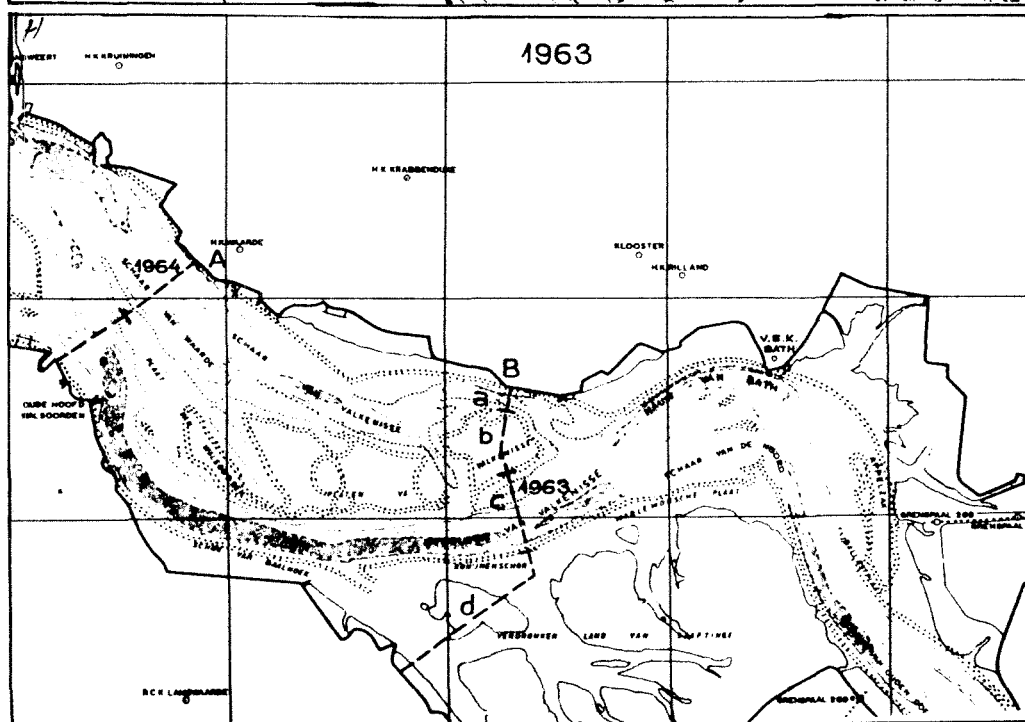
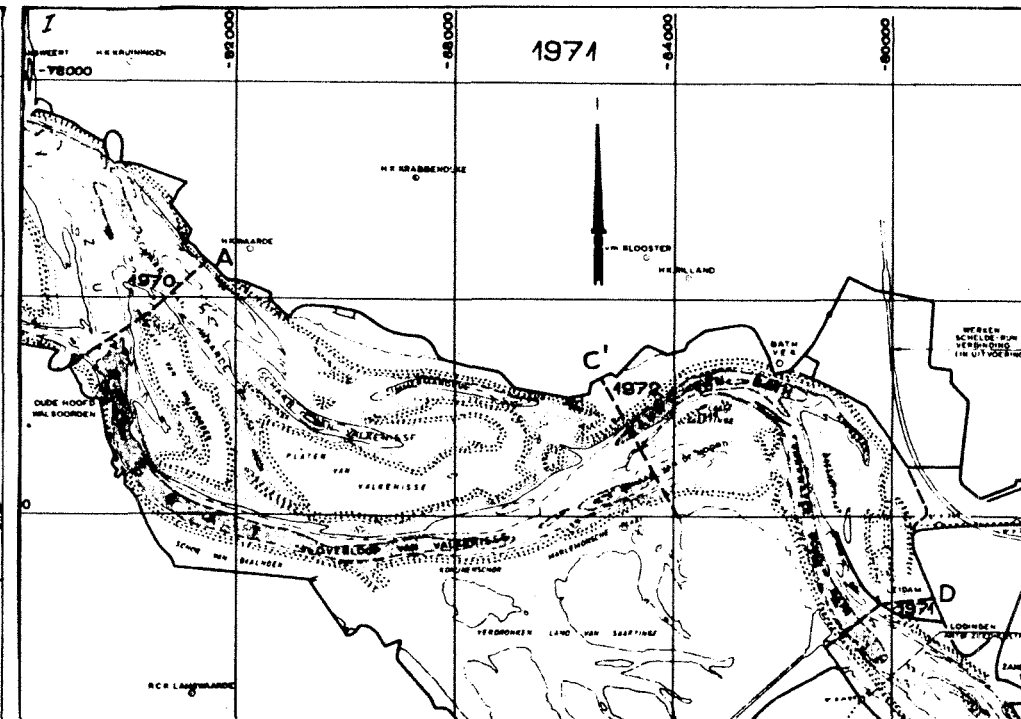
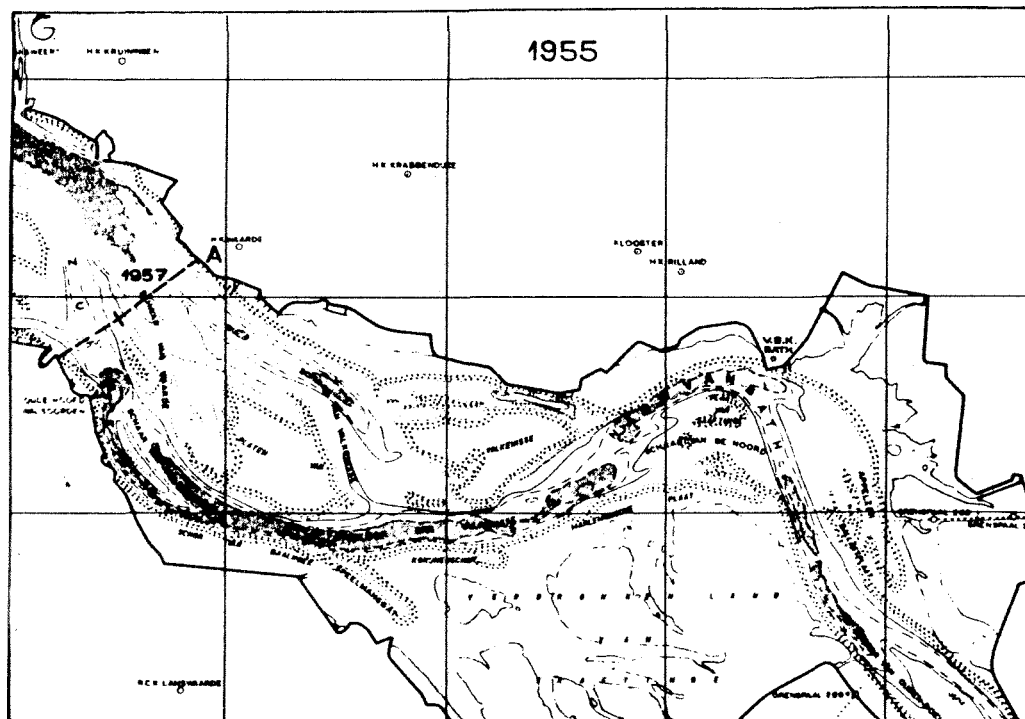


Fig. 3.1: vervolg.

4. ONTWIKKELING VAN DE PLATEN VAN VALKENISSE IN DE PERIODE 1972 - 1986

4.1. Bagger- en stortactiviteiten

4.1.1. De geschiedenis van het baggeren en het storten

Als gevolg van de vele baggerwerkzaamheden is in het platen gebied van Valkenisse geen sprake meer van een natuurlijke ontwikkeling.

De eerste baggerwerkzaamheden hebben rond 1905 op de drempel van Bath plaats gevonden. Twee jaar later wordt ook op de drempel van Valkenisse gebaggerd. Er is dan echter nog geen sprake van regelmatige baggerwerkzaamheden. Tot 1923 wordt 0.5 tot 2.0 miljoen m³ per jaar gebaggerd (Belmans, 1988). Na 1923 wordt er meer en regelmatig gebaggerd, maar de echte toename in de bagger intensiteit heeft aan het eind van de zestiger jaren plaats gevonden. Dit is het gevolg van de verdieping van de drempels in de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart naar Antwerpen. Deze verdieping heeft plaatsgevonden in de periode 1971/76. Vanaf 1980 is het jaarlijks gebaggerde volume redelijk constant: 12 à 14 miljoen m³ per jaar voor de gehele Westerschelde (Beleidsplan Westerschelde, 1989). Dit volume is nodig om de drempels in de geulen op diepte te houden.

4.1.2. De effecten op de morfodynamiek

Bij een baggerlokatie is sprake van verstoring van de natuurlijke situatie. Deze verstoring beïnvloedt de waterbeweging, het sediment transport en hiermee samenhangend de morfologische ontwikkeling van het gebied. Op korte termijn speelt vooral verstoring van de ontwikkeling in de directe omgeving van de baggerlokatie een rol.

Een (zand)winput (Eysink, 1979) is een lokale vergroting van de natuurlijke waterdiepte. Hierdoor zal de stroomsnelheid plaatselijk afnemen, evenals het hieraan gerelateerd transporterend vermogen van het water. Er zal dus versterkte sedimentatie op treden. Het materiaal dat nodig is om de depressie op te vullen zal in eerste instantie afkomstig zijn uit het omringende gebied dat minder dan een getijweg van de depressie verwijderd ligt. Zo zal ook in dit gebied het evenwicht worden verstoord. Het geërodeerde materiaal zal weer worden aangevuld met materiaal afkomstig uit het gebied dat hier weer aangrenst, enzovoorts. De effecten zullen echter minder sterk zijn

naarmate het gebied verder van de winput af ligt. Dit proces gaat door totdat een nieuw evenwicht is ingesteld. In het geval van zandwinning ontstaat een nieuw evenwicht wanneer genoeg zand van buiten het systeem wordt aangevoerd. In het geval van bagger- en stortactiviteiten ontstaat een nieuw evenwicht via een recirkulatiestroom (Eysink, 1979).

Wanneer een drempel wordt verlaagd ontstaat er geen put (de drempel komt immers niet lager te liggen dan de overige geulbodem). Ontzanding in het nabij gelegen gebied zal toch optreden aangezien een lokale verdieping tot beneden de natuurlijke evenwichtsdiepte in stand wordt gehouden.

Volgens Tromp en Swart (1988) is als gevolg van het onderhouds baggerwerk in het oostelijk deel van de Westerschelde een instabiele situatie ontstaan. In het oostelijk deel heeft geulverruiming plaats gevonden waardoor in het westelijk deel het doorstroomprofiel te smal geworden is. Hierdoor vindt in het middengedeelte erosie plaats. Het vrijgekomen materiaal wordt in oostelijke richting getransporteerd.

Naast effecten op de baggerlokatie zijn ook gevolgen voor het stortgebied waarneembaar. In de stortgebieden vindt versnelde aanzanding plaats, zodat geulen in dit gebied in omvang en betekenis afnemen.

De effecten op de hydraulische situatie in het betreffende gebied zullen in paragraaf 4.2 worden behandeld. Wel kan hier reeds worden opgemerkt dat door onderhoudsbaggerwerkzaamheden lokaal sprake is van een hoger slibgehalte in het water. De vertroebeling van het water zal waarschijnlijk ondermeer invloed hebben op de in dit gebied voorkomende organismen (zie onder andere Tromp en Swart, 1988 en het beleidsplan Westerschelde 1989). Het verhoogde slibgehalte is het gevolg van de baggertechniek die gebaseerd is op het bezinkings principe, waarbij de zeer fijne fractie in het overloopverlies wordt opgenomen en met het opgezogen water terug overboord spoelt, zodat uitsluitend zand gebaggerd wordt (gemiddelde korreldiameter 150μ).

Om aan te tonen hoe groot het effect van bagger en stort werkzaamheden zou kunnen zijn op het platengebied van Valkenisse zijn in tabel 4.1 de bagger- en stortgegevens per lokatie vermeld. Figuur 4.1 toont de ligging van de bagger- en stortlocaties.

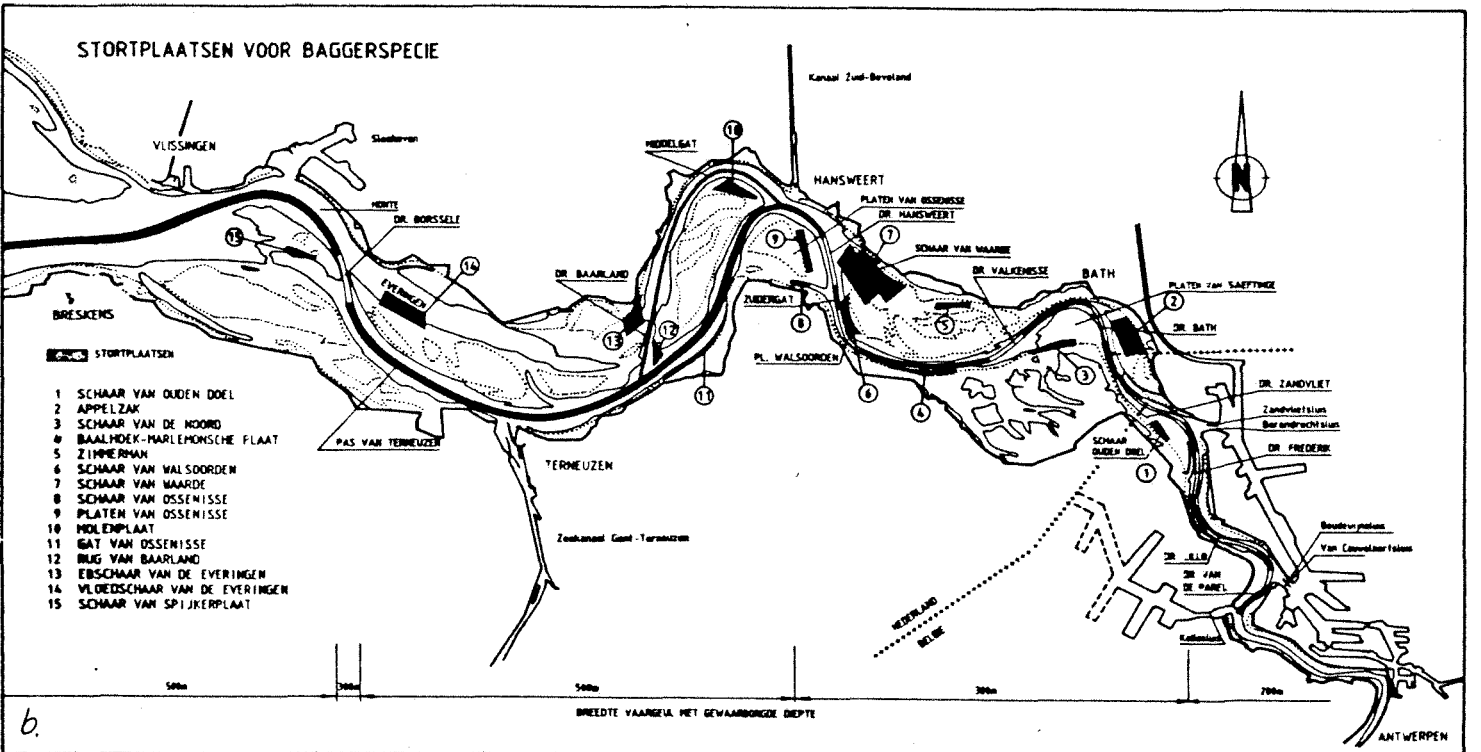
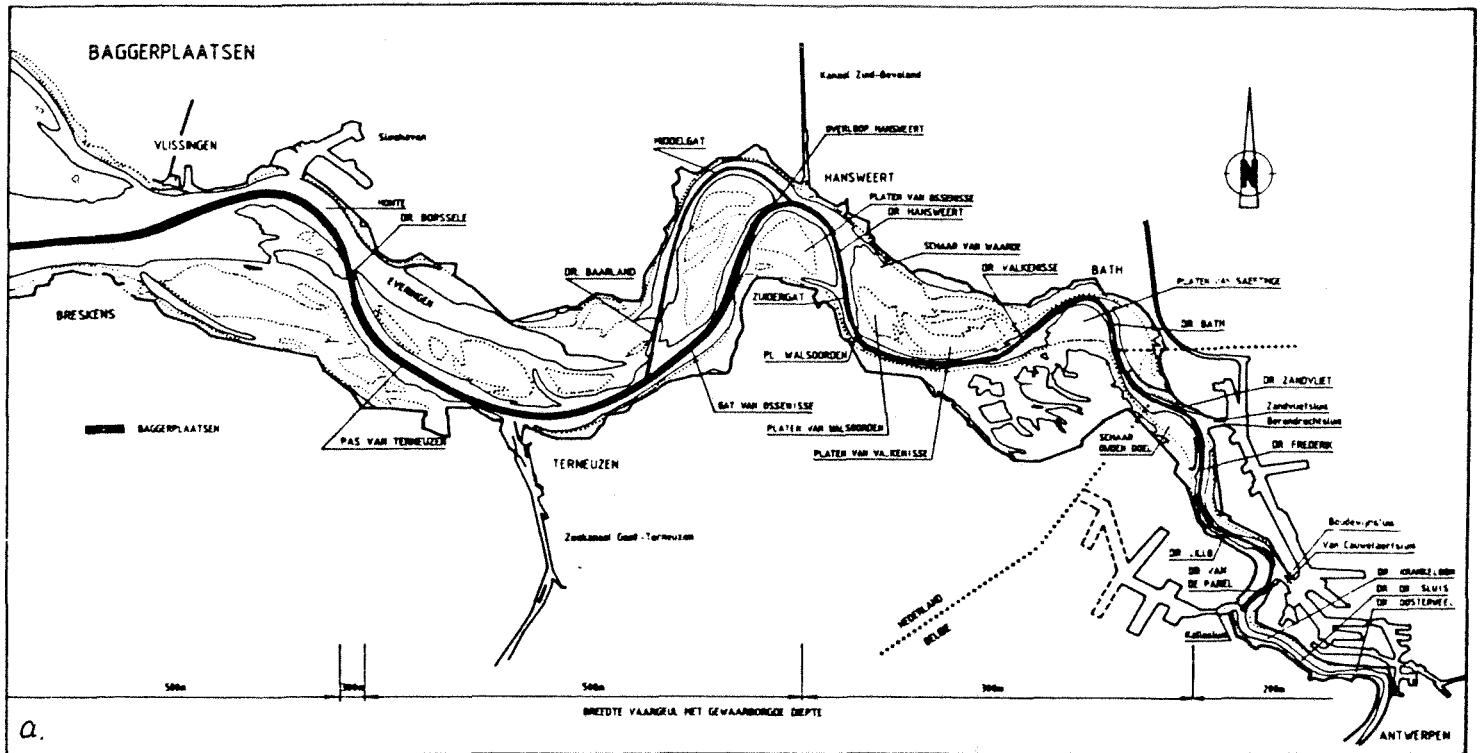


Fig. 4.1 Ligging van de bagger- en stortlokaties (Belmans, 1988).
a) ligging van de baggerlokaties,
b) ligging van de stortlokaties.

Tabel 4.1 Bagger en stortgevens per lokatie van 1895 t/m 1987 (Belmans, 1988)

DREMPEL	1985 1980	1981 1980	1981 1980	1981	1982	1983	1984	1986	1986	1987	1988	1988	1988	1987	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	DREMPEL
BORSSELE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	0,5	1,5	1,8	0,5	2,0	1,3	1,2	0,9	0,8	1,1	1,1	1,5	0,9	0,5	BORSSELE
PUT V. TERMEULEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	PUT V. TERMEULEN
BAARLAND	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	0,8	1,8	2,5	0,1	2,8	1,2	0,1	-	-	-	-	0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	BAARLAND
OVERLOOP HANSWEERT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	0,1	0,3	0,2	0,4	-	-	0,8	0,4	-	0,4	0,2	OVERLOOP HANSWEERT	
HANSWEERT	3,8	3,5	6,7	1,0	1,1	0,6	0,9	0,7	0,5	0,4	0,8	0,6	3,3	2,1	1,9	3,6	3,4	3,2	2,1	1,7	2,7	3,1	2,8	3,2	4,8	2,8	3,0	3,3	1,8	3,2	HANSWEERT
WALSPOORDEN	5,9	1,9	1,3	0,3	0,8	1,0	1,5	0,8	0,3	0,5	0,3	0,1	-	1,3	-	0,5	0,8	0,9	2,8	1,3	0,5	0,9	1,8	1,1	1,2	0,1	0,1	0,6	0,5	0,5	WALSPOORDEN
OVERLOOP VALKENISSE	-	-	-	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	0,3	0,7	-	-	0,2	0,6	0,5	-	0,6	1,8	OVERLOOP VALKENISSE
VALKENISSE	7,4	6,9	8,4	1,2	1,5	1,4	1,3	1,0	0,9	1,3	1,3	0,8	0,7	0,4	1,5	2,1	1,8	2,7	2,5	3,0	3,1	3,9	3,8	3,3	2,4	1,8	2,5	2,5	2,1	2,2	VALKENISSE
BATH	22,0	8,9	21,1	1,8	1,2	2,0	1,9	1,9	1,8	2,4	2,8	2,8	2,4	1,8	2,3	2,3	2,3	3,1	3,5	2,8	2,8	3,0	1,5	2,2	2,2	1,0	1,4	2,1	5,4	3,8	BATH
VAARW. BOVEN BATH	1,7	2,8	0,2	0,1	0,4	-	-	-	-	<0,1	-	-	-	-	-	<0,1	<0,1	0,4	0,1	-	-	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	-	-	-	-	VAARW. BOVEN BATH
TOTAAL (+/-) NEDERLAND	40,9	18,0	35,8	4,8	5,2	5,1	5,8	4,4	3,5	4,7	5,2	7,4	7,2	7,4	8,2	9,8	11,5	13,6	14,1	9,6	11,8	12,7	12,2	10,8	12,3	7,9	8,8	10,5	11,8	12,1	TOTAAL (+/-) NEDERLAND

STORTPLAATS	1895 1940	1941 1950	1951 1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	STORTPLAATS	
SPUKERPL				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.5	0.6	0.7	0.4	0.2	SPUKERPL	
VL. SCH. EVERINGEN				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	0.5	1.5	1.9	0.5	2.6	1.3	1.3	<0.8	0.4	0.6	0.6	0.9	0.5	0.2	VL. SCH. EVERINGEN	
EB. SCH. EVERINGEN				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	1.4	0.1	2.3	-	-	-	-	0.3	2.3	1.8	1.2	1.2	0.9	0.6	0.2	0.7	EB. SCH. EVERINGEN	
RUG VAN BAARLAND				-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1.8	-	-	-	-	-	-	RUG VAN BAARLAND	
GAT VAN OSSENISSE	<0.1		0.1	-	-	-	-	-	-	-	2.6	0.8	0.9	1.1	-	0.5	2.7	1.3	2.0	2.8	4.4	1.5	<0.1	1.4	1.4	1.0	2.6	2.5	2.9	GAT V. OSSENISSE		
MOLENPLAAT	3.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	MOLENPLAAT		
PLATEN V. OSSENISSE				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	2.2	0.3	-	-	-	-	-	OVERLOOP VALKENISSE	
SCHAAAR V. WAARDE	4.1		7.9	1.3	2.0	1.6	2.4	1.2	0.5	0.9	0.9	0.1	1.9	3.0	1.9	4.0	3.9	2.5	3.2	1.2	0.5	0.8	1.4	0.4	2.0	1.2	1.7	1.1	0.3	1.2	SCHAAAR V. WAARDE	
WALSOORDEN	1.6			<0.1	<0.1	-	-	-	-		<0.1	-	-	-	-	<0.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		<0.1	0.1	-	WALSOORDEN
ZIMMERMAN				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	0.1	<0.1	-	-	0.2	0.2	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-	ZIMMERMAN
BOEI 03 (BAALHOEK)			<0.1	2.2	0.3	-	-	1.1	1.7	2.8	2.0	1.4	1.2	0.4	-	-	1.3	2.0	1.8	3.0	3.4	1.6	1.5	2.1	1.0	0.2	0.5	0.4	5.0	3.3	BOEI 03 (BAALHOEK)	
KONIJNENSCHOR	5.0	3.3	9.7	-	-	-	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	3.5	1.7	2.0	3.0	2.9	3.7	3.7	1.3	2.2	KONIJNENSCHOR	
PLAAT V. VALKENISSE			2.3	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PLAAT V. VALKENISSE	
SCHAAAR V. VALKENISSE	4.0	4.1	<0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SCHAAAR V. VALKENISSE	
SCHAAAR V.D. NOORD	9.4	5.4	10.7	<0.1	1.9	3.4	2.7	0.6	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	-	1.0	1.4	0.5	1.7	2.4	1.5	0.8	<0.1	<0.1	0.5	0.3	0.2	<0.1	0.6	1.4	0.6	SCHAAAR V.D. NOORD	
APPELZAK	8.5	3.3	4.7	0.7	0.5	-	-	0.1	0.4	1.0	0.5	1.1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	<0.1	<0.1	0.4	0.6	<0.1	<0.1	0.4	0.2	0.2	<0.1	-	<0.1	-	APPELZAK	
DIV. STORTPLAATSEN	11.3	2.1	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DIV. STORTPLAATSEN
TOTAAL (+/-) NEDERLAND	45.7	18.2	35.7	4.7	5.5	5.0	5.6	3.8	2.6	4.9	3.5	5.4	4.8	5.4	5.6	7.0	9.4	10.6	10.8	8.7	11.5	12.1	11.4	10.5	12.2	8.8	9.2	10.9	11.8	11.3	TOTAAL (+/-) NEDERLAND	

4.2. Hydraulische ontwikkeling

4.2.1. Ontwikkeling van het verticale getij

Getijamplitude

Van 1910 tot 1970 zijn de veranderingen in het verticale getij gering. De gemiddelde hoogwaterstanden zijn in de voorafgaande zestig jaar ongeveer 20 cm hoger geworden. De gemiddelde laagwaterstanden zijn ongeveer 10 cm hoger geworden (variërend van 14 cm voor Bath tot 9 cm bij Hansweert). Dit betekent een gemiddelde toename van de getijamplitude met 6 à 11 cm. De gemiddelde eb- en vloedduur is vrijwel gelijk gebleven (de Looft en van Malde, 1976). Bij Antwerpen is de getijamplitude in de zelfde periode echter met 31 cm toegenomen. Tevens is de vloedduur 12 min. korter en de ebduur 12 min. langer geworden. Hieruit kan worden afgeleid dat de onderhouds baggerwerkzaamheden vrijwel geen invloed hebben gehad op het getij in het Nederlandse deel van de Westerschelde. De waargenomen veranderingen zijn in dit deel vrijwel

geheel toe te schrijven aan natuurlijke factoren, zoals de relatieve zeespiegelstijging en verandering in komberging.

Vanaf 1970 neemt de getijamplitude op Nederlands gebied toe. In Hansweert gaat het om een toename van enkele cm's. In Bath is echter sprake van een toename van enkele dm's (zie gegevens 10 jarig overzicht). Deze toename is waarschijnlijk het gevolg van de verdieping van de drempels in het oostelijk deel van de Westerschelde (Tromp en Swart, 1988) en de 18,6 jarige cyclus ten gevolge van de helling van de baan van de maan.

Het getij in de Westerschelde ontstaat doordat een gedeelte van de getijgolf uit de Noordzee het estuarium binnendringt. Binnen het estuarium spelen drie effecten een rol:

- een toename van de weerstand, waardoor de getijgolf energie verliest en de amplitude afneemt,
- een opstuwings effect doordat het estuarium trompet-vormig is, waardoor de amplitude toeneemt,
- een "shoaling" effect, waardoor de golflengte afneemt en de amplitude toeneemt,
- reflecties op platen of randen waardoor de amplitude toe kan nemen.

Door de verdieping van de drempels is de weerstand afgenomen. Hierdoor treedt minder demping van de getijgolf op, zodat de amplitude groter wordt. Theoretisch zou het getijvolume ook toe moeten nemen. Dit is echter niet het geval doordat het effect van een minder sterke demping van de getijgolf teniet wordt gedaan door een afname in de komberging van met name het verdrongen land van Saeftinge (de Looft en van Malde, 1976 en Storm en de Ruig, 1990).

4.2.2. Ontwikkeling van het horizontale getij

Getijvolumina

Behalve een toename van het getij verschil treedt ook een wijziging op in de verdeling van het getijvolume over de verschillende geulen. Dit blijkt onder meer uit de gegevens in tabel 4.2. De volumina zijn per raai onder verdeeld in de verschillende geulen in de betreffende raai. De volumina worden zowel absoluut als procentueel, ten opzichte van het totale eb- en vloedvolume in de betreffende raai, gegeven. De ligging van de debietraaien is aangegeven in figuur 4.2.



Fig. 4.2 Ligging van de debietraaien (Beleidsplan Westerschelde, 1989)

Tabel 4.2 Getijkaracteristieken van de geulen in de debietraaien (herleid naar gemiddeld getij)
(de Jong, 1989).

nr	jaar	ebvolume				vloedvolume			
		10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
		NvB		SvdN		NvB		SvdN	
2	1972	126.5	59.9	84.6	40.1	67.2	32.3	140.9	67.7
2	1982	146.5	70.9	60.1	29.1	93.7	44.4	117.4	55.6
		OvV		Zim		OvV		Zim	
3	1933	202.5	78.2	56.5	21.8	187.5	75.3	61.5	24.7
3	1963	186.2	76.0	58.8	24.0	175.2	73.2	64.1	26.8
3	1980	214.0	78.2	59.8	21.8	194.3	75.8	62.0	24.2
3	1988	218.6	86.7	33.6	13.3	223.8	88.8	28.2	11.2
		Zgat		SvW		Zgat		SvW	
5	1937	176.6	45.3	213.4	54.7	134.7	36.6	233.8	63.4
5	1957	182.4	47.9	198.0	52.1	113.2	30.4	259.1	69.6
5	1964	188.4	52.5	170.6	47.5	126.6	36.0	225.5	64.0
5	1970	190.4	54.8	157.0	45.2	158.8	41.4	224.4	58.6
5	1975	219.3	60.0	146.5	40.0	172.3	46.1	201.1	53.9
5	1981	245.1	61.2	155.5	38.8	169.2	45.1	206.2	54.9
5	1988	198.4	55.9	156.3	44.1	166.7	44.8	205.6	55.2

Namen van de geulen:

Raai 2: NvB = Nauw van Bath
 SvdN = Schaar van de Noord
 Raai 3: OvV = Overloop van Valkenisse
 Zim = Zimmermangeul
 Raai 5: Zgat = Zuidergat
 SvW = Schaar van Waarde

Uit de tabel blijkt dat het getijvolume over de gehele dwarsraai vrijwel gelijk blijft, maar dat de verdeling over de hoofd- en nevengeulen verandert. Raai 3 bestaat uit de Overloop van Valkenisse en de Zimmermangeul. Zowel wat het eb- als het vloedvolume betreft is een groter deel van het volume door de Overloop van Valkenisse gaan stromen, ten koste van de Zimmermangeul. In raai 5 is dezelfde trend waarneembaar. Het percentage van het ebvolume dat door het Zuidergat stroomt is sinds 1937 toegenomen van 45.3 tot bijna 56% van het totale ebvolume. Het percentage van het vloedvolume dat door het Zuidergat stroomt is eveneens toegenomen, maar ondergeschikt gebleven aan het percentage dat door de Schaar van Waarde stroomt.

Waar komt dit vandaan?

Deze ontwikkeling is grotendeels het gevolg van baggerwerkzaamheden. Door verdieping van de drempels is de weerstand in de hoofdgeul afgenomen, waardoor een groter deel van het totaal getijvolume door de hoofdgeul gaat, ten koste van de zijgeulen. Bovendien treedt in de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul versterkte aanzanding op ten gevolge van het storten van baggerspecie.

Stroomsnelheden

In figuur 4.3 is het verloop van de maximum stroomsnelheid tegen de tijd weergegeven voor een aantal geulen.

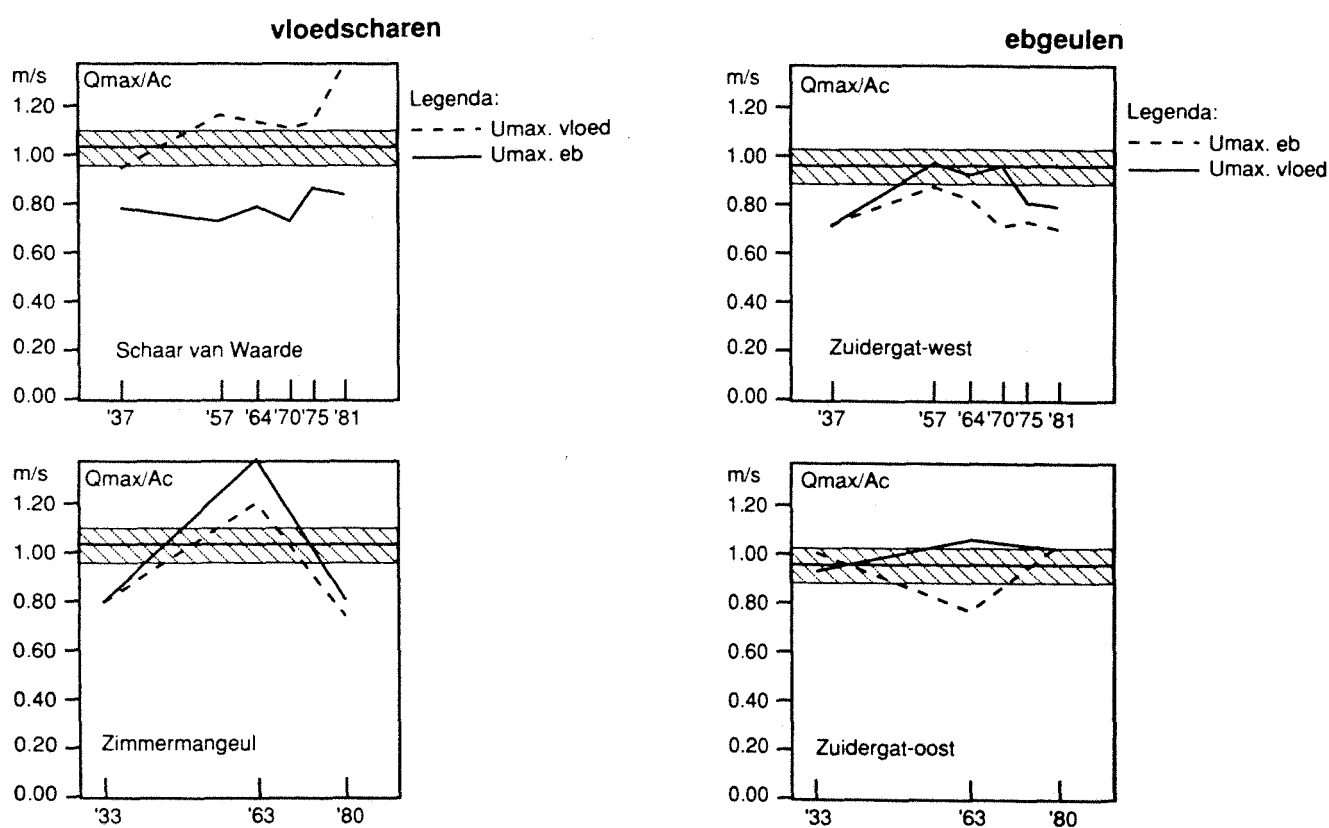


Fig. 4.3 Meerjarig verloop van de maximale stroomsnelheden in eb- en vloedgeulen (Beleidsplan Westerschelde, 1989)

In het Beleidsplan Westerschelde (1989) is getracht een kengetal voor de stroomsnelheid te vinden om aan te geven of een geul wel of niet in evenwicht is. Met behulp van de evenwichtsrelatie tussen het doorstroomprofiel en het eb en het vloeddebiet is men gekomen tot een evenwichtsstroomsnelheid van 0.95 tot 1.15 m/s voor vloedgeulen en 0.85 tot 1.05 m/s voor ebgeulen. Voor de eerder genoemde geulen betekent dit:

- De Schaar van Waarde heeft als gevolg van het storten van baggerspecie vanaf 1970 een te klein doorstroomoppervlak ten opzichte van het vloeddebiet. Er zal een netto vloedtransport van zand ontstaan om het evenwicht te herstellen (Beleidsplan Westerschelde, 1989).
- De Zimmermangeul heeft een te groot doorstroomoppervlak. Er kan netto sedimentatie plaats vinden.
- Het Zuidergat is vooral in het westen te ruim geworden als gevolg van het baggeren. Hierdoor zijn zowel de eb- als de vloedstroomsnelheden afgenomen. Er kan hier dus netto sedimentatie optreden. In het oostelijke deel is het ebdebiet sinds 1963 echter sterk toegenomen waardoor de geul hier min of meer in een evenwichtssituatie verkeert (Beleidsplan Westerschelde, 1989).

4.3. Morfologische ontwikkeling: luchtfoto interpretatie

4.3.1. Inleiding

De morfologische ontwikkeling is onder te verdelen in de ontwikkeling van de micro- en de macromorfologie.

De micromorfologie omvat kleinschalige vormen als megaribbels en duinen. De macromorfologie bestaat uit grootschalige vormen zoals het platen- en geulensysteem.

De micromorfologie is met behulp van luchtfoto's in kaartjes weergegeven. Deze kaartjes hebben betrekking op de opnamen van een viertal jaren; 1972, 1973, 1983 en 1986. De micromorfologie is onderverdeeld in zeven eenheden, zoals beschreven in paragraaf 2.2.

Veranderingen in de macromorfologie zijn nagegaan met behulp van luchtfoto's, echolodingen, en zandbalansen van het betreffende platengebied. Tevens is een zestal raaien over het gebied gelegd om een meer gedetailleerd beeld te krijgen van de veranderingen. Daar het gebied niet elk jaar wordt gepeild ontbreken de hoogte gegevens van 1972. Hiervoor in de plaats zijn de echolodingen van 1971 gebruikt.

4.3.2. De macromorfologie

Veranderingen in het horizontale vlak

Bij het beschrijven van de ontwikkelingen in het horizontale vlak is gebruik gemaakt van de figuren 4.4 t/m 4.6. Deze figuren tonen kaartjes van achtereenvolgens de micromorfologie, de dieptelijnen en de omtrek van de platen tijdens de beschouwde jaren. De omtrek van de platen is gebaseerd op de waterlijn, zoals deze op de luchtfoto's te zien is. Daar de luchtfoto's niet allen op hetzelfde tijdstip ten aanzien van laagwater genomen zijn, kunnen de plaatoppervlakken voor de verschillende jaren niet direct met elkaar worden vergeleken. De waterstanden zijn per opname vermeld in tabel 2.1.

*zijn deze kaarten beschreven met de
opnamen van Soereveld?*

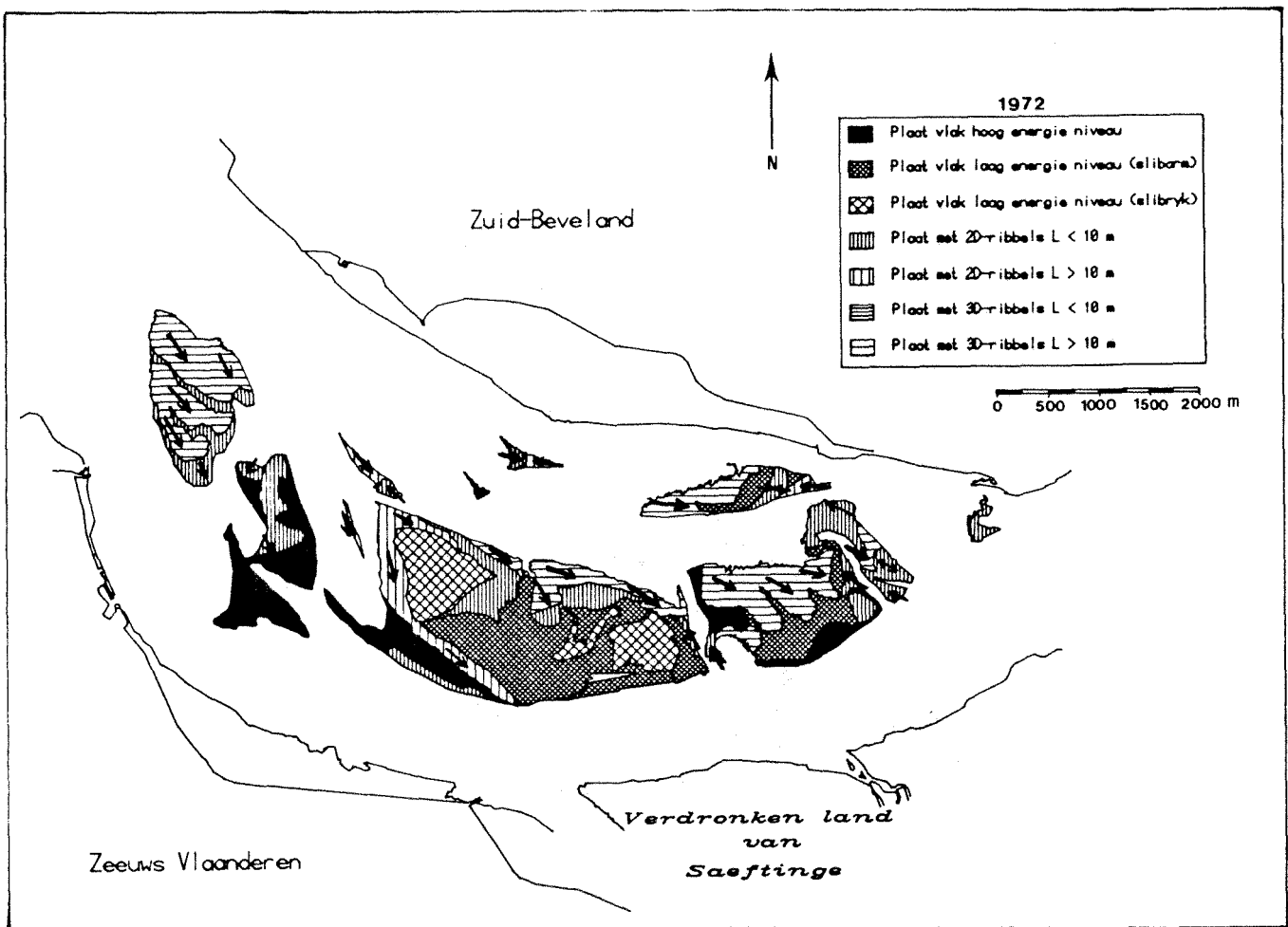


Fig. 4.4 Micromorfologische opnamen

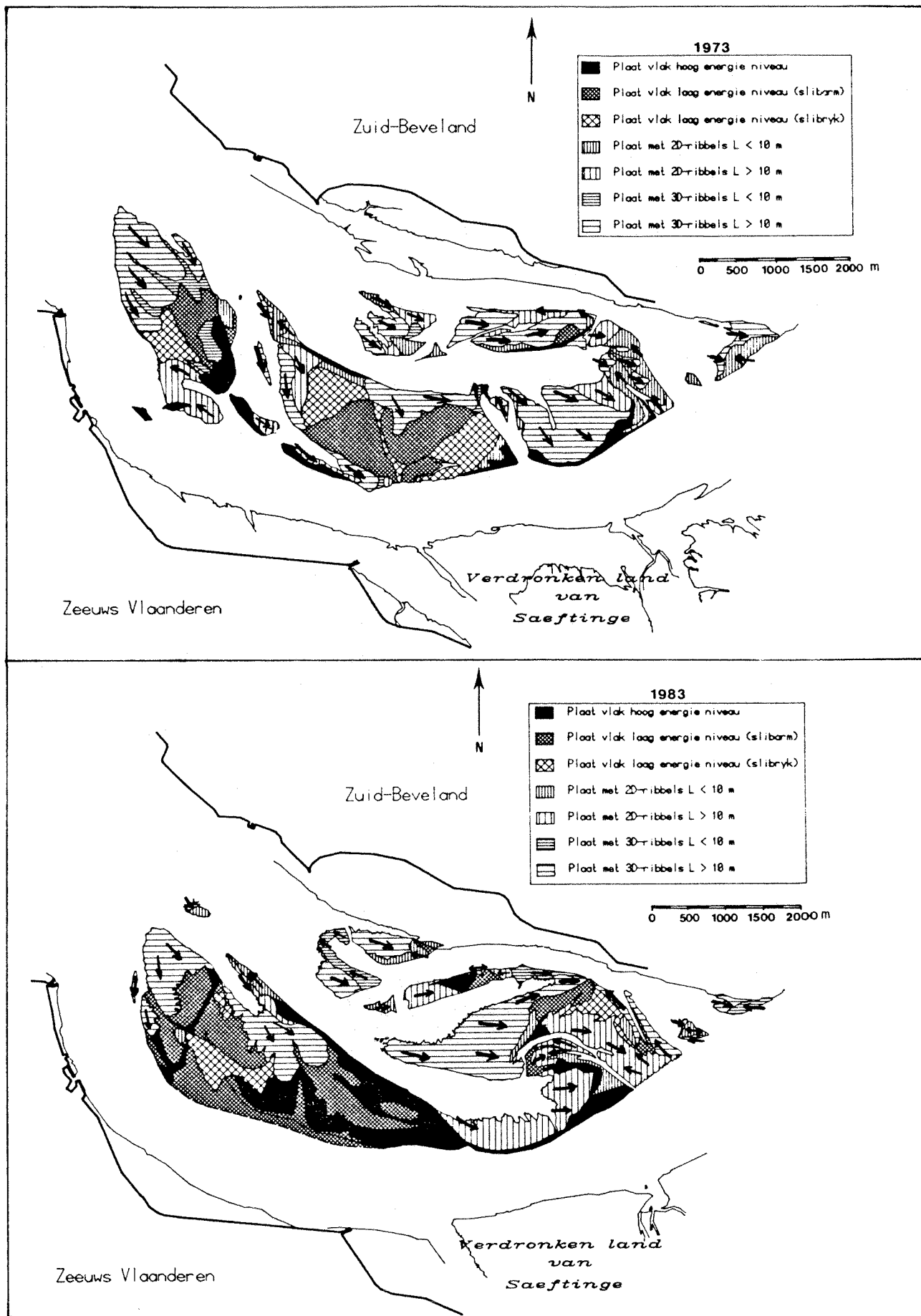


Fig. 4.4 Micromorfologische opnamen

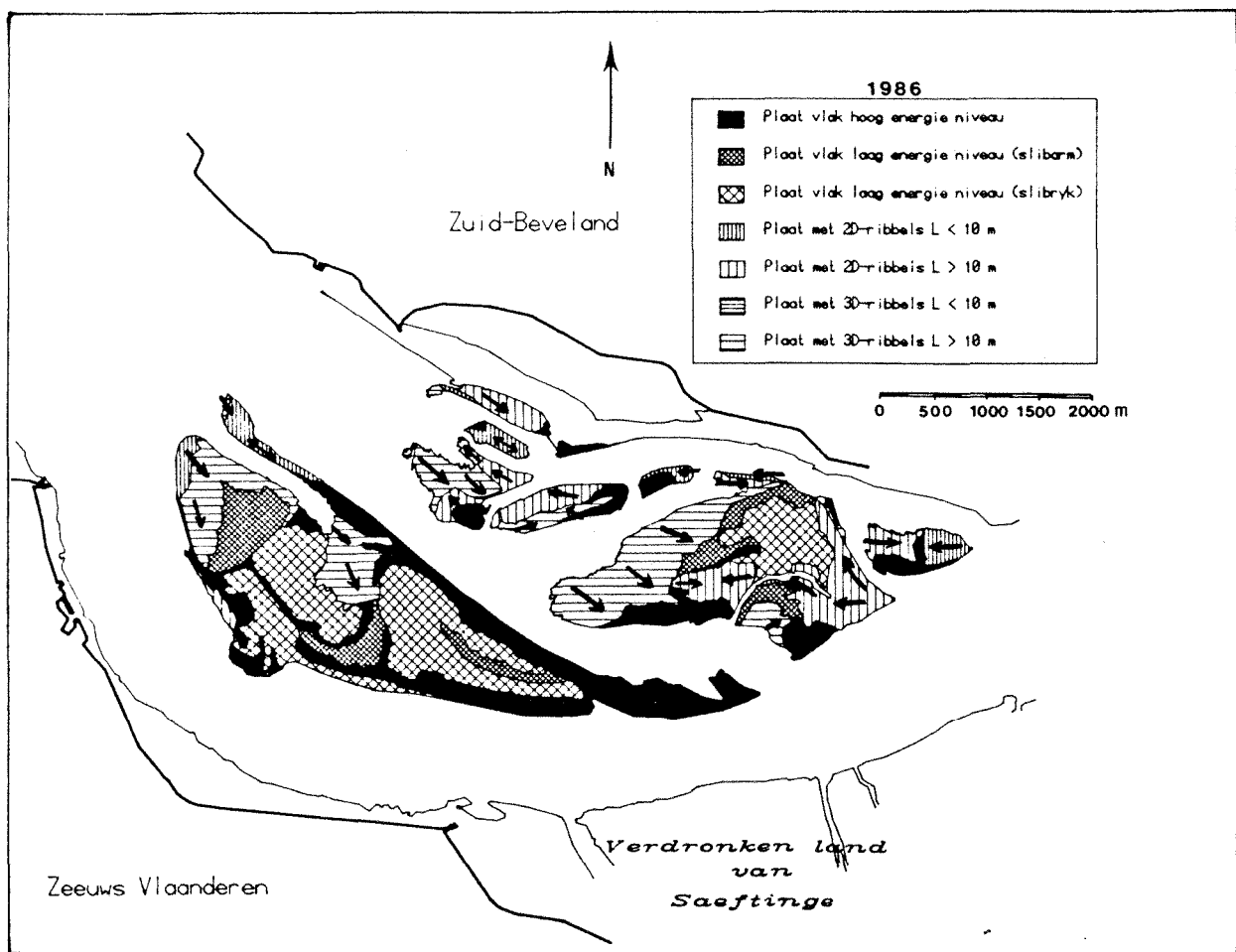


Fig. 4.4: vervolg.

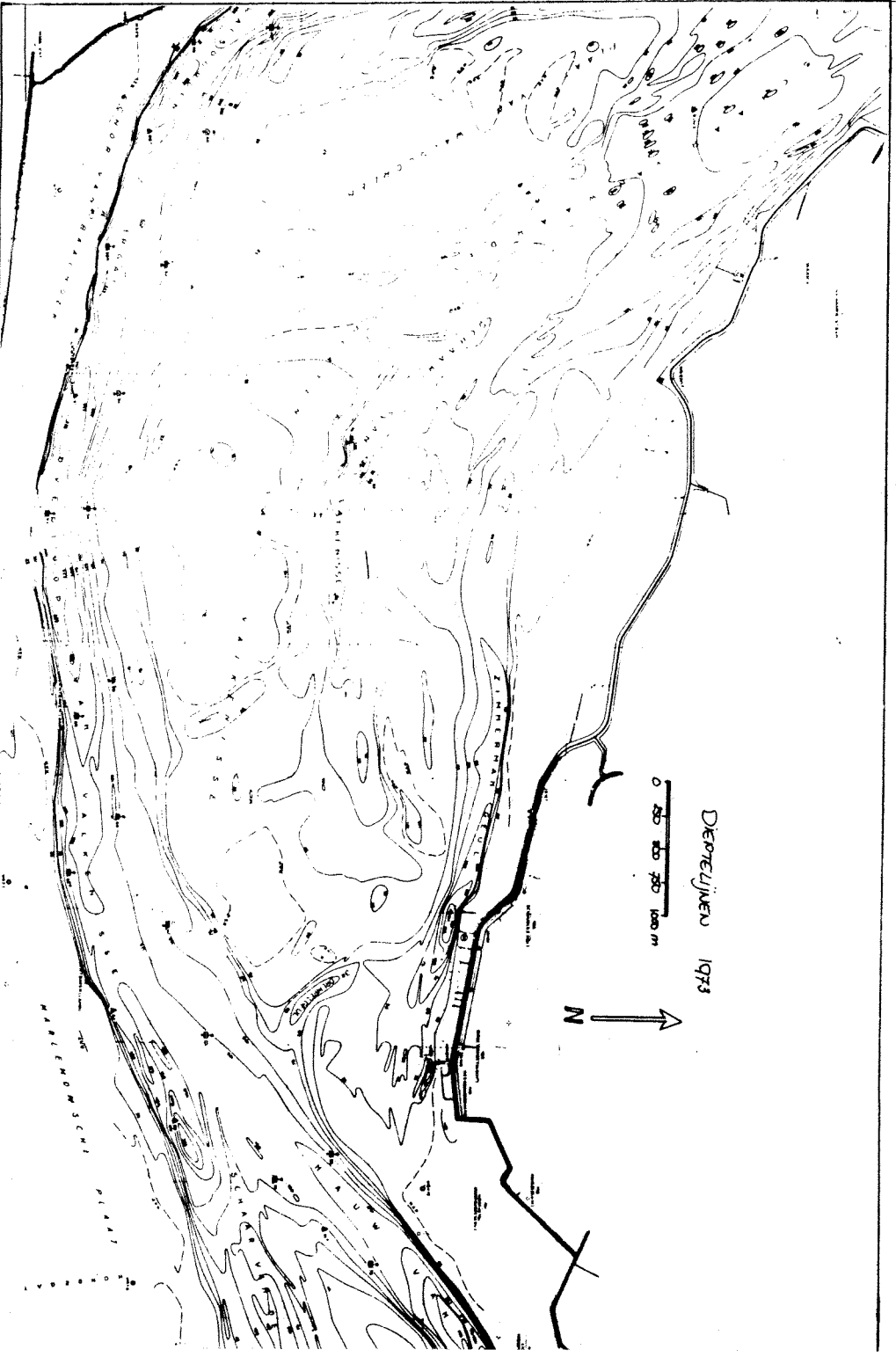
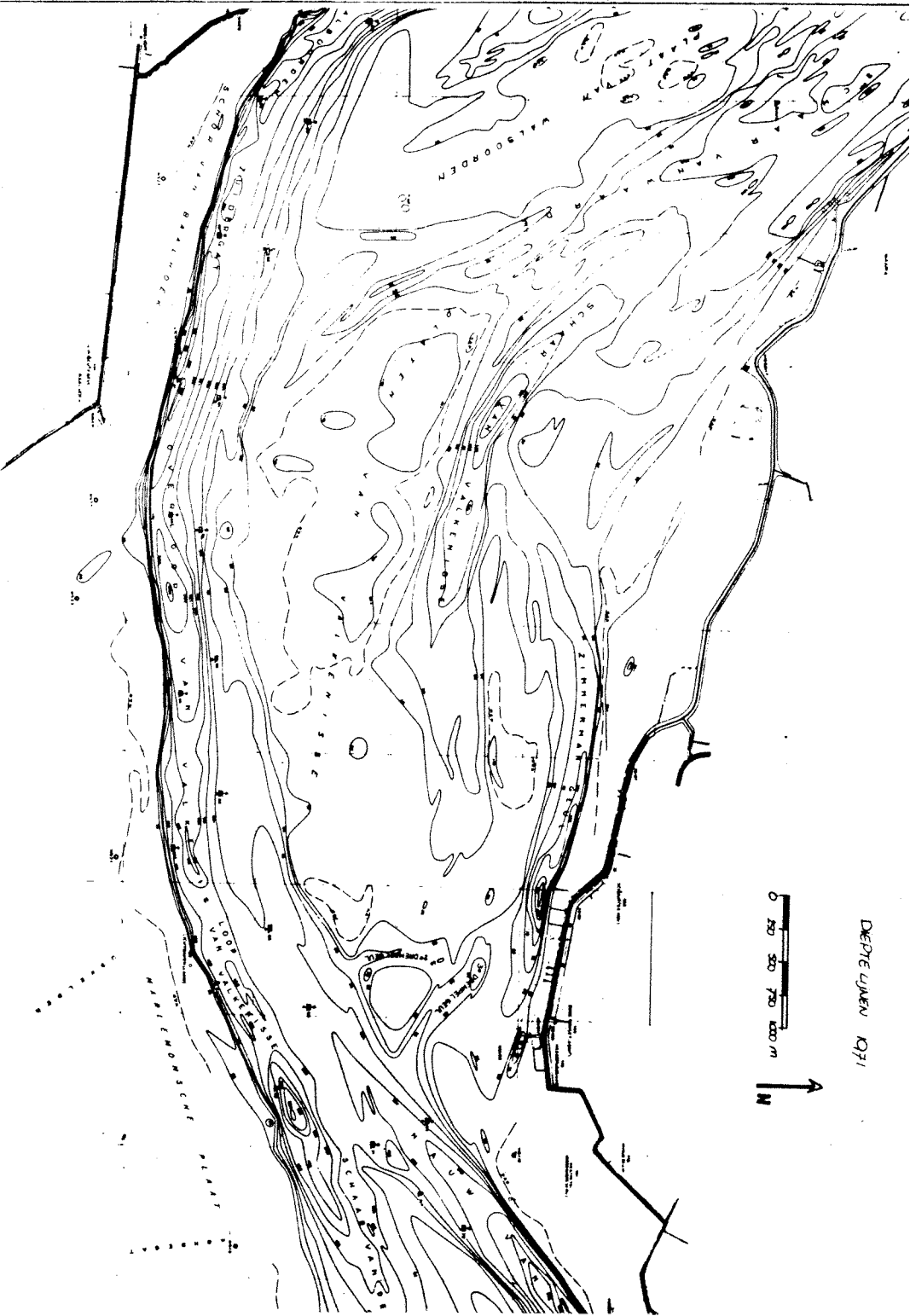


Fig. 4.5 Dieptelijnen kaartjes

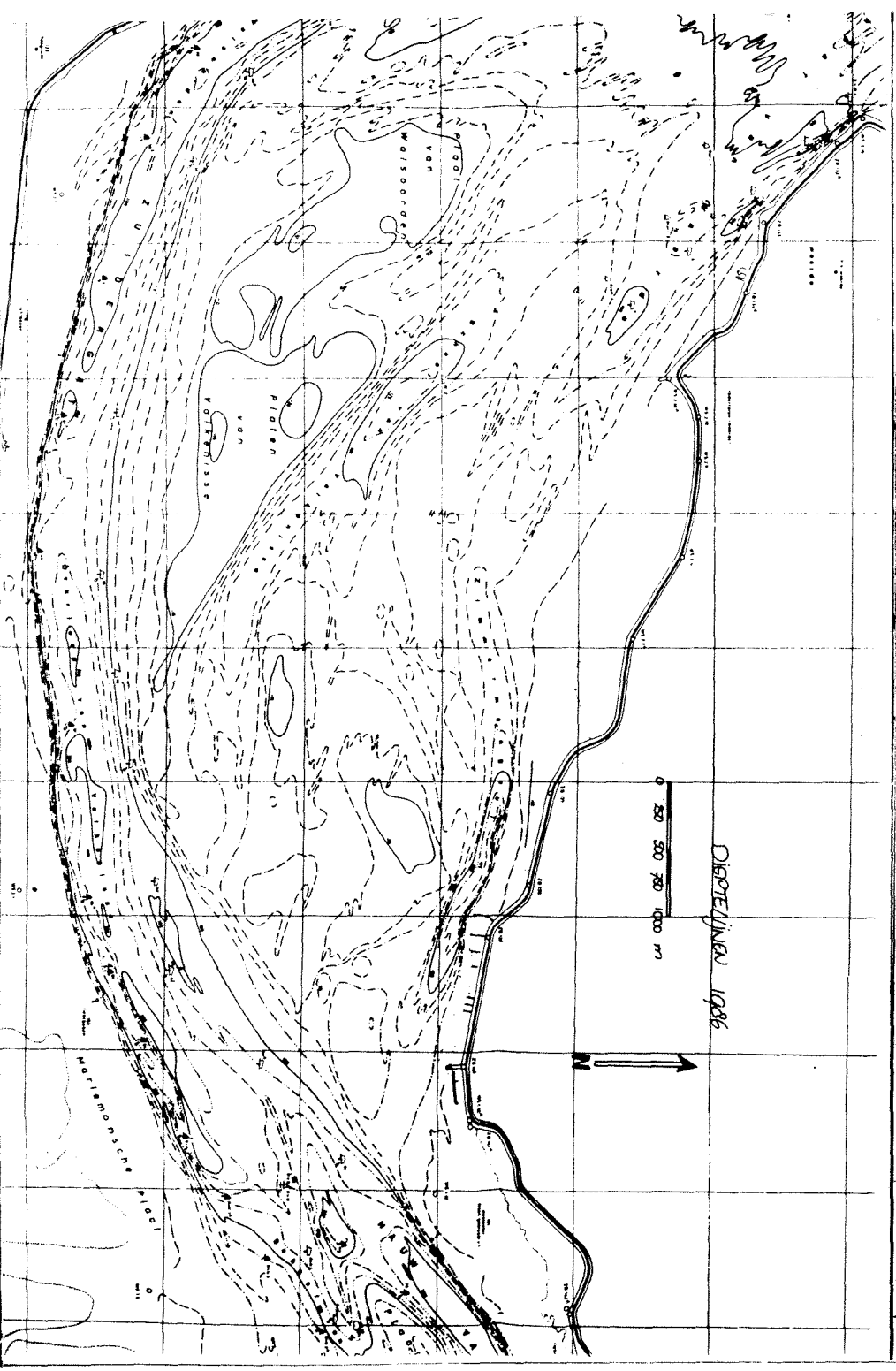
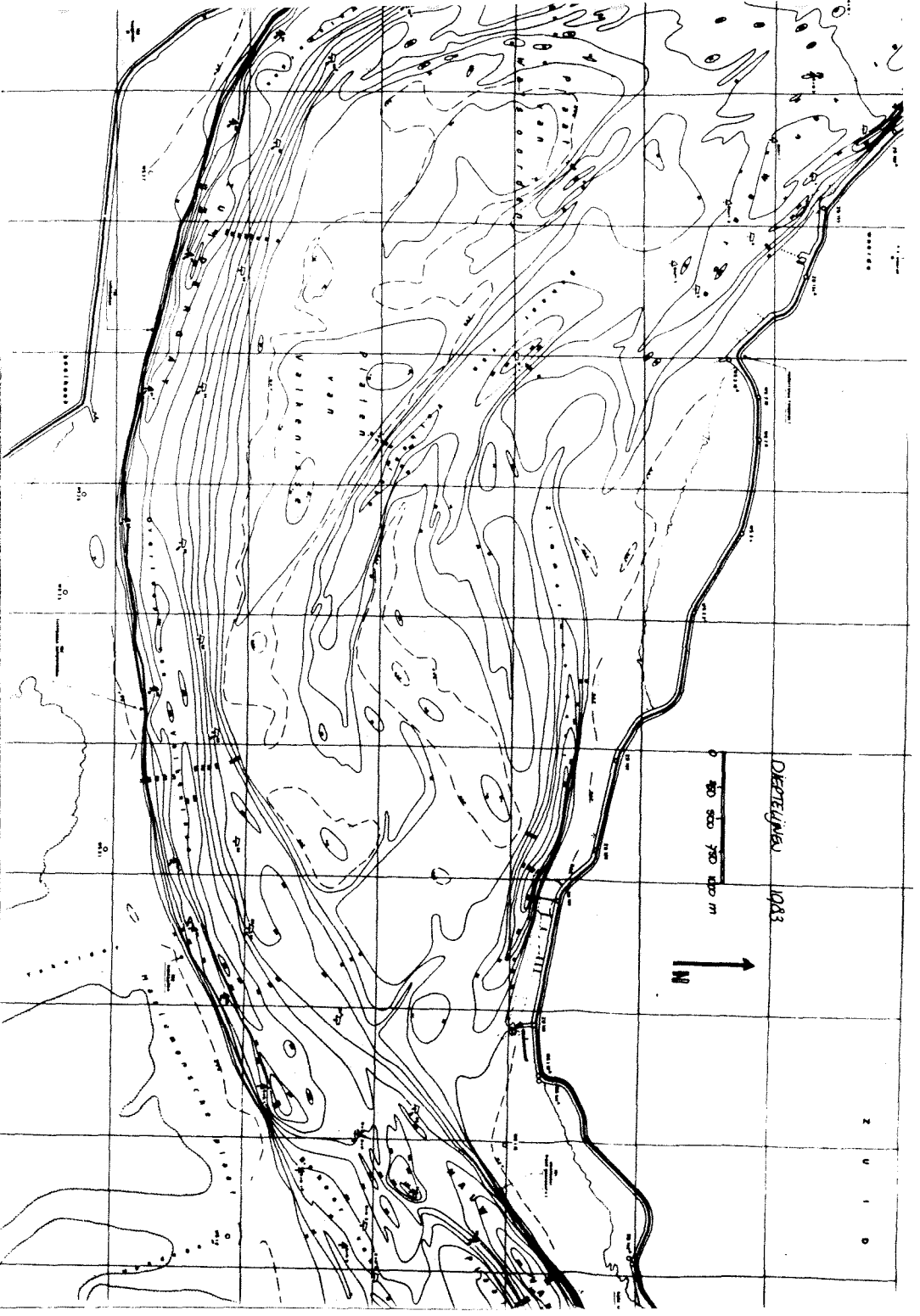


Fig. 4.5: vervolg.

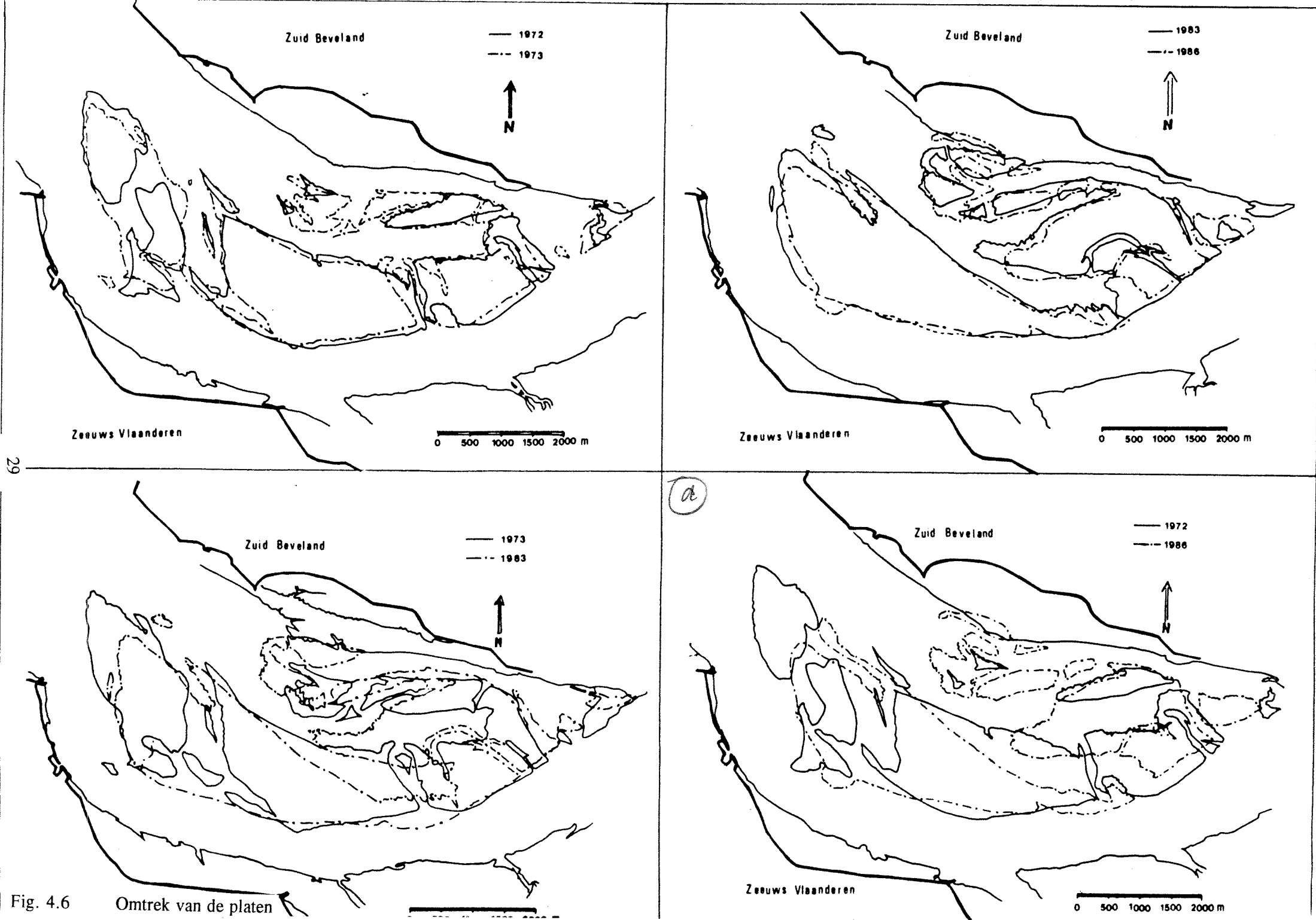


Fig. 4.6

Omtrek van de platen

1972: De uitloop van de Zimmermangeul is breed. De derde drempelgeul bevindt zich in het zuidelijke deel van de uitloop. Ten zuidwesten hiervan is nog net een restant van de tweede drempelgeul zichtbaar.

Tussen de Plaat van Walsoorden en de Platen van Valkenisse ligt een brede vloedschaar: de Schaar van Waarde.

De schaar van Valkenisse heeft een oostelijke ligging en loopt dood in de Platen van Valkenisse. De kop van de Plaat van Walsoorden ligt relatief ver naar het noord-westen en bestaat uit twee delen.

1973: De uitloop van de Zimmermangeul begint grote ondiepe delen te vertonen. De drempelgeulen zijn naar het zuidwesten gemigreerd.

De Schaar van Waarde ligt vrijwel op de zelfde plaats als in 1972. De oostelijke uitloop begint echter te verzanden.

De Schaar van Valkenisse is nauwelijks veranderd.

De kop van de Plaat van Walsoorden is in minder dan één jaar tijd ruim 150 m naar het zuidoosten verschoven. De Plaat van Walsoorden bestaat uit één Plaat.

De Platen tussen de Schaar van Valkenisse en de Zimmermangeul zijn verder uitgebouwd. Dit is mogelijk het effect van een lagere waterstand.

1983: De Zimmermangeul is verder in betekenis achteruit gegaan.

De vloedschaar tussen de Plaat van Walsoorden en de Platen van Valkenisse (de uitloop van de Schaar van Waarde) is geheel verzand, zodat een grote aaneengesloten plaat is ontstaan.

De Schaar van Valkenisse is naar het zuidoosten gedraaid.

Ten noorden van deze schaar hebben de platen zich uitgebreid.

De kop van de Plaat van Walsoorden is ruim 800 m naar het zuidoosten gemigreerd. De uitstekende delen aan de zuidwest rand van de plaat zijn door baggerwerkzaamheden verdwenen, zodat het Zuidergat breder is geworden.

1986: De Schaar van Valkenisse is door de Platen van Valkenisse heen gebroken en komt uit in de Overloop van Valkenisse. De ontwikkeling van de Schaar van Valkenisse hangt waarschijnlijk samen met het verzanden van de oude Schaar van Waarde en de steeds ondieper wordende Zimmermangeul, zodat een steeds groter deel van het debiet door de Schaar van Valkenisse gaat. De kop van de Plaat van Walsoorden is ongeveer 250 m naar het zuidoosten opgeschoven. Het gedeelte van de plaat grenzend aan het Zuidergat is vrijwel niet veranderd.

Conclusies

De belangrijkste ontwikkelingen tussen 1972 en 1986 zijn

- Het opschuiven van de kop van de Plaat van Walsoorden. Deze is in 14 jaar tijd zo'n 1350 meter naar het zuidoosten verplaatst (fig. 4.6 d).
- Het verzanden van de uitloop van de Schaar van Waarde.
- Het ondieper worden van de Zimmermangeul.
- De zuidelijke verplaatsing van met name het oostelijke deel van de Schaar van Valkenisse, welke tevens in staat is geweest door de Platen van Valkenisse heen te breken.
- De sterke uitbreiding van de platen ten noorden van de Schaar van Valkenisse.

Het verloop van het totale plaatoppervlak is weergegeven in tabel 4.3 (paragraaf 4.3.3). Het totale plaatoppervlak neemt toe van 1972 tot en met 1983. Daarna neemt het terug af. De toename is vooral het gevolg van sedimentatie in het gebied ten noorden van de Schaar van Valkenisse. De afname van het totale plaatoppervlak na 1983 is het gevolg van het doorbreken van de Schaar van Valkenisse door de meest oostelijk gelegen platen en erosie aan de Plaat van Walsoorden.

Ontwikkeling in het verticale vlak

De ontwikkelingen in het verticale vlak zullen voor de periode 1971 tot en met 1986 worden besproken aan de hand van een zestal hoogteraaien (fig. 4.7 en 4.8). Deze raaien zijn zo gekozen dat de dwarsraaien zoveel mogelijk loodrecht op de hoofdgeul liggen en de langstraaien zoveel mogelijk samenvallen met de lengterichting van de platen.

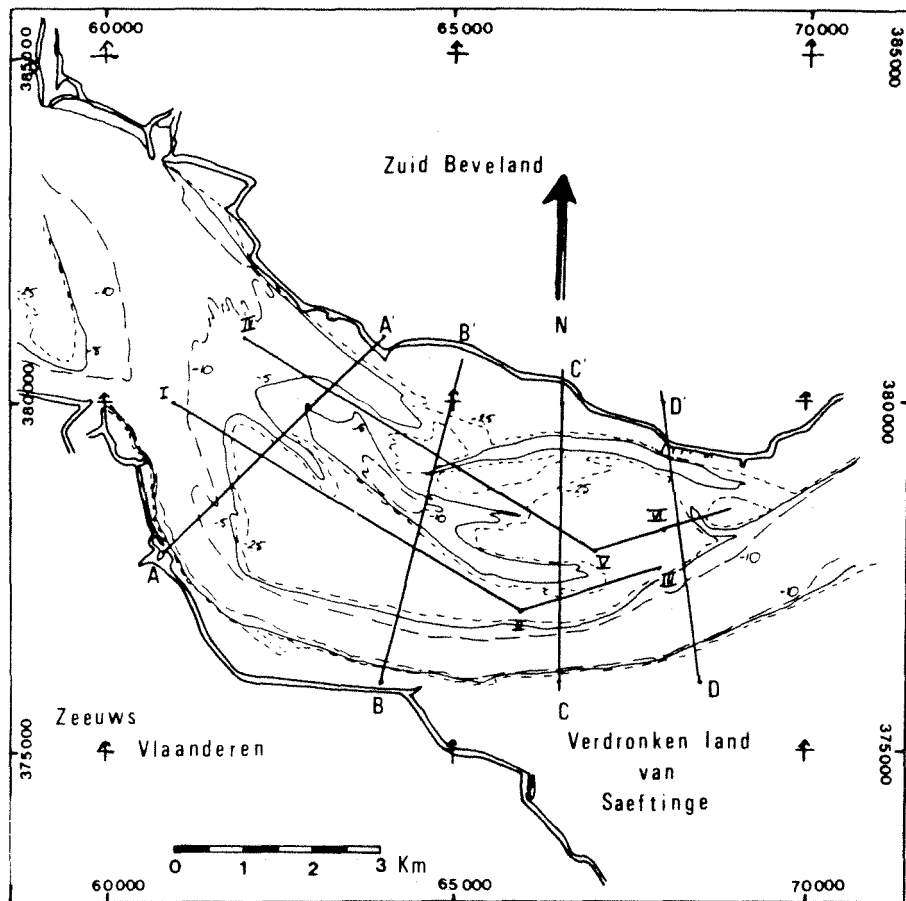
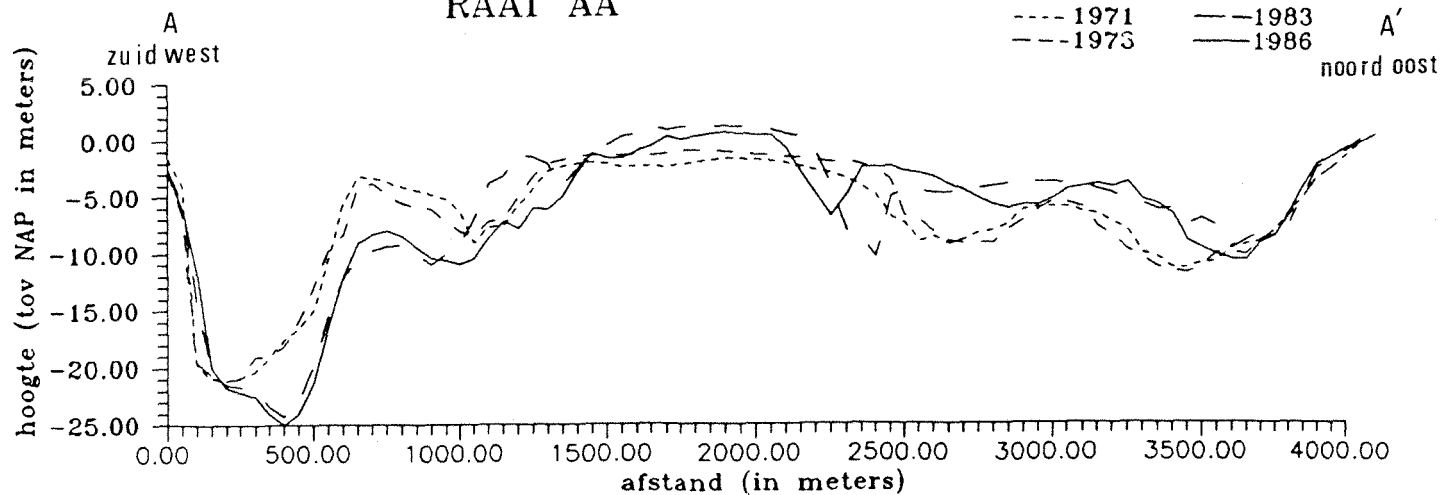


Fig. 4.7 Ligging van de hoogteraaien

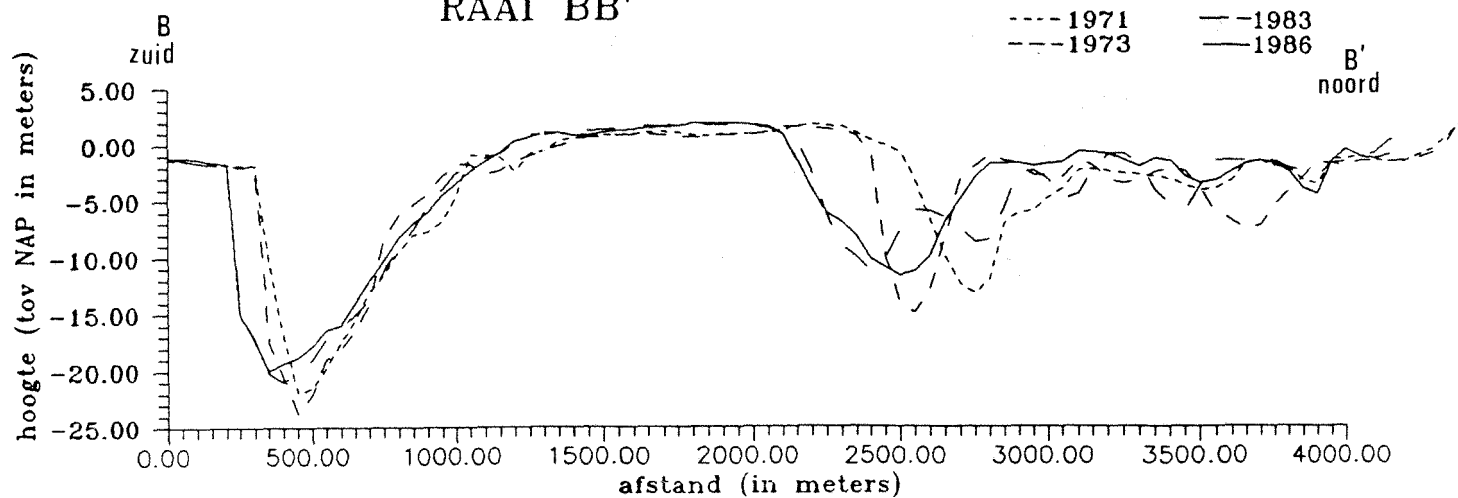
Raai AA': Raai AA' ligt over de Plaat van Walsoorden en het westelijke deel van het Zuidergat. Het Zuidergat is 35 tot 50 m breder en maximaal 10 m dieper geworden. De zuidwestelijke plaatrand is na 1973 ongeveer 4 m lager komen te liggen. Het midden van de plaat wordt gekenmerkt door een ophoging van 2 tot 2.5 m. Het hoogste deel van de plaat is smaller geworden.

Raai BB': Raai BB' wordt gekenmerkt door een geringe ophoging van de Platen van Valkenisse (ongeveer 1 m). Duidelijk is te zien dat de Schaar van Valkenisse naar het zuiden is gemigreerd en op de plaats van de raai zo'n 2 m ondieper is geworden. In het platengebied ten noorden van de Schaar van Valkenisse is plaatselijk meer dan 5 m sedimentatie opgetreden. Een groter deel van dit gebied valt daardoor bij laagwater droog. Het Zuidergat is 2 m ondieper geworden en is tevens door uitbochting enigszins naar het zuiden gemigreerd.

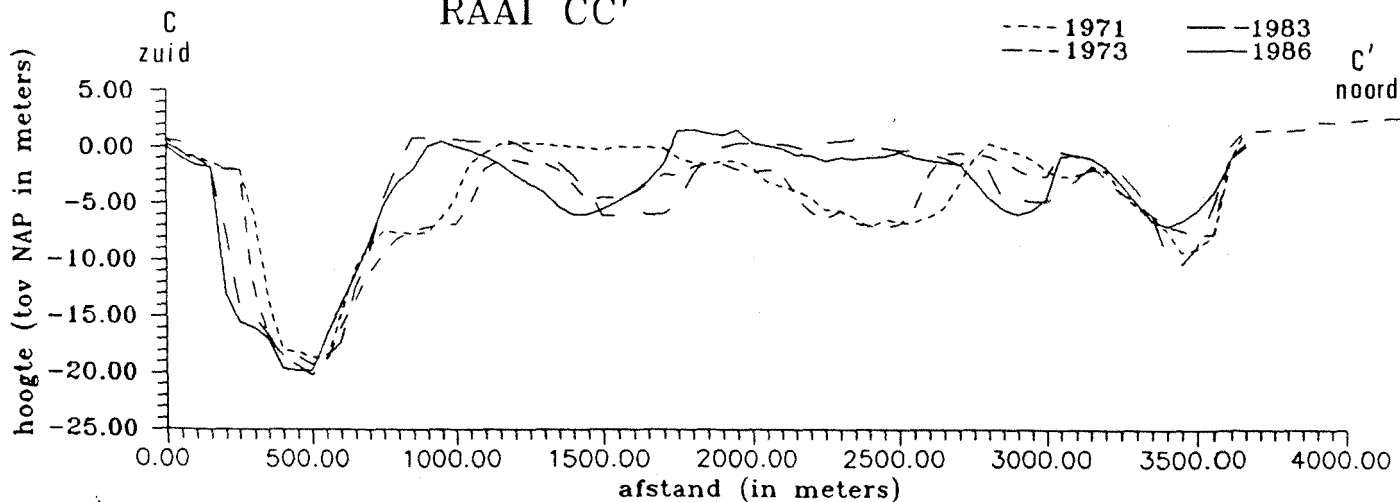
RAAI AA'



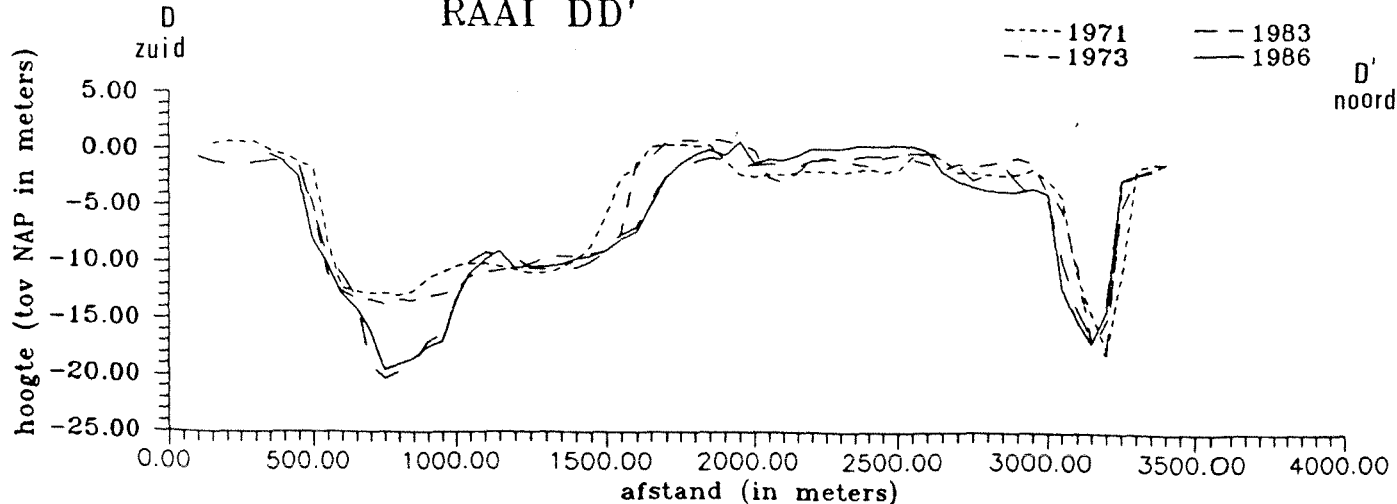
RAAI BB'



RAAI CC'



RAAI DD'



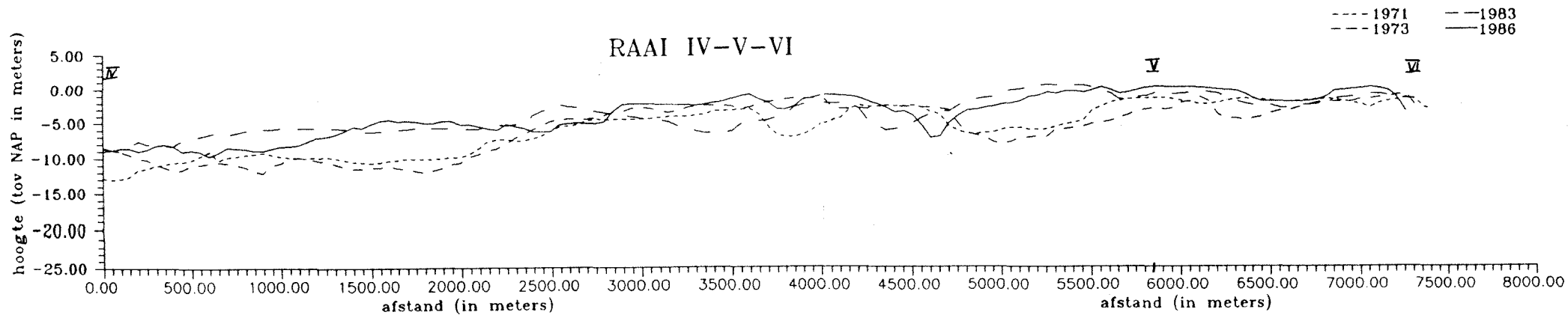
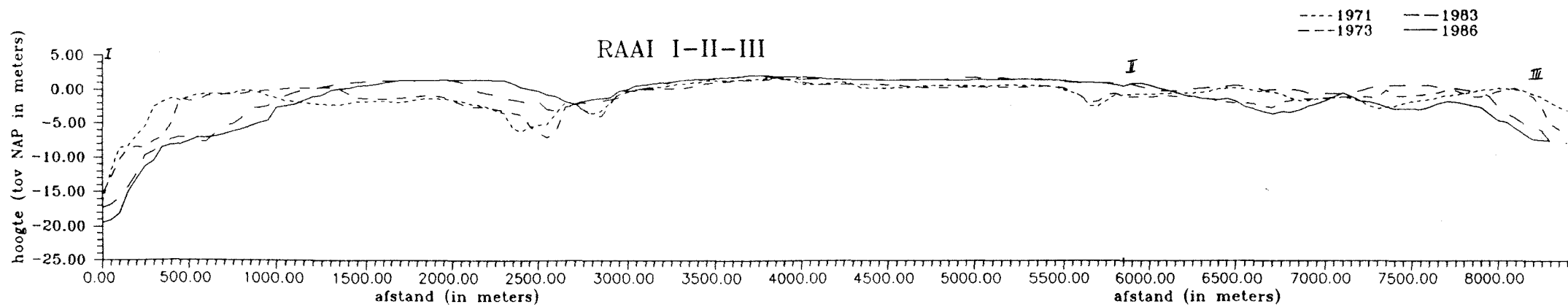


Fig. 4.8: vervolg.

Raai CC': Raai CC' toont eveneens de ophoging van het platengebied ten noorden van de Platen van Valkenisse. Op de plaats waar in 1972/73 de Schaar van Waarde heeft gelegen is meer dan 6 m gesedimenteerd. Het doorbreken van de Schaar van Valkenisse door de Platen van Valkenisse is zichtbaar op 1400 m vanaf het beginpunt van de raai. De Overloop van Valkenisse is in dit deel ongeveer 120 m breder geworden. De diepte is vrijwel gelijk gebleven. De zuidelijke rand van de Platen van Valkenisse is 7.5 m hoger en daardoor ook steiler geworden.

Raai DD': De platen ten zuiden van de Zimmermangeul zijn in het zuiden ongeveer 2 m opgehoogd. In het noorden heeft echter 1.5 m erosie plaats gevonden. De zuidoostelijke rand van de platen is eveneens sterk geërodeerd. De Overloop van Valkenisse is hier ruim 6 m dieper geworden.

Raai I-II-III: Te zien is dat de kop van de Plaat van Walsoorden naar het zuidoosten is verschoven. Ter hoogte van de laagwater lijn bedraagt deze verplaatsing zo'n 750 m. Figuur 4.4 duidt op een grotere verplaatsing. Dit komt doordat in figuur 4.4 de verplaatsing van de punt is gemeten. De raai valt hier niet precies mee samen. De oostelijke uitloop van de Schaar van Waarde is verzand. Tussen de punten I en II heeft sedimentatie plaats gevonden. Tussen de punten II en III heeft echter erosie plaats gevonden.

Raai IV-V-VI: In het gebied ten noorden van de Schaar van Valkenisse heeft vrijwel overal sedimentatie plaats gevonden. Plaatselijk is er sprake van 5 à 6 m sedimentatie in 14 jaar tijd. Het oppervlak dat bij laagwater droog valt is daardoor toegenomen.

Dezelfde ontwikkelingen zijn zichtbaar in de erosie/sedimentatie kaart over het tijdvak 1965-1985 (zie van den Berg et al, 1991).

4.3.3. De micromorfologie

De micromorfologie zal per opname worden besproken aan de hand van de kaartjes van figuur 4.4 en tabel 4.3. Figuur 4.4 toont de ruimtelijke verdeling van de verschillende eenheden. Voor de migratie richtingen van de ribbels wordt eveneens verwezen naar figuur 4.4. Tabel 4.3 toont de oppervlakte veranderingen per eenheid. De oppervlakten zijn gegeven in 10^6 m^3 . Tevens is per eenheid het oppervlak uitgedrukt in procenten van het totale plaatoppervlak.

Tabel 4.3 Oppervlakten per jaar per eenheid

oppervlakten (10 ⁶ m ³)	1972	1973	1983	1986
vlak, hoog E-niveau	1.34 (15.1%)	0.78 (7.5%)	2.11 (18.8%)	2.59 (25.1%)
vlak, laag E-niveau, slibarm	2.06 (23.2%)	1.74 (16.8%)	2.59 (23.1%)	1.05 (10.2%)
vlak, laag E-niveau, slibrijk	0.90 (10.2%)	1.22 (11.8%)	0.59 (5.3%)	2.48 (24.0%)
totaal vlakke gebieden	4.31 (48.5%)	3.73 (36.1%)	5.28 (47.1%)	6.13 (59.5%)
2-D ribbels lengte < 10 m	1.81 (20.3%)	1.07 (10.3%)	0.55 (4.9%)	0.52 (5.1%)
2-D ribbels lengte > 10m	0.58 (6.6%)	1.34 (12.9%)	1.89 (16.9%)	1.39 (13.5%)
3-D ribbels lengte < 10 m	--	0.41 (4.0%)	0.33 (3.0%)	--
3-D ribbels lengte > 10 m	2.19 (24.6%)	3.79 (36.7%)	3.16 (28.1%)	2.28 (22.1%)
totaal gebieden met ribbels	4.58 (51.5%)	6.61 (63.9%)	5.93 (52.9%)	4.20 (40.6%)
totaal	8.89	10.34	11.21	10.32

1972: De plaat van Walsoorden is zeer dynamisch. Dit blijkt uit de grote drie-dimensionale ribbels, die vrijwel de hele plaat bedekken. De ribbels zijn vloedgedomineerd. Ook aan de randen van de Platen van Valkenisse komen vloedgedomineerde 3-D ribbels van meer dan 10 m lengte voor. De noordoost kant van de overige platen wordt eveneens door deze ribbels bedekt. De centrale delen van de Platen van Valkenisse zijn vlak en van een laag energie niveau, omdat deze in de luwte liggen van de kop van de Plaat van Walsoorden. De zuidoost kant van de meest dynamische platen wordt gekenmerkt door ebgedomineerde tweedimensionale ribbels met een lengte van minder dan 10 m.

1973: Op het eerste gezicht lijkt de ruimtelijke verdeling van de ribbels hetzelfde als in 1972, er zijn echter minder vlakke gebieden dan in 1972 (zie tabel 4.3). Waarschijnlijk is dit het gevolg van de doottij/springtijcyclus. De opname van 1972 is drie dagen na springtij gevlogen bij een getijverschil van 4.38 m. De opname van 1973 is echter bij een getijverschil van 4.85 m gevlogen, direkt na springtij. Naarmate het getij verschil groter is zijn de stroomsnelheden

hoger. Dit heeft tot gevolg dat er meer en grotere ribbels zijn.

1983: De plaat van Walsoorden en de Platen van Valkenisse vormen samen één geheel. Op de plaatsen waar de vloedstroom de plaat opstroomt komen vloedgedomineerde 3-D ribbels voor met een lengte van (meestal) meer dan 10 m.

De platen ten zuiden van de Schaar van Valkenisse zijn minder dynamisch dan de veel recenter gevormde platen ten noorden hiervan. Dit blijkt uit het feit dat de platen ten noorden van de Schaar van Valkenisse gekenmerkt worden door grote gebieden met ribbels langer dan 10 m en relatief weinig vlakke gebieden. De platen ten zuiden van de Schaar van Valkenisse worden daarentegen gekenmerkt door grote, vlakke gebieden, duidend op lagere stroomsnelheden.

De meeste ribbelvelden zijn vloed gedomineerd. Alleen aan de oostkant van platen komen eb-ribbels voor, omdat de ebstroom hier de platen op stroomt.

Omdat van de zuidrand van de Platen van Valkenisse moeilijk te zeggen is tot welke eenheid hij behoort, wordt hij weergegeven met een onderbroken lijn (De zuid rand is gevlogen bij een waterstand van bijna N.A.P. +0.5 m).

1986: Daar waar de vloedstroom de platen op stroomt zijn vloed gedomineerde 3-D ribbels te zien met een lengte van meer dan 10 m. De oostkant van de platen wordt gekenmerkt door 2-D ribbels die ebgedomineerd zijn. Op de platen grenzend aan de Zimmermangeul neemt het aandeel ebgedomineerde ribbels met een lengte van meer dan 10 m toe. Dit is mogelijk een gevolg van het feit dat de Zimmermangeul eind jaren '80 een ebgedomineerde geul is (zie ook tabel 4.2).

De noordrand van de Platen van Valkenisse is vlak en, ten gevolge van de relatief hoge stroomsnelheden langs de plaatranden, van een hoog energie niveau. De centrale delen zijn vlak en van een laag energie niveau, omdat deze in de "luwte" liggen. De snelheden nemen op de kop van de Plaat van Walsoorden reeds af als gevolg van wrijving. Er zijn grote slibrijke gebieden waarneembaar. Op de plaat ten zuiden van de Zimmermangeul sedimenteert ook slib. Ook hier is waarschijnlijk sprake van een luwte-effect. Dit slibveld vormt de scheiding tussen de eb- en de vloedgedomineerde ribbels. Opvallend is dat de grens tussen eb- en vloedgedomineerde ribbels meerdere keren gevormd wordt door een vlak gebied (zie bijvoorbeeld de plaat in de uitloop van de Zimmermangeul in 1986 en de plaatrand ten zuiden van de Zimmermangeul in 1983). De meest recent gevormde en laagst gelegen platen zijn het meest dynamisch en worden daarom gekenmerkt door lange, onregelmatige ribbels.

Conclusie

Uit tabel 4.3 blijkt dat er geen sprake is van een duidelijke trend in de ontwikkeling van de micromorfologie. Van 1972 tot en met 1983 wordt meer dan 50% van het totale plaatoppervlak gekenmerkt door ribbels. In 1972 en 1973 wordt dit percentage bereikt doordat grote delen van de platen van Valkenisse en van de Plaat van Walsoorden met ribbels bedekt zijn. In 1983 worden deze platen echter grotendeels gekenmerkt door vlakke gebieden. Het percentage van het totale plaatoppervlak dat gekenmerkt wordt door ribbels blijft echter meer dan 50% bedragen doordat in het noorden en in het oosten grote plaatoppervlakten droogvallen die gekenmerkt worden door ribbels. Na 1986 neemt dit percentage af tot 40.6%. Waarschijnlijk is dit het gevolg van het doorbreken van de Schaar van Valkenisse door de meest oostelijk gelegen platen. Hierbij zijn grote delen van met ribbels bedekte plaatgebieden geërodeerd.

Met betrekking tot de migratie richtingen valt op te merken dat de westkant van de platen vloed- en de oostkant van de platen ebgedomineerd zijn. De platen zijn overwegend vloedgedomineerd. Dit komt doordat de maximum vloedstroom optreedt bij een waterstand van ongeveer NAP + 1.5 m. De platen liggen dan grotendeels onder water. De maximum ebstroom treedt op bij een waterstand van ongeveer NAP -1.0 m, veel platen zijn dan reeds droog gevallen.

4.3.4. Fouten discussie

Mogelijke foutenbronnen in de bepaling van de (deel)oppervlakten zijn:

- De toekenning slibarm/slibrijk op basis van drainagepatronen en mate van reflectie in plaats van op basis van korrelgrootte analyse.
- Het trekken van grenzen bij graduele overgangen. Vaak is de overgang geleidelijk, ribbels worden geleidelijk groter of krijgen geleidelijk een ander kamlijnpatroon. De ligging van de grens is dan moeilijk vast te stellen.
- Deelgebieden die te klein zijn om op deze schaal als aparte eenheden te worden aangegeven en om die reden achterwege zijn gelaten.
- De per opname verschillende waterstand waardoor delen van bepaalde eenheden niet zichtbaar zijn. Ook voor het totaal oppervlak heeft dit gevolgen.
- De springtij-doodtij cyclus. Tijdens springtij zijn de stroomsnelheden hoger, waardoor de ribbels groter en onregelmatiger zijn en er minder vlakke gebieden te zien zijn.
- De tijd van het jaar waarin de opname gemaakt is kan een rol spelen. Immers, wanneer de temperatuur van het water daalt neemt de viscositeit toe. Een toename van de viscositeit

heeft het zelfde effect als een afname van de korrelgrootte (de valsnelheid neemt af). Dit betekent dat bij gelijke stroomsnelheden in een bepaald gebied 's zomers sprake kan zijn van duinen terwijl er 's winters alleen kleinschalige ribbels te zien zijn. Bij een mediane korrelgrootte van 150 μm kan een temperatuur verschil van enkele graden al genoeg zijn om deze overgang plaats te laten vinden. Daar het merendeel van de opnamen vroeg in het voorjaar gemaakt is zal dit verschijnsel vrijwel geen effect hebben op de ruimtelijke verdeling van de micromorfologie.

- De 18,6 jarige cyclus in de getij-amplitude ten gevolge van de helling van de baan van de maan. Als gevolg van deze cyclus bereiken de getijverschillen en daarmee samenhangend de stroomsnelheden rond 1969/1970 een minimale waarde. Rond 1979 zijn de getijverschillen, als gevolg van deze cyclus, maximaal. In het bestudeerde gebied bedraagt de toename van het getijverschil ten gevolge van deze cyclus ongeveer 20 cm (de Looff en van Malde, 1976). Veranderingen in getijverschil ten gevolge van de doottij/springtij cyclus bedragen ongeveer 1.4 m. Omdat de meest dynamische vormen binnen de micromorfologie zich in enkele dagen aan kunnen passen aan veranderende stromingscondities, is het waarschijnlijk dat de effecten van de 18.6 jarige cyclus van ondergeschikt belang zijn. De slibrijke gebieden worden gekenmerkt door een langere relaxatietijd, waardoor effecten van de 18.6 jarige cyclus wel een rol kunnen spelen.



4.4. Verbanden en relaties tussen baggeractiviteiten, hydrodynamiek en morfologie

4.4.1. Effecten op de macromorfologie

De invloed van baggerwerkzaamheden op de hydraulische ontwikkeling bestaat voornamelijk uit een herverdeling van de getijvolumina over de verschillende geulen. De belangrijkste ontwikkeling is de toename van het deel van zowel het eb als het vloed volume dat door het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse stroomt. Doordat een groter deel van het getij volume door de hoofdgeul gaat zijn de vloedscharen in betekenis afgenomen. Dit wordt nog versterkt door de baggerspecie die in de Schaar van Waarde en in de Zimmermangeul wordt gestort.

Als gevolg van het storten van baggerspecie in de Schaar van Waarde is deze vloedschaar uit evenwicht geraakt. Het vloeddebiet is te groot voor het verkleinde doorstroomprofiel (Beleidsplan Westerschelde, 1989). Dit heeft een netto zandtransport in vloed richting tot gevolg. Het zand komt voor een deel terug in de hoofdgeul en voor een deel op de platen in dit gebied terecht en heeft een sterke ophoging van het platengebied tot gevolg.

Een tweede belangrijk effect van baggeractiviteiten op de macromorfologie is het vastleggen van de geulen. De hoofdgeul wordt op diepte gehouden door onderhouds baggerwerkzaamheden. Platen die te ver naar de hoofdgeul dreigen uit te bouwen worden eveneens door baggerwerkzaamheden op hun plaats gehouden. Tevens wordt in een aantal vloed scharen, waaronder de Schaar van Waarde, gestort om schaarvorming af te remmen en de vloed stroom zoveel mogelijk door de hoofdgeul te laten gaan. Dit heeft tot gevolg dat de scharen zich minder goed kunnen ontwikkelen en ook minder mobiel zijn. Ze zijn daardoor niet in staat de platen te eroderen, zodat deze zich ongestoord op kunnen hogen.

Het is echter niet bekend in hoeverre de "zandhonger" van de geulen, als gevolg van baggerwerkzaamheden, niet ten koste van de plaatgebieden zal gaan.

Een derde effect van het baggeren is het terugdringen van de plaatranden. Het Zuidergat wordt op breedte gehouden door baggerwerkzaamheden aan de zuidwestkant van de Platen van Walsoorden. De kop van de Plaat van Walsoorden migreert in zuidoostelijke richting waarschijnlijk in verband met baggerwerkzaamheden op de drempel van Hansweert.

4.4.2. Effecten op de micromorfologie

De relatie tussen baggeractiviteiten, hydrodynamiek en micromorfologie is niet direkt aan te geven. Waarschijnlijk is het zo dat er relatief grote slibrijke gebieden kunnen ontstaan doordat de platen hoger worden en de stroomsnelheden, als gevolg van wrijving, afnemen. Daarnaast ontstaan ook nieuwe platen, zoals de platen ten noorden van de Schaar van Valkenisse. De nieuw gevormde platen liggen laag en de stroomsnelheden zijn hoog doordat er minder energieverlies als gevolg van wrijving heeft plaatsgevonden. Zodat de nieuwe plaatgebieden veel dynamischer zijn.

Uit tabel 4.3 blijkt dat het totaal oppervlak aan vlakke gebieden de laatste jaren sterker is toegenomen dan het totaal oppervlak van de met ribbels bedekte gebieden. Dit is met name het gevolg van het minder dynamisch worden van de Plaat van Walsoorden en de Platen van Valkenisse en erosie van dynamische plaatgebieden bij het doorbreken van de Schaar van Valkenisse door

de meest oostelijk gelegen platen.

5. CONCLUSIES

- Baggerwerkzaamheden veroorzaken een herverdeling van de getijvolumina. Ten gevolge van het baggeren in de hoofdgeul stroomt een steeds groter deel van het getij volume stroomt door de hoofdgeul. Het volume dat door de vloedscharen gaat neemt door het storten in de nevengeulen af.
- De Schaar van Waarde is ten gevolge van het storten van baggerspecie uit evenwicht geraakt. De maximale vloedstroomsnelheden zijn te hoog zodat een netto vloedtransport van zand optreedt. Daar dit zand gedeeltelijk op de platen terecht komt draagt dit bij tot ophoging van dit platengebied. Tevens kunnen veel nieuwe platen ontstaan en/of uitbreiden.
- Door baggerwerkzaamheden in de hoofdgeul en stortingen in de vloedscharen wordt schaarvorming tegengegaan. Dit heeft tot gevolg dat plaatgebieden niet meer worden geërodeerd en in hoogte toe kunnen nemen.
- Doordat de platen hoger komen te liggen nemen de stroomsnelheden af. De hogere delen binnen het platen gebied zijn daarom vlak. Op de hoogste en/of in de luwte gelegen plaatdelen zijn de snelheden zo ver afgenomen dat slib kan sedimenteren.
- De lager gelegen platen, of delen daarvan, zoals plaatranden en/of recent gevormde platen, zijn dynamisch en worden gekenmerkt door ribbels. De westkant van de platen wordt gekenmerkt door vloedgedomineerde 3-D ribbels van meer dan 10 m lengte. De oostkant van de platen wordt gekenmerkt door kleinere, ebgedomineerde ribbels met een lengte van (meestal) minder dan 10 m. Deze ribbels zijn meestal 2-D.
- Het residuele transport in de richting van de vloedstroming draagt bij tot uitbreiding van het noordelijke platengebied van de Platen van Valkenisse. Deze plaatgebieden worden gekenmerkt door vloedgedomineerde 3-D ribbels met een lengte groter dan 10 m. De "zuidelijke" Platen van Valkenisse worden echter gekenmerkt door een toename in het percentage vlakke gebieden. Uit tabel 4.3 blijkt dat het aandeel vlakke gebieden toeneemt ten koste van de met ribbels bedekte gebieden. Het is echter moeilijk na te gaan in hoeverre de waargenomen veranderingen daadwerkelijk het gevolg zijn van bagger- en stortactiviteiten

in het betreffende gebied. Tevens is niet met zekerheid te zeggen of er sprake is van een trend of van ruis. De tijdreeks is hiervoor te kort en het aantal opnamen te gering.

LITERATUURLIJST

- Allen, J.R.L., 1984: Sedimentary structures, their character and physical basis. Developments in sedimentology, vol. 30, 307-344.
- Belmans, H., 1988: Verdiepings- en onderhoudsbaggerwerkzaamheden in Westeren Zeeschelde. Water, nr. 43, 184-194.
- Berg, J.H. van den, D. Schouten en C.J.V. Westenbrugge, 1991: Zandbalans Westerschelde 1965-'70-'75-'80-'85. Nota Directie Zeeland, RWS, NWL-91.36.
- Eysink, W.D., 1979: Morfologie van de Waddenzee, gevolgen van zand- en schelpenwinning. R 1336, Waterloopkundig Laboratorium.
- Jong, H. de, 1989: Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932 (voorlopige versie). RWS nota GWAO-89.1004.
- Looff, D. de en J. van Malde, 1976: Over de cyclus der zogenaamde drempelgeulen in de oostelijke uitloop van de Zimmermangeul. Publikatie van de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, studiedienst Vlissingen, RWS.
- Rijn, L.C. van, 1989: Handbook sediment transport by currents and waves, part 1. Prepared for Delft Hydraulics.
- Storm, C. en J.H.M. de Ruig, 1990: Problematiek van het baggeren en storten in het oostelijk deel van de Westerschelde. Deel rapportage oostwest, RWS.
- Tromp, D. en J.P. Swart, 1988: Consequenties van het op diepte houden van de vaargeul in de Westerschelde. Water, nr.43, 105-199.
- Werkgroep Waterbeheer Westerschelde (RWS), 1989: Beleidsplan Westerschelde, de ecologische ontwikkeling van de Westerschelde, deelrapport 4, morfologische structuur en dynamiek, RWS, DGW en Directie Zeeland.

**DE BODEMMORFOLOGIE IN DE GEULEN
VAN HET OOSTELIJK DEEL VAN DE WESTERSCHELDE**

door Gerben Ruessink
Zeist, oktober 1991

INHOUDSOPGAVE

Titel	Pagina
Lijst van figuren.....	i
Lijst van tabellen.....	iii
Lijst van kaarten.....	iv
1. Inleiding.....	1
2. Werkwijze.....	2
3. Relatie tussen ribbelkarakteristieken en waterbewe- ging in een estuarium.....	6
4. Beschrijving van de ribbelparameters in het oostelijk deel van de Westerschelde.....	9
4.1. Inleiding.....	9
4.2. De Schaar van Waarde en de Zimmermangeul.....	9
4.3. De Schaar van Valkenisse.....	21
4.4. Het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse.....	32
5. Verklaring van de voorkomende ribbelparameters.....	45
5.1. Inleiding.....	45
5.2. Relatie ribbelparameters met hydraulica.....	45
5.2.1. Snelheden bepaald met debietgegevens.....	45
5.2.2. Snelheidspuntwaarnemingen.....	46
5.3. Relatie ribbelparameters met het verloop van de bodemligging.....	47
6. Conclusies.....	52
Literatuurlijst.....	53

LIJST VAN FIGUREN

1. Ligging van het onderzoeksgebied.
2. Schematische weergave van de vaarassen ten opzichte van de centrale as
3. Relatie tussen ribbellengte (L) en waterdiepte (h)
4. Relatie tussen ribbelhoogte (H) en waterdiepte (h)

- 5a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde
- 6a. Idem: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde
- 7a. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde
8. Schaar van Waarde, doodtij, negatieve zijde (474-898).
Ribbelopeenvolging bij drempel
9. Schaar van Waarde, doodtij, negatieve zijde (572-649).
Stortmateriaal (veen en klei)
- 10a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde
- 11a. Idem: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde
- 12a. Idem: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde
- 13a. Idem: doodtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte tegen
springtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte
 - b. Als 13a met ribbellengte
 - c. Als 13a met ribbelsteilheid

- 14a. Schaar van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde
- 15a. Idem: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde
- 16a. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde

- 17a. Idem: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde
- 18a. Idem: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde
- 19a. Idem: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde
- 20. Schaar van Valkenisse. Springtij, positieve zijde (1725 - 2249). Ribbelopeenvolging bij drempel
- 21a. Schaar van Valkenisse, doodtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte tegen springtij-gewogen-gemiddelde-ribbelhoogte
 - b. Als 21a met ribbellengte
 - c. Als 21a met ribbelsteilheid
- 22a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde
- 23a. Idem: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde
- 24a. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde
- 25a. Idem: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde
- 26a. Idem: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde
 - b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde
- 27a. Idem: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde
 - b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde
- 28a. Zuidergat, as 13. Springtij, negatieve zijde. Ebgeoriënteerde ribbels
 - b. Idem: vloedgeoriënteerde ribbels
- 29a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse, doodtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte tegen springtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte
 - b. Als 29a met ribbellengte
 - c. Als 29a met ribbelsteilheid
- 30a. Maximale ebstroom bij gemiddeld doodtij
 - b. Maximale vloedstroom bij gemiddeld doodtij
- 31a. Maximale ebstroom bij gemiddeld springtij
 - b. Maximale vloedstroom bij gemiddeld springtij

LIJST VAN TABELLEN

1. Begincoördinaten van de assen en de cumulatieve afstand
2. Getijdegegevens
3. Momenten van varen van de sonartracks
4. Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid
Schaar van Waarde en Zimmermangeul
5. Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid
Schaar van Valkenisse
6. Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid
Zuidergat en Overloop van Valkenisse
7. Doorsnede-gemiddelde maximale stroomsnelheden

LIJST VAN KAARTEN

1. Locatie assen. Project OostWest
2. Ribbelhoogte. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Doodtijsituatie 21 tot en met 23 maart 1990. Project OostWest
3. Ribbellengte. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Doodtijsituatie 21 tot en met 23 maart 1990. Project OostWest
4. Ribbelsteilheid. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Doodtijsituatie 21 tot en met 23 maart 1990. Project OostWest
5. Ribbelhoogte. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Springtijsituatie 25 tot en met 28 juni 1990. Project OostWest
6. Ribbellengte. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Springtijsituatie 25 tot en met 28 juni 1990. Project OostWest
7. Ribbelsteilheid. Sonaropname oostelijk deel Westerschelde.
Springtijsituatie 25 tot en met 28 juni 1990. Project OostWest

1. Inleiding

In mei, juni en juli 1991 heb ik in het kader van de studie Fysische Geografie aan de Rijks Universiteit Utrecht stage gelopen bij Rijkswaterstaat, Directie Zeeland te Middelburg.

Het doel van deze stage is het weergeven en het proberen te verklaren van de ribbelkarakteristieken in de stroomgeulen tussen Hansweert en de Westketel. Het onderzoeksgebied is weergegeven in figuur 1.

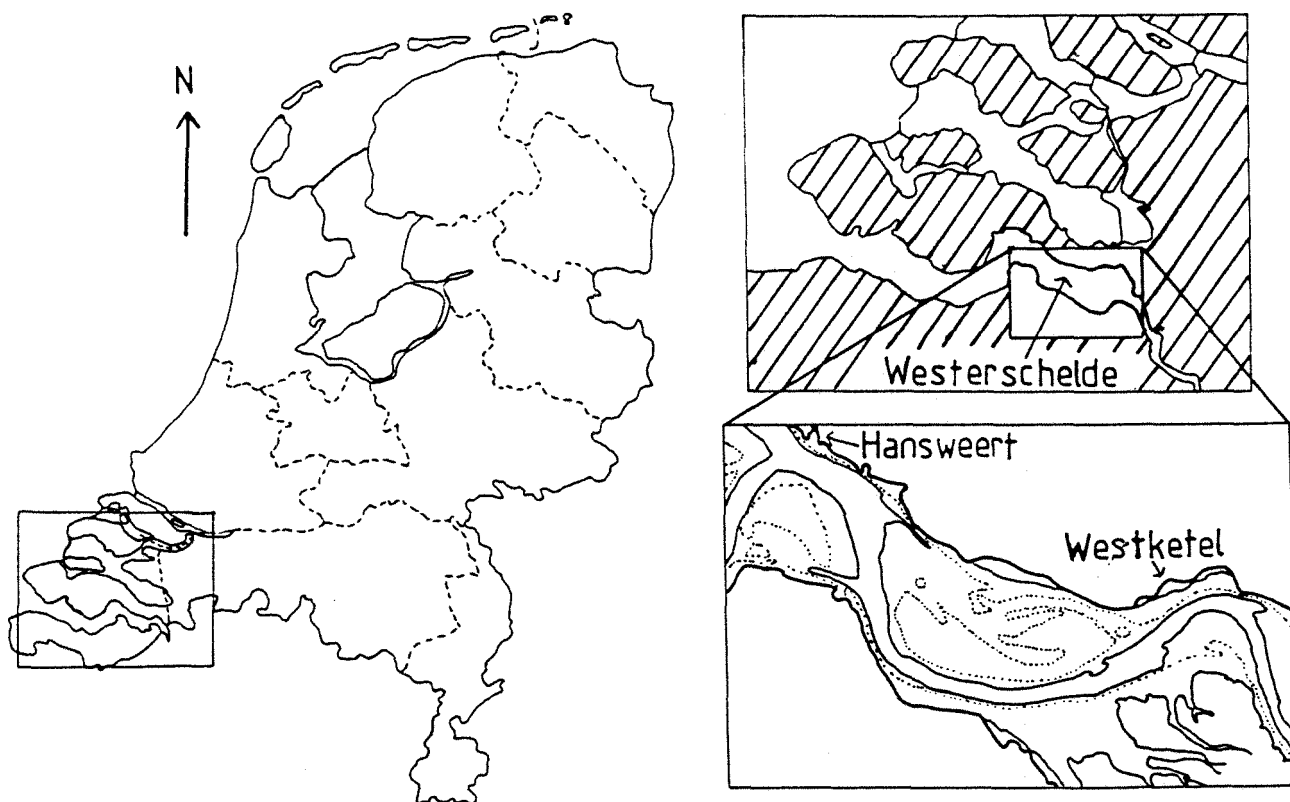


Fig. 1. Ligging van het onderzoeksgebied

De ribbelkarakteristieken zijn verkregen aan de hand van sonar-opnamen, die van 21 tot en met 23 maart 1990 (doodtij) en van 25 tot en met 28 juni 1990 (springtij) in de genoemde stroomgeulen gemaakt zijn. De sonaropnamen zijn uitgevoerd in het kader van het project OostWest.

Aan de hand van de sonarregistraties en een literatuurstudie wordt getracht bovenbeschreven doelstellingen te verwezenlijken.

2. Werkwijze

In de stroomgeulen zijn in totaal 16 assen uitgezet. De ligging van de assen is weergegeven in Kaart 1. Er zijn 3 groepen assen te onderscheiden:

1. as 1 tot en met as 6: Schaar van Waarde en Zimmermangeul
 2. as 7 tot en met as 10: Schaar van Valkenisse
 3. as 11 tot en met as 16: Zuidergat en Overloop van Valkenisse.
- De begincoördinaten en de cumulatieve afstanden langs de assen staan vermeld in tabel 1.

Tabel 1 Begincoördinaten van de assen en de cumulatieve afstand			
Asnummer	Begincoördinaten		Cumulatieve afstand (m)
	X	Y	
1	60750	383200	0
2	62060	381480	2162
3	64040	379900	4695
4	65200	379160	6071
5	67220	379440	8110
6	68470	378950	9453
7	60630	382620	0
8	61590	381260	1665
9	63320	379470	4154
10	66070	377210	7713
11	60530	383120	0
12	60990	378470	4672
13	61770	377260	6111
14	64840	376280	9333
15	67430	376500	11936
16	68870	377030	13457

Evenwijdig aan elke as is op een afstand van 75 m, zowel links als rechts van de as een track gevaren. Per track is een gebied van 100 m breed onderzocht. Links van de centrale as (stroomopwaarts gezien) wordt negatief genoemd, rechts positief. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

De ribbelhoogte, ribbellengte en de migratierichting van alle gevaren tracks zijn vermeld in de notities ZLMD-90.N.037 en ZLMD-90-N.066. De getijdegegevens van bovengenoemde periodes zijn weergegeven in tabel 2.

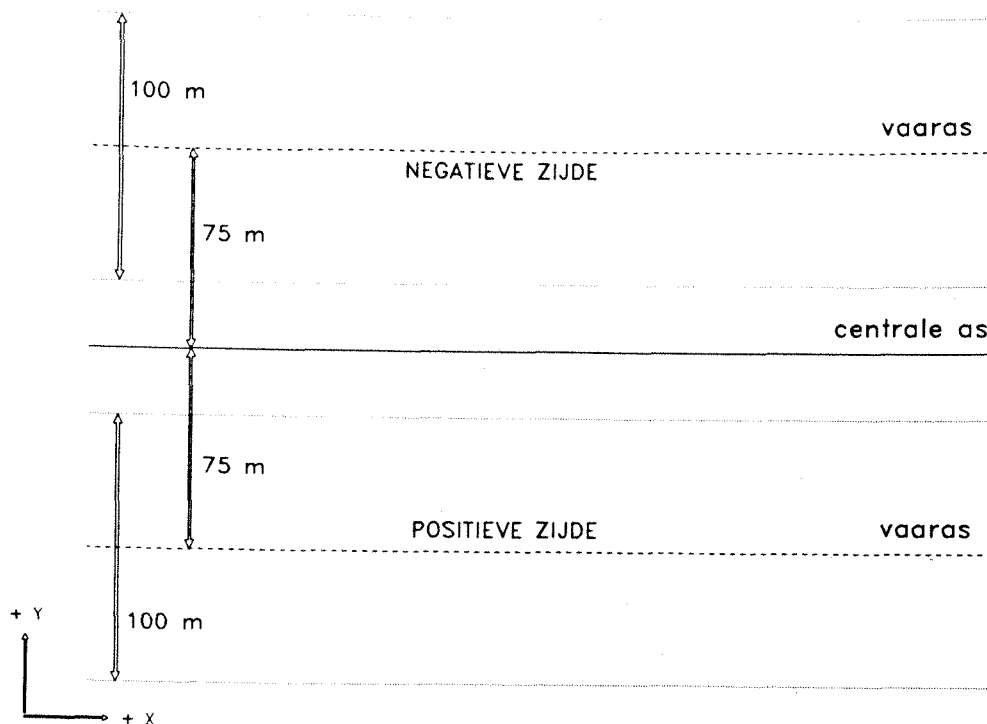


Fig. 2. Schematische weergave van de vaarassen ten opzichte van de centrale as

Tabel 2 Getijdegegevens				
Datum	Hoogwater		Laagwater	
<i>Opname</i>	h min	NAP	h min	NAP
	MET	+ cm	MET	- cm
21-03-1990	09.40	140	02.44	145
	22.26	131	16.15	128
22-03-1990	11.25	152	05.10	150
	-	-	17.56	150
23-03-1990	00.06	158	06.26	177
	12.35	195	18.56	177
25-06-1990	04.15	286	10.41	222
	16.47	259	23.15	259
26-06-1990	05.08	283	11.27	211
	17.36	254	-	-
27-06-1990	05.59	276	00.02	255
	18.19	247	12.10	200
28-06-1990	06.51	263	00.46	247
	19.05	236	12.56	190

Doodt

Springt

De doodtijmetingen zijn uitgevoerd bij windkracht 5 tot 6 Bf uit zuidwest tot west, de springtijmetingen bij windkracht 2 tot 3 Bf uit diverse richtingen. De windbaan in het oostelijk deel van de Westerschelde is gering. Hierdoor is de invloed van de door de wind opgewekte golven op de bodem van de geulen (opwerveling van

geen effect *probleem* *schijnt mogelijk?*
elk ontriddeffat

sediment) te verwaarlozen (zie ook Bucx & Tobias (1989)). De sonogrammen vertonen geen enkel spoor van verstoring door golfwerking (bijvoorbeeld via het schommelen van de boot).

Uit de sonarregistraties zijn de ribbelhoogte H (in cm), de ribbellengte L (in m) en de ribbelmigratierichting (in graden) bepaald. De ribbelhoogte H is in klassen onderverdeeld. De klassebreedte is een veelvoud van 25 cm. Ook de ribbellengte is weer gegeven in klassen. De klassebreedte is nu een veelvoud van 5 m.

De ribbellengte is gedefinieerd als de afstand tussen twee opeenvolgende troggen, de ribbelhoogte als het hoogteverschil tussen de top en de trog van dezelfde ribbel.

Door de indeling in klassen is de bepaling van de ribbelsteilheid (= quotiënt van de ribbelhoogte en -lengte) niet eenduidig. Hier wordt de steilheid van de ribbel gedefinieerd als:

$$ST = \frac{0.5(H_{\min} + H_{\max})}{0.5(L_{\min} + L_{\max})} = \frac{H_{\min} + H_{\max}}{L_{\min} + L_{\max}} \quad (1)$$

waarin ST = steilheid (-)

$H_{\min}, L_{\min}$ = klasse-ondergrens van hoogte resp. lengte (m)

$H_{\max}, L_{\max}$ = klasse-bovengrens van hoogte resp. lengte (m)

De steilheid wordt afgerond op een honderdste. In feite wordt er gebruik gemaakt van de klasse-gemiddelden.

Om te onderzoeken of er verschillen zijn tussen de ribbelparameters met doodtij en springtij wordt gebruik gemaakt van gewogen gemiddelden. Hiertoe wordt per as en per zijde de klassegemiddelden vermenigvuldigd met de trajectlengte van voorkomen. De som van de produkten wordt gedeeld door de aslengte. Trajecten met grote antropogene beïnvloeding worden niet in de berekening meegenomen. Met nadruk wordt erop gewezen dat gewogen gemiddelden niets vertellen over de spreiding van de parameters rond het gemiddelde.

Om te kunnen achterhalen of een bepaalde ribbel eb- of vloedgedomineerd is of met de eb- en vloedstroom van richting omdraait, is het belangrijk te weten wanneer in de getijdecyclus de sonar-track gevaren is. De momenten van varen zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 Momenten van varen van de sonartrack			
Asnummer	Zijde	Stroming bij doodtij	Stroming bij springtij
1	-	kort na hoogwaterkentering	ebstroom
1	+	idem	idem
2	-	idem	idem
2	+	ebstroom	idem
3	-	rond hoogwaterkentering	kort na hoogwaterkentering
3	+	vloedstroom	± 2 uur na hoogwaterkentering
4	-	kort na hoogwaterkentering	kort na hoogwaterkentering
4	+	vloedstroom	± 2 uur na hoogwaterkentering
5	-	rond hoogwaterkentering	kort na hoogwaterkentering
5	+	vloedstroom	idem
6	-	rond hoogwaterkentering	idem
6	+	idem	idem
7	-	vloedstroom	? (onjuiste vermelding)
7	+	ebstroom	± 2 uur na hoogwaterkentering
8	-	vloedsroom	rond laagwaterkentering
8	+	ebstroom	kort na laagwaterkentering
9	-	kort na hoogwaterkentering	rond laagwaterkentering
9	+	idem	idem
10	-	rond hoogwaterkentering	kort na hoogwaterkentering
10	+	idem	idem
11	-	vloedstroom	rond hoogwaterkentering
11	+	idem	ebstroom
12	-	kort na hoogwaterkentering	rond hoogwaterkentering
12	+	idem	± 2 uur na hoogwaterkentering
13	-	idem	vlak voor laagwaterkentering
13	+	idem	rond hoogwaterkentering
14	-	rond hoogwaterkentering	ebstroom
14	+	idem	hoogwaterkentering
15	-	idem	kort na hoogwaterkentering
15	+	idem	ebstroom
16	-	vloedstroom	idem
16	+	idem	idem

3. Relatie tussen ribbelkarakteristieken en waterbeweging in een estuarium

De golflengte van ribbels hangt af van de dikte van de grenslaag, de stroomsnelheid en de korrelgrootte (Allen, 1984).

De dikte van de grenslaag is in een niet-gestratificeerd estuarium (zoals de Westerschelde) gelijk aan de waterdiepte. In figuur 3 is de relatie tussen de golflengte (L) en de waterdiepte (h) weergegeven. Uit deze figuur komt naar voren dat met een zekere maat van spreiding de golflengte toeneemt bij toenemende waterdiepte. Er moet op worden gewezen dat deze figuur gegevens bevat uit vele, verschillende rivieren en estuaria. Individuele systemen kunnen sterk afwijken van het algemene beeld in figuur 3 (Allen, 1984).

De golflengte van ribbels neemt toe bij toenemende stroomsnelheid, totdat de ribbels uitgevlakt worden. Een toename in de korrelgrootte leidt tot kortere beddingvormen. Omdat in het oostelijk deel van de Westerschelde de korrelgrootte nagenoeg constant is ($d_{50} = 200 \mu\text{m}$, onderzocht in het kader van het project OostWest in 1990), wordt hierop niet nader ingegaan.

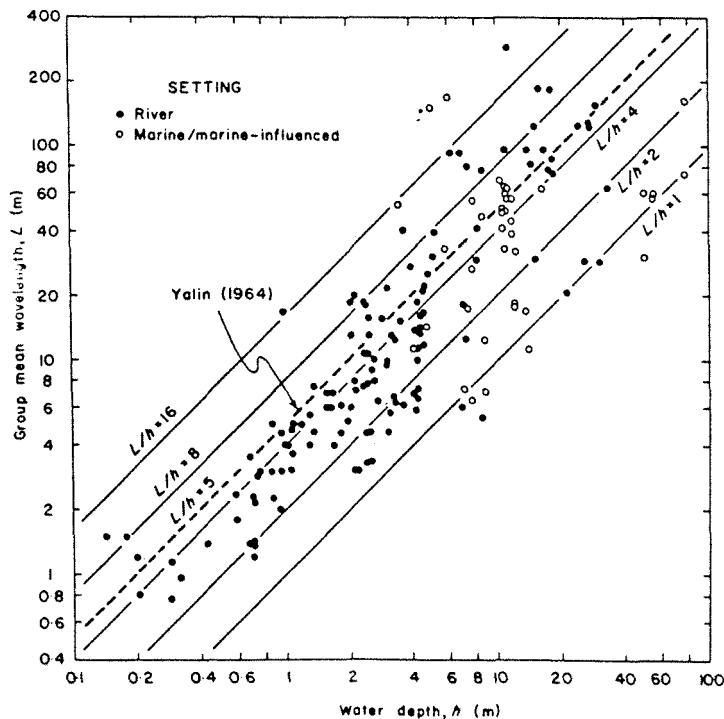


Fig. 3. Relatie tussen ribbellengte (L) en waterdiepte (h).
Bron: Allen, 1984.

↑
Waarom?

De dikte van de grenslaag en de stroomsnelheid zijn ook van invloed op de ribbelhoogte (Allen, 1984). In figuur 4 is de relatie tussen de ribbelhoogte (H) en de waterdiepte (h) weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat met een ruime maat van spreiding in dieper water hogere ribbels voorkomen. Voor figuur 4 geldt dezelfde opmerking als voor figuur 3.

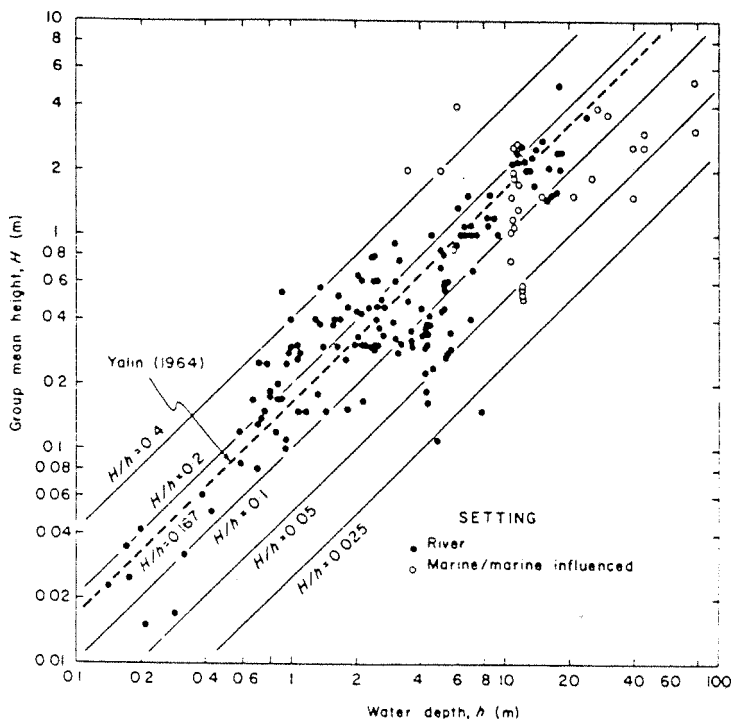


Fig. 4. Relatie tussen ribbelhoogte (H) en waterdiepte (h).
Bron: Allen, 1984.

Waarom?

Een toename van de stroomsnelheid zorgt, indien de snelheid onder een bepaalde kritische waarde blijft, voor een hogere ribbel (Van Rijn, 1989); een toename boven de kritische waarde tot een lagere ribbel (uitvlakken van de ribbel).

Op grond van het bovenstaande mag verwacht worden, dat in de geulen bij springtij de ribbels zowel langer als hoger zijn dan bij doodtij. Tevens is de ribbelsteilheid bij springtij hoger. Van den Berg (1986) beschrijft subrecente geulafzettingen in de Oosterschelde. De foresets van de migrerende duinen zijn gegroepeerd in 'tidal bundles'. Dit betekent dat in de duindimensies de afwisseling van doodtij en springtij weerspiegeld is.

De volledige aanpassing van een ribbel aan veranderde stroom-

omstandigheden kost tijd. Alleen de kleinere beddingvormen kunnen tijdens de getijcyclus van ebgeoriënteerd naar vloedgeoriënteerd en omgekeerd veranderen. Bucx & Tobias (1989) geven aan, dat ribbels die lager dan 70 cm en korter dan 7 m zijn, tijdens de getijcyclus van oriëntatie kunnen veranderen. Ashley (1990) vermeldt dat ribbels die langer zijn dan 10 m, tijdens de getijcyclus niet van migratierichting veranderen. Alle overige ribbels hebben in de gehele getijcyclus een vloed- of eboriëntatie of zijn symmetrisch, afhankelijk van de stroomomstandigheden.

4. Beschrijving van de ribbelparameters in het oostelijk deel van de Westerschelde

4.1. Inleiding

De kaarten 2 tot en met 7 geven een overzichtsbeeld van de ribbeleigenschappen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Om te voorkomen dat het beeld te onoverzichtelijk wordt, is gekozen voor een nieuwe klassenindeling. De figuren 5 t/m 7, 10 t/m 12, 14 t/m 19 en 22 t/m 27 geven een gedetailleerd beeld van de ribbels. In deze figuren is ook de bodemligging van de gevaren track ten opzichte van NAP getekend. De hoogte ten opzichte van NAP is afgelezen uit de kaarten:

1. Westerschelde vak 1; opneming juli 1990; dieptelijnen en dieptecijfers. Code 01.00.P.90.01; C0 nr. 90.358
2. Westerschelde vak 2; opneming april 1990; dieptelijnen en dieptecijfers. Code 02.00.P.90.01; C0 nr. 90.258

4.2. De Schaar van Waarde en de Zimmermangeul

* doodtij, negatieve zijde (figuren 5 en 7a)

Vanaf het nulpunt tot aan de drempel tussen de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul neemt de ribbelhoogte eerst toe tot 175 - 200 cm, om vervolgens tot 0 cm te reduceren vlak ten oosten van de drempel. De ribbellengte neemt drempelopwaarts sterk toe tot 75 - 100 m, hetgeen automatisch tot een sterke reductie in ribbelsteilheid leidt. Deze opeenvolging van ribbels is zichtbaar in figuur 8. Het begin van de Schaar van Waarde (t/m km 3) is zeer onregelmatig door de aanwezigheid van stortmateriaal (veen en klei uit het Kanaal Zuid Beveland, zie figuur 9). In het diepe deel van de Zimmermangeul komen geen ribbels voor: de negatieve zijde is een steil talud.

Tot aan de drempel bij km 5 - 6 zijn de ribbels vloedgedomineerd; voorbij de drempel bij km 6 - 8 ebgedomineerd.

* doodtij, positieve zijde (figuren 6 en 7b)

De drempel tussen de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul aan de positieve zijde begint eerder en is breder dan aan de negatieve zijde. Vlak voor de drempel is sprake van een sterke reductie in hoogte naar 0 - 25 cm bij een grote golflengte (25 - 50 m). De drempel zelf is vlak.

Het beeld in het stortgebied van as 1 is sterk onregelmatig. Bij de snelle overgang naar de volgende drempel (km 10) is sprake van een snelle toename in hoogte tot 175 - 200 cm, gevolgd door een reductie naar 0 cm op de drempel. De ribbellengte vlak voor deze drempel is 25 - 30 m. De ribbels zijn zowel in de Schaar van Waarde als in de Zimmermangeul vloedgedomineerd.

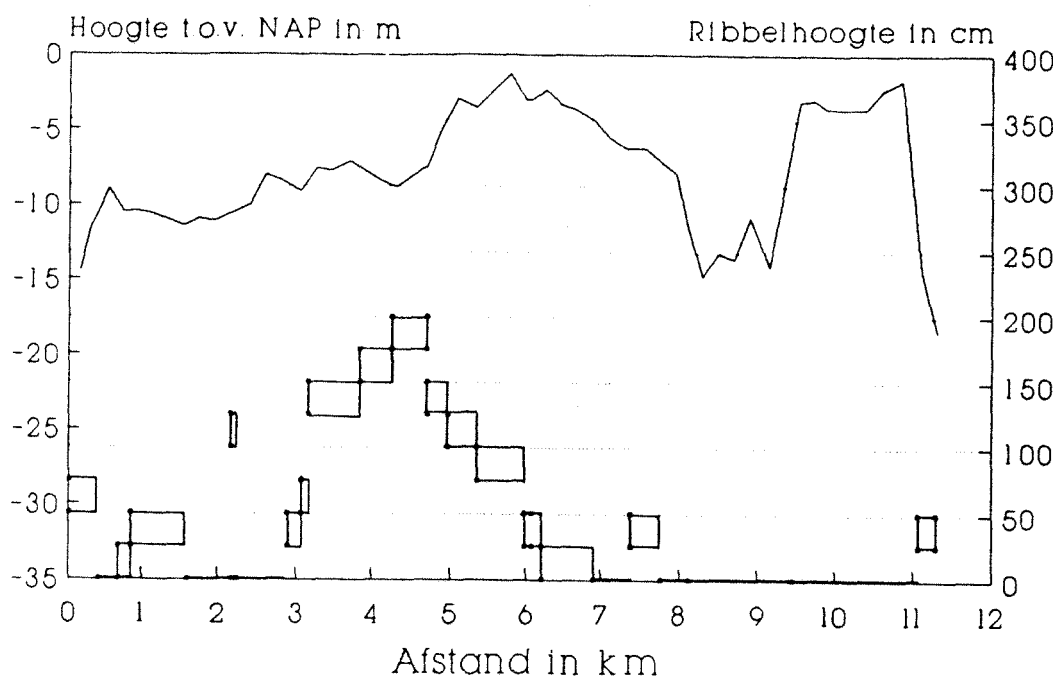
* springtij, negatieve zijde (figuren 10 en 12a)

Er is sprake van een sterk verstoord beeld door het storten van veen en klei in de eerste drie kilometer van de Schaar van Waarde. De in dit gebied aanwezige ribbels zijn afgerond en vloedgedomineerd. Het ribbelpatroon naar de drempel bij km 5 - 6 is onregelmatig, maar vertoont in grote lijnen dezelfde trekken als bij doortij: een toename in hoogte tot 150 - 175 cm, gevolgd door een afname na de drempel tot 25 - 50 cm; een toename in lengte tot 25 - 40 m, vervolgens een afname tot 5 - 10 m na de drempel. De ribbels bij en op de deze drempel zijn vloedgedomineerd. Wel moet erop gewezen worden dat de sonartrack rond de hoogwaterkentering is gevaren. Gezien de grootte van de ribbels is het mogelijk dat de migratierichting van de ribbels tijdens de ebstroom omdraait.

* springtij, positieve zijde (figuren 11 en 12b)

In het begin van de positieve zijde komen grote ($H = 175 - 200$ cm; $L = 25 - 40$ m) vloedgedomineerde ribbels voor. Vaak zijn secundaire ribbels op de top van de grote ribbels aanwezig. De hoogte neemt geleidelijk af, tot 25 - 50 cm op de drempel bij km

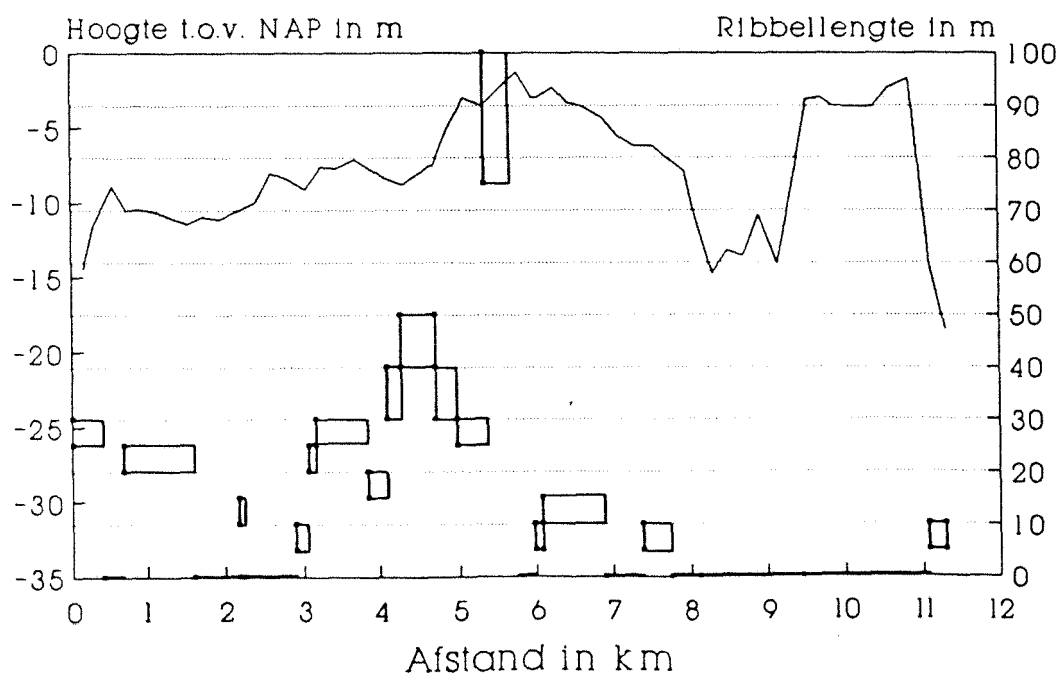
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 5a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde

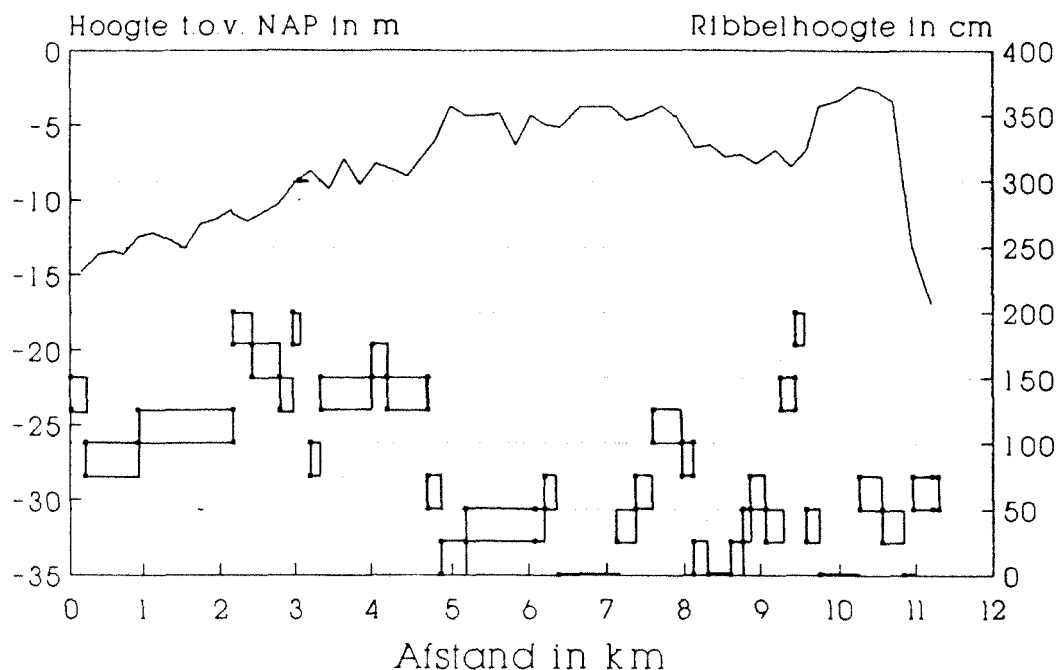
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 5b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde

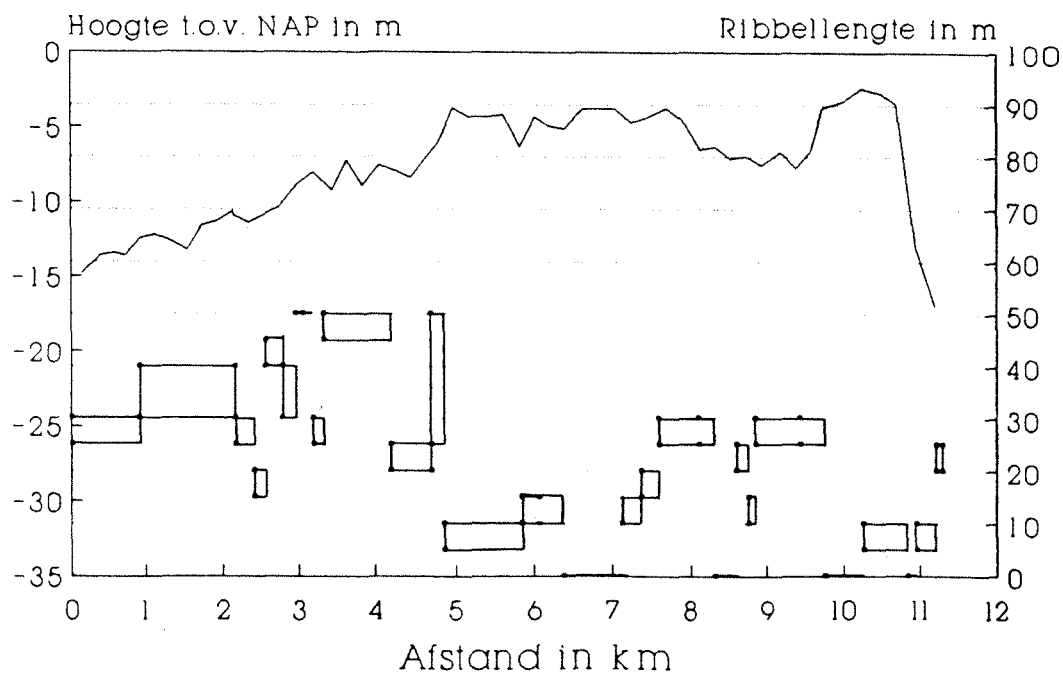
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 6a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde

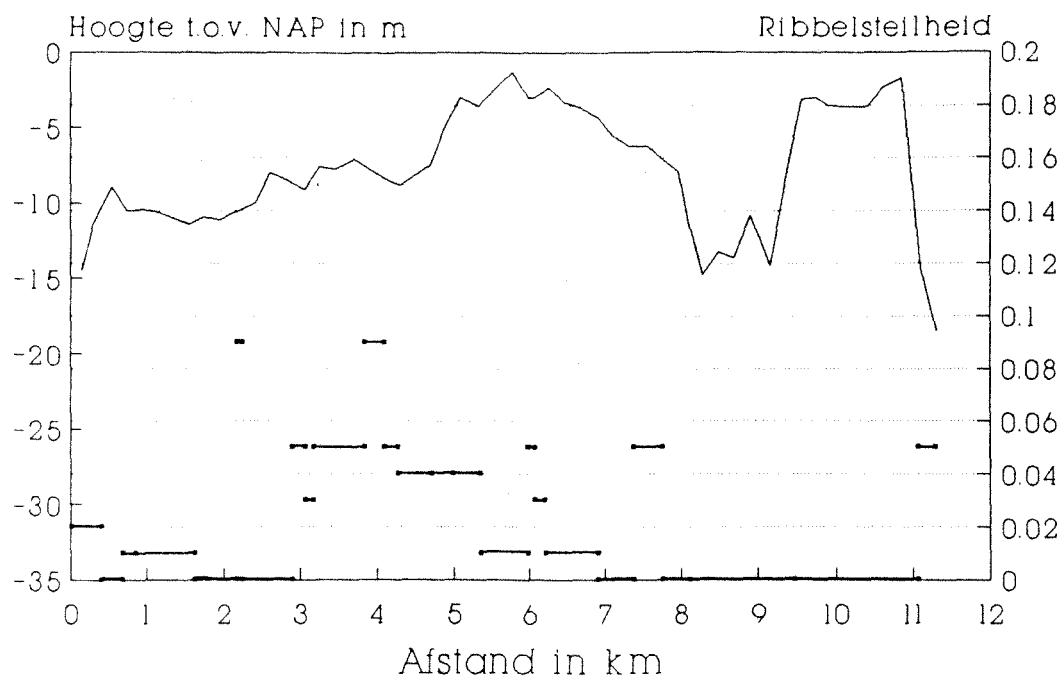
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 6b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde

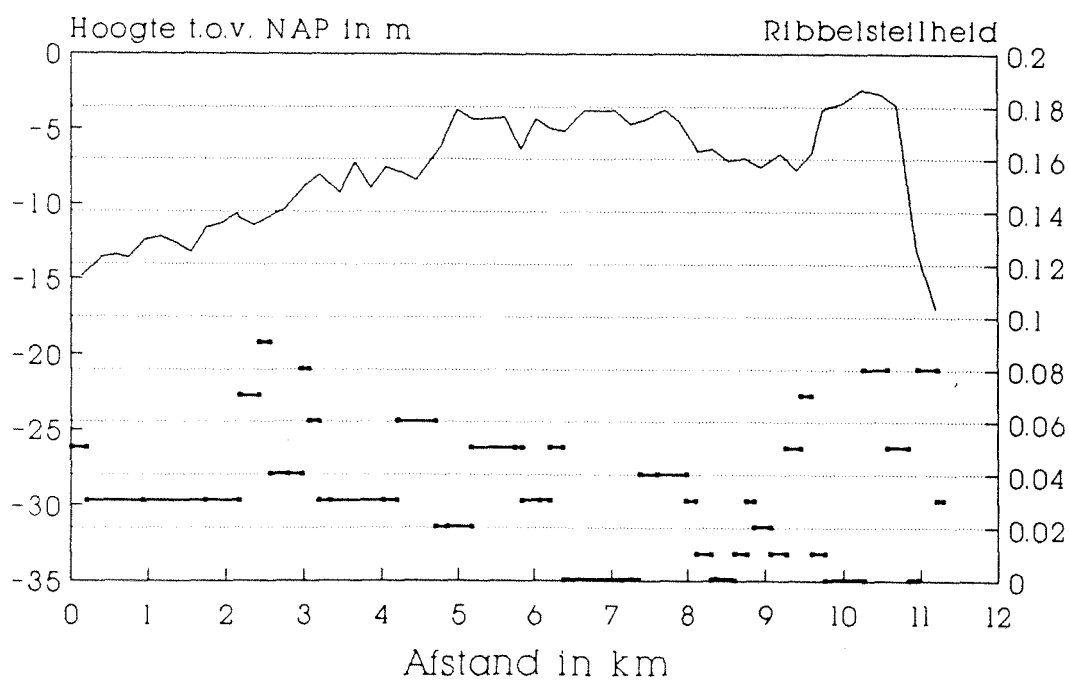
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 7a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde

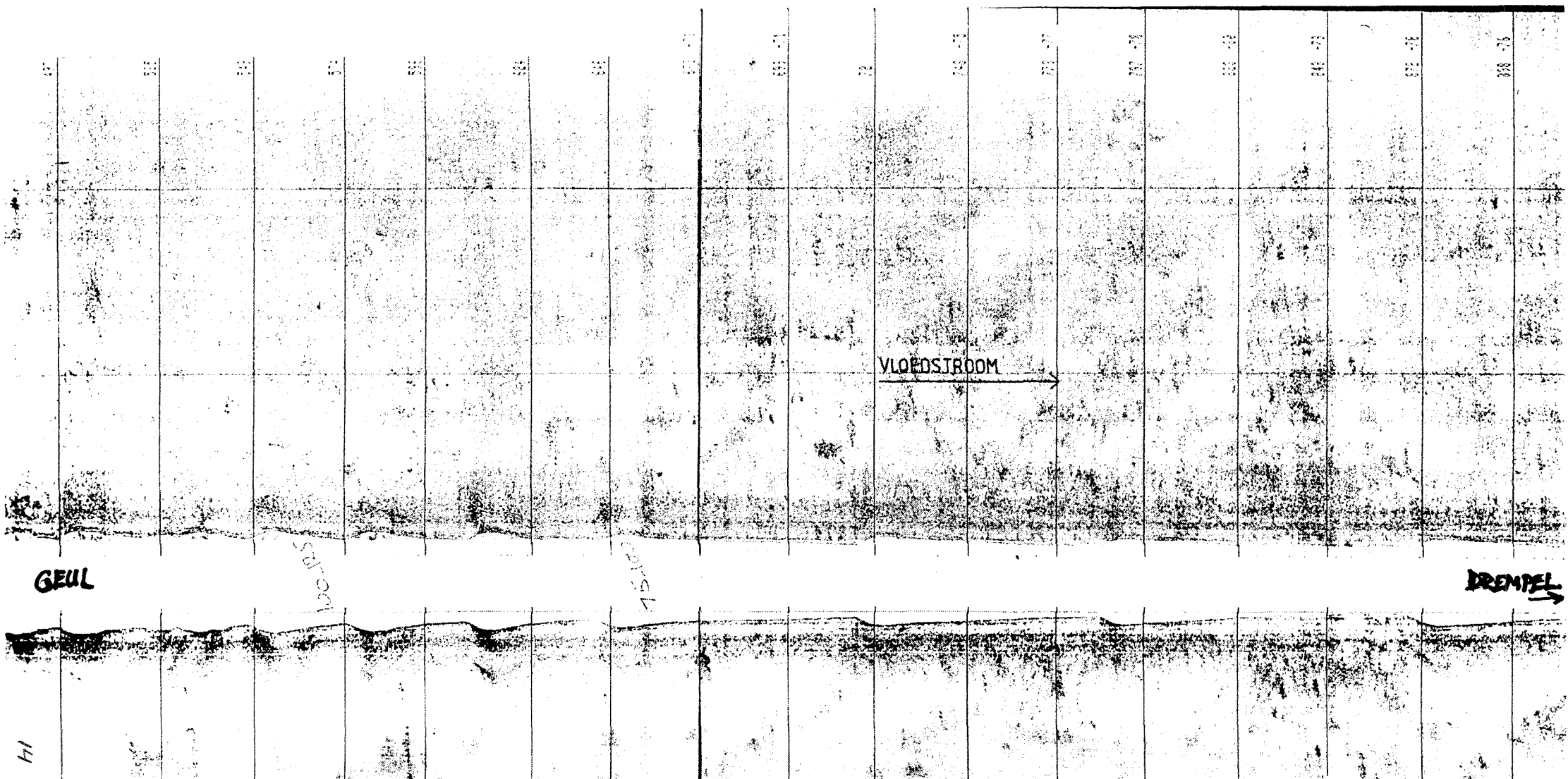
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 7b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde

Fig. 8. Schaar van Waarde, doodtij,
negatieve zijde (474 - 898).
Ribbeloepenvolging bij
drempel.



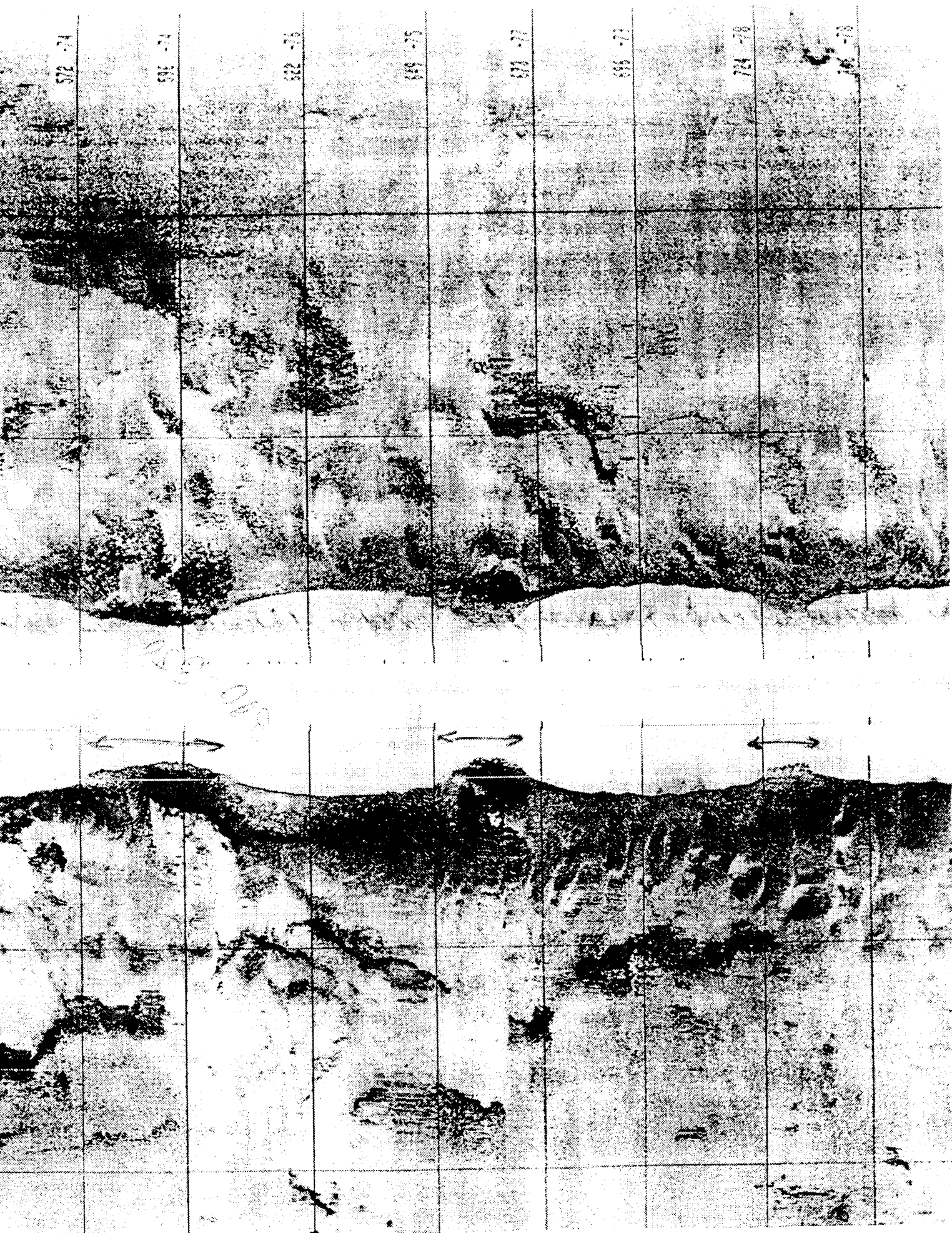
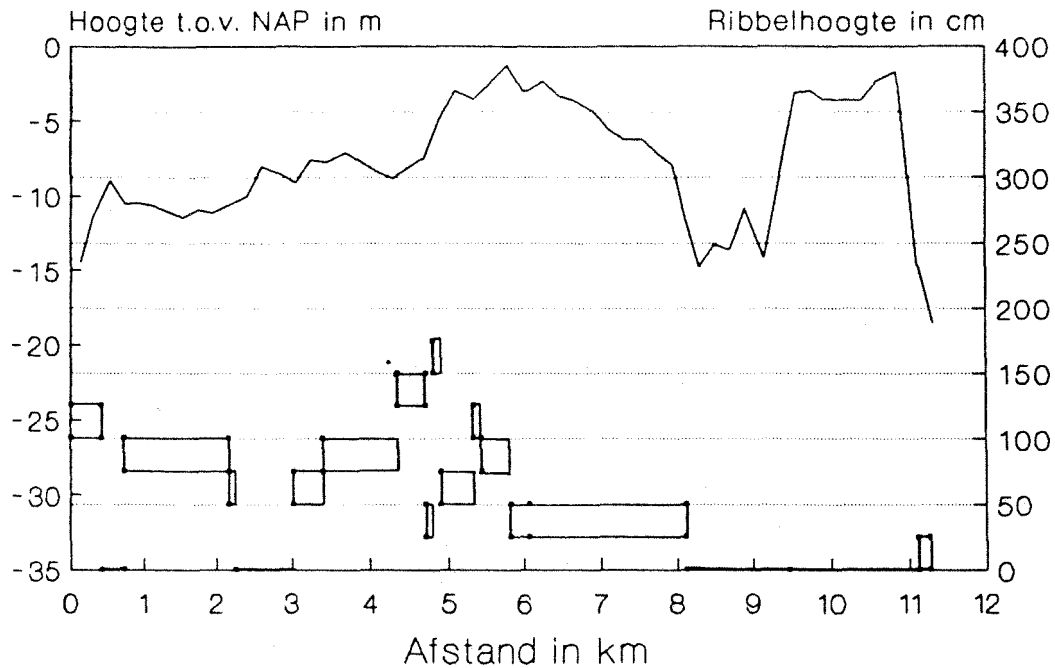


Fig. 9. Schaar van Waarde, doodtij, negatieve zijde (572-649).
Stortmateriaal (veen en klei)

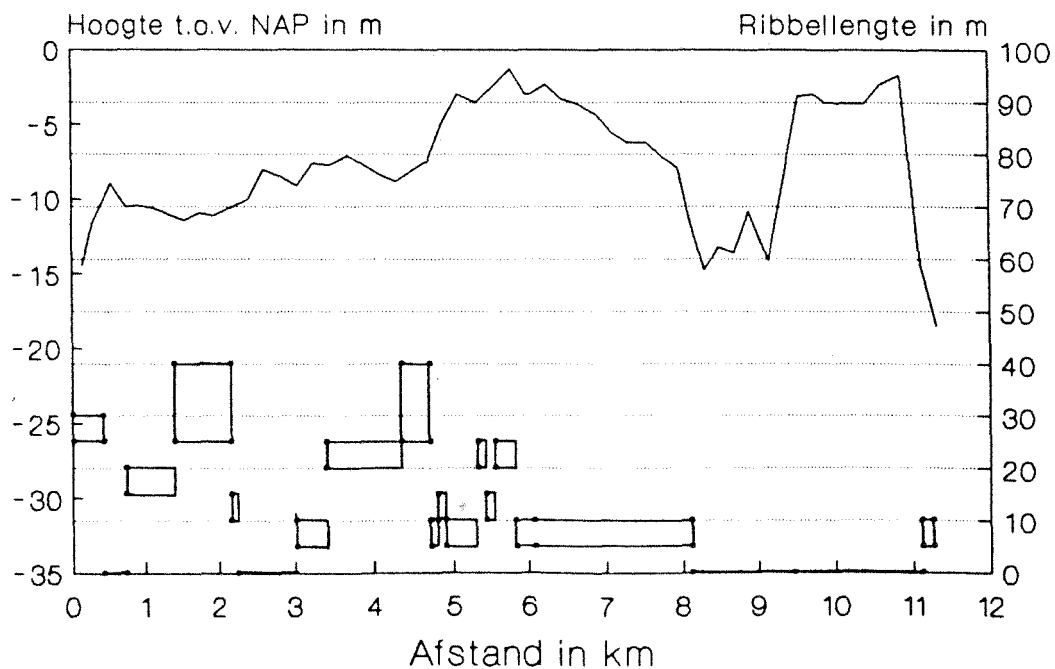
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 10a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde

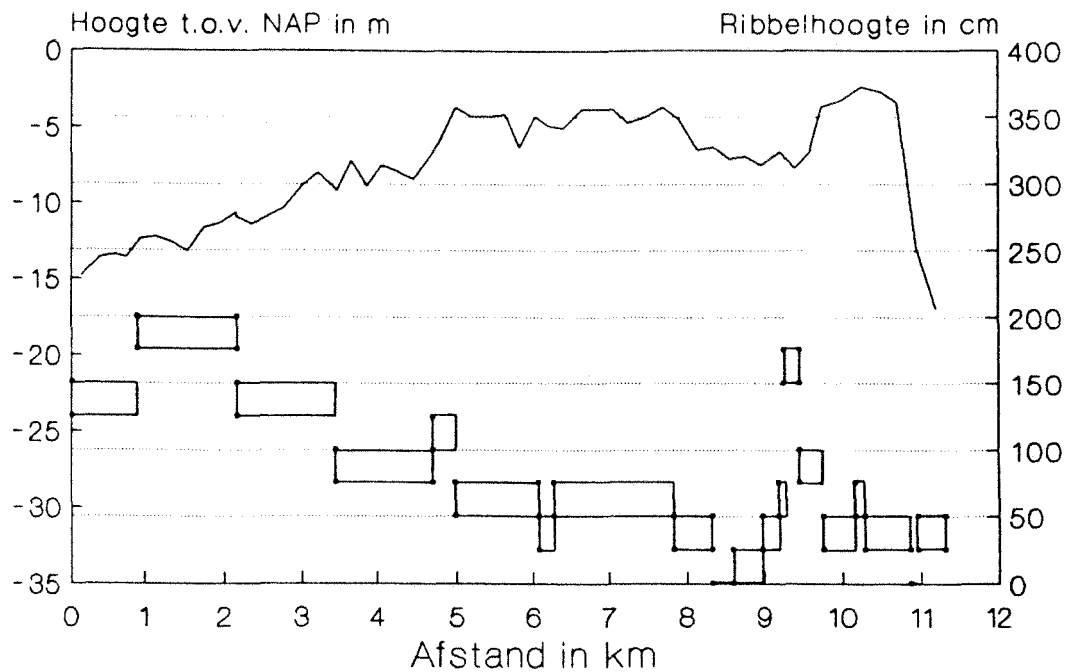
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 10b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde

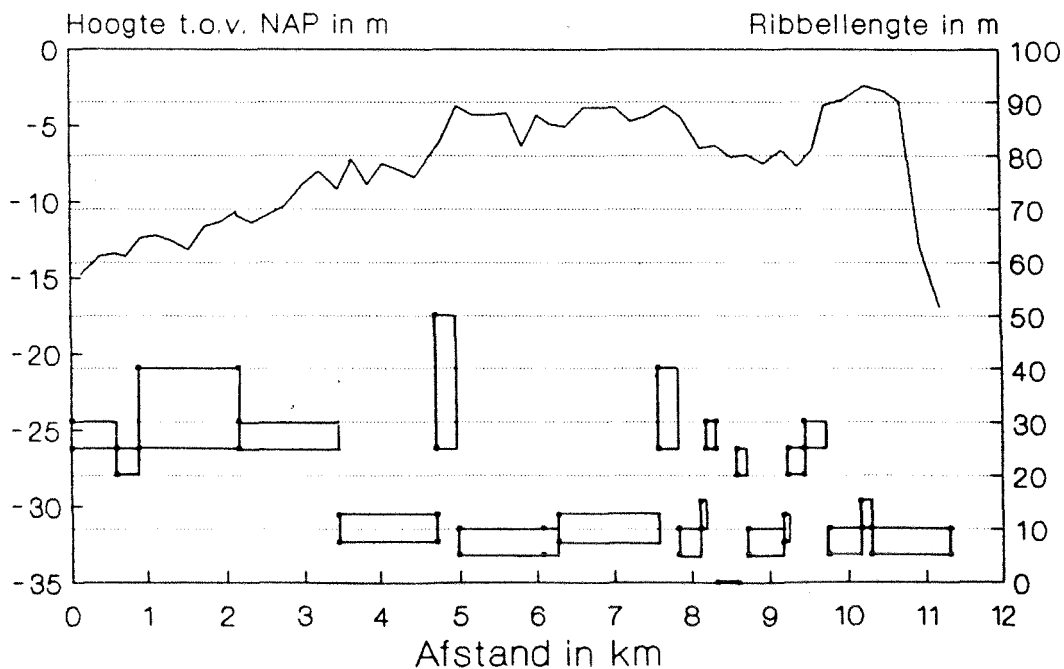
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 11a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde

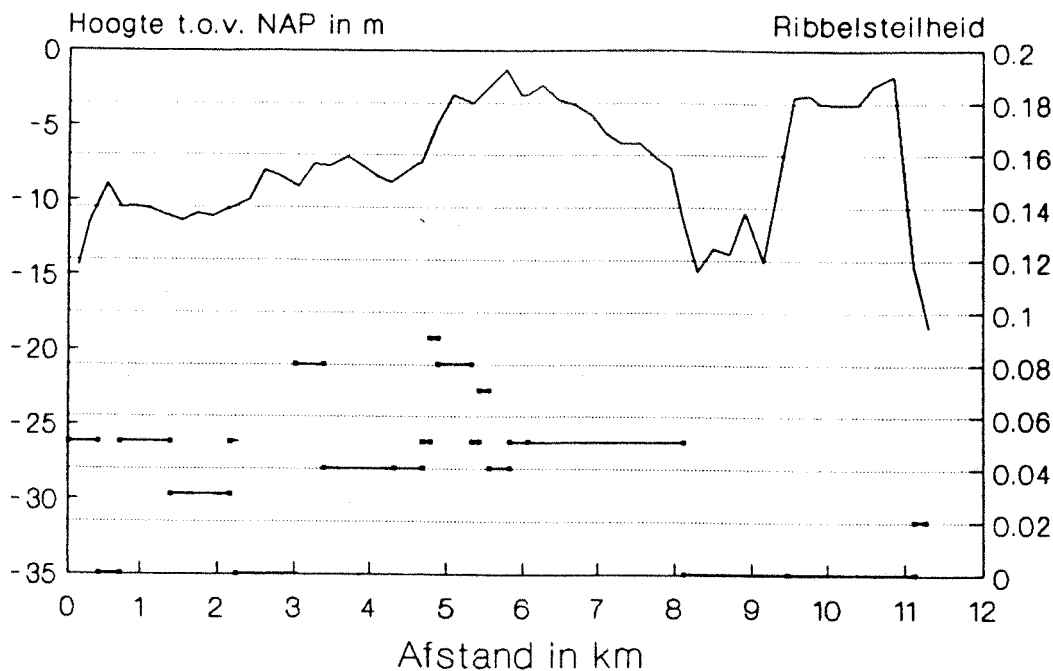
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 11b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde

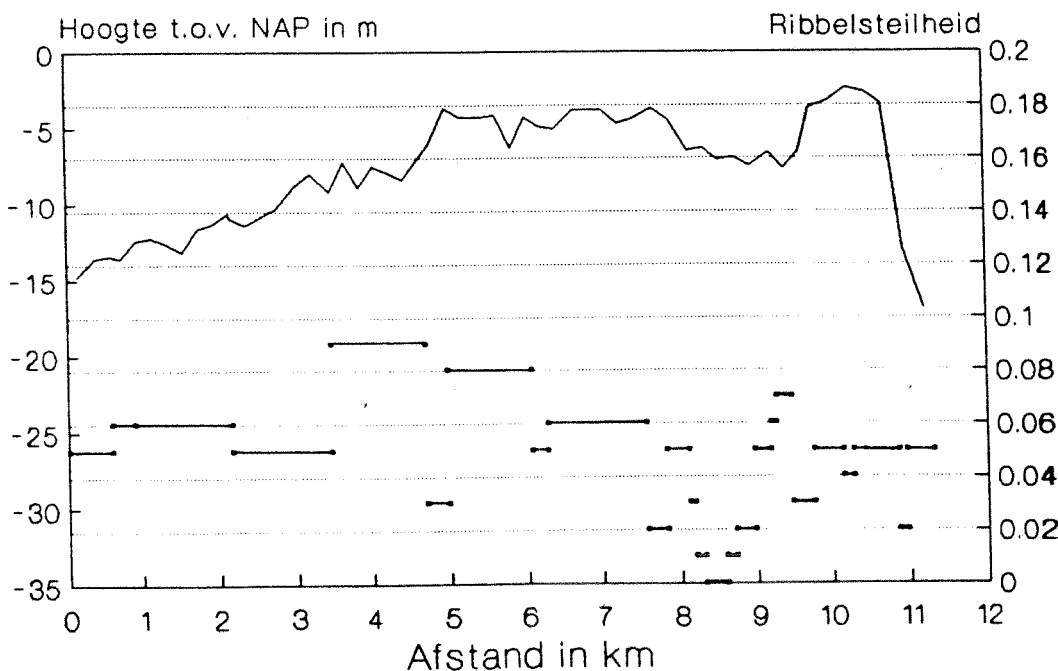
SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 12a. Schaar van Waarde en Zimmermangeul: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde

SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 12b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde

5 - 6. Deze ribbels zijn vloeddominant. De ribbels in de Zimmermangeul en op de drempel naar het Nauw van Bath (km 10) vertonen hetzelfde beeld als bij doodtij.

* verschillen in ribbelparameters tussen de negatieve en de positieve zijde

(a) de drempel bij km 5 - 6 begint aan de positieve zijde eerder en is breder. Dit betekent dat aan de positieve zijde eerder sprake is van een reductie in ribbelhoogte en -lengte. De bochtigheid van de Zimmermangeul veroorzaakt het verschil in de positieve en negatieve zijde van de drempel.

(b) de negatieve zijde van as 5 (Zimmermangeul) is een steil talud (geen ribbels aanwezig), de positieve zijde is de helling naar de noordelijke Platen van Valkenisse (wel ribbels aanwezig).

* verschillen in ribbelparameters tussen doodtij en springtij

De met gewogen gemiddelde verkregen waarden staan vermeld in tabel 4.

Tabel 4 Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid Schaar van Waarde en Zimmermangeul							
		Doodtij			Springtij		
Asnummer	Zijde	H (m)	L (m)	ST (-)	H (m)	L (m)	ST (-)
1	-	0.42	24.0	0.017	0.93	25.9	0.035
1	+	1.06	31.9	0.034	1.67	29.7	0.056
2	-	1.39	28.7	0.048	0.91	20.9	0.043
2	+	1.55	36.5	0.042	1.13	18.8	0.060
3	-	0.83	37.3	0.022	0.76	12.6	0.060
3	+	0.31	9.8	0.032	0.73	13.7	0.053
4	-	0.13	6.4	0.021	0.38	7.5	0.050
4	+	0.47	12.2	0.038	0.57	12.2	0.046
5	-	-	-	-	-	-	-
5	+	0.41	19.7	0.020	0.38	11.3	0.034
6	-	-	-	-	-	-	-
6	+	0.44	8.9	0.050	0.46	11.1	0.041

Springtij: steiler

SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL

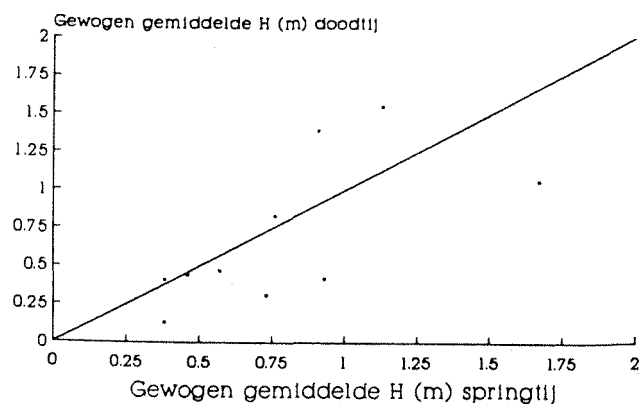


Fig. 13a. Doodtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte uitgezet tegen springtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte

SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL

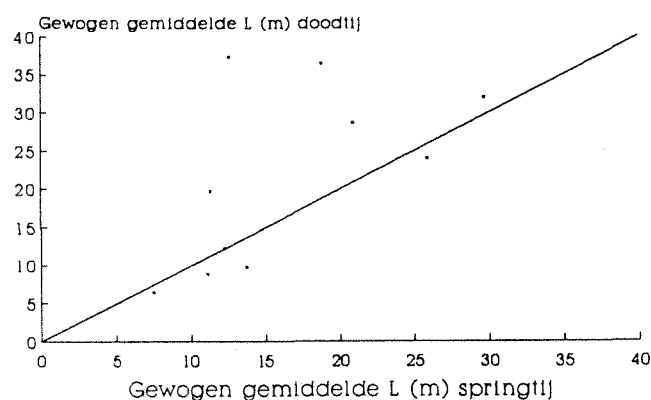


Fig. 13b. Als figuur 13a met ribbellengte

SCHAAR VAN WAARDE EN ZIMMERMANGEUL

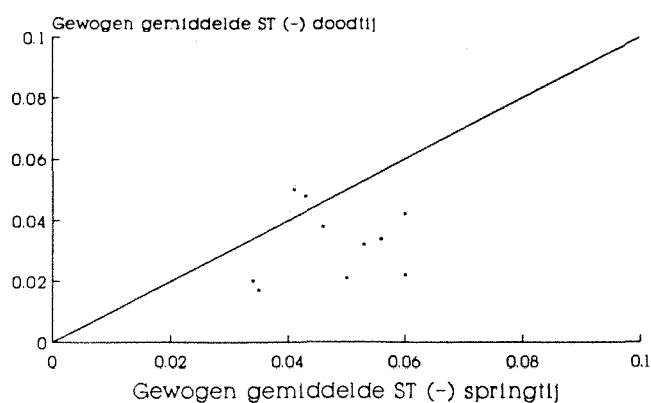


Fig. 13c. Als figuur 13a met ribbelsteilheid

In de figuren 13a,b en c zijn de doodtij-gewogen-gemiddelden uitgezet tegen de springtij-gewogen-gemiddelden. De lijn die aangeeft dat het gewogen gemiddelde van springtij gelijk is aan dat van doodtij, is in de figuren tevens weergegeven.

De ribbelhoogte is bij springtij niet wezenlijk verschillend van de ribbelhoogte bij doodtij. De ribbellengte is bij springtij ongeveer gelijk aan die van doodtij; de ribbels op de positieve zijde van as 2 en de negatieve zijde van as 3 zijn echter aanzienlijk langer. Deze assen zijn het westelijke deel van de drempel tussen de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul. De ribbelsteilheid is bij springtij iets hoger (springtij: 0.035 - 0.060; doodtij 0.020 - 0.050).

4.3. De Schaar van Valkenisse

* doodtij, negatieve zijde (figuren 14 en 16a)

Het begin van de Schaar van Valkenisse vertoont een regelmatig patroon van vloedgedomineerde ribbels ($H = 150 - 175$ cm; $L = 40 - 50$ m). De kamlijnen van de ribbels zijn golvend. Van 1.5 - 2.4 km vanaf het nulpunt worden de ribbels kleiner, terwijl de hoogte gelijk blijft: de steilheid neemt toe. De ribbels zijn symmetrisch. Bij km 3 is een zandwinningsgebied aanwezig, hetgeen zich uit in een locale depressie zonder ribbels. Op de drempel van km 3 - 4 komen kleine symmetrische dan wel vloedgedomineerde ribbels voor. In het diepere deel van de Schaar van Valkenisse neemt de ribbelhoogte sterk toe tot 200 - 225 cm (km 5.5). De ribbellengte neemt langzaam toe tot 30 - 40 m om bij de overgang naar de drempel bij km 8 sterk toe te nemen tot 75 - 100 m. Tegelijkertijd neemt de hoogte sterk af tot 50 - 75 cm. Een vergelijkbare opeenvolging van ribbels op het westelijke deel van de drempel is ook gevonden bij de drempel tussen de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul (zie figuur 8 en paragraaf 4.2.); een zelfde reeks met opbouwende ribbels zoals aanwezig in het diepere deel van de Schaar van Valkenisse is in de Schaar van Waarde echter niet aanwezig. De ribbelsteilheid is in het diepere deel van de Schaar van Valkenisse dan ook groter (0.08)

dan op de drempel (0.01). De kamlijnen van al deze ribbels zijn golvend. Voorbij de drempel komen ebgedomineerde ribbels voor. In paragraaf 5.3. wordt de bovenbeschreven opeenvolging van de ribbels bij een drempel nader beschreven.

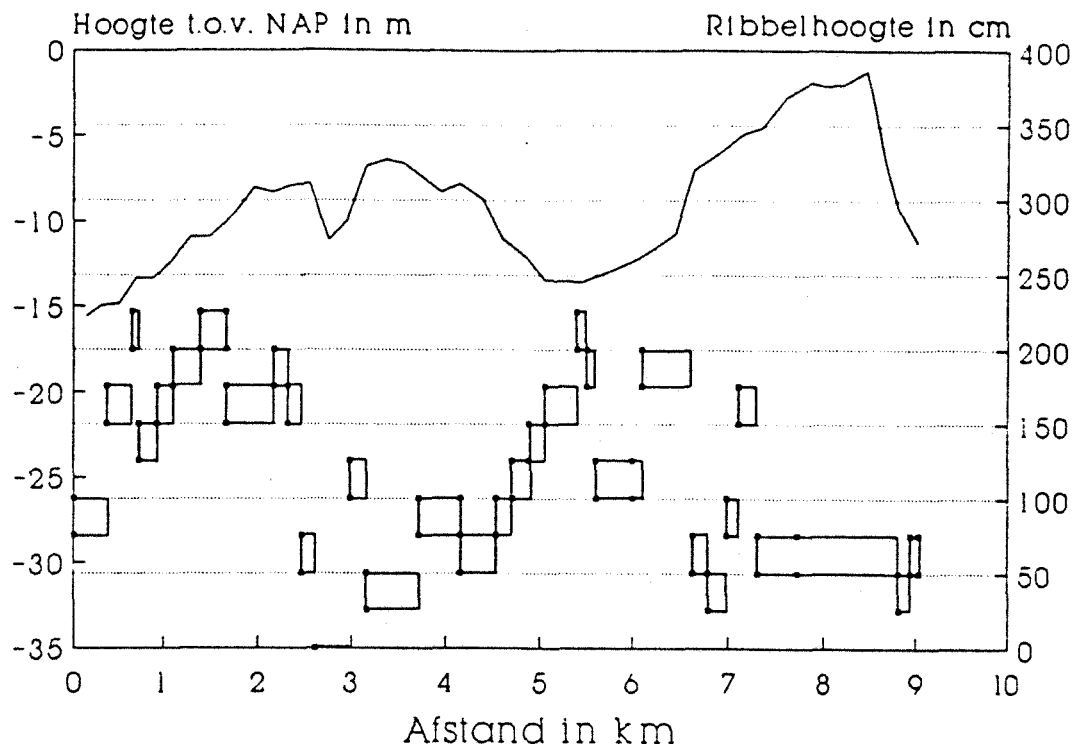
* doodtij, positieve zijde (figuren 15 en 16b)

Aan het begin van de positieve zijde nemen de ribbelhoogte en -lengte van 25 - 50 cm resp. 5 - 10 m toe tot 150 - 175 cm resp. 30 - 40 m. De ribbels vertonen een regelmatig beeld en zijn vloedgedomineerd. Bij km 3 is een zandwinningsgebied aanwezig (geen ribbels). Tot km 5.5 zijn vloedgedomineerde ribbels ($H = 50 - 75$ cm; $L = 5 - 10$ m) aanwezig. Van de aan de negatieve zijde beschreven opeenvolging van de ribbels bij de drempel nabij de Overloop van Valkenisse is aan de positieve zijde geen sprake. De sonartrack is over de helling naar de Platen van Valkenisse gevaren. Op deze steile helling komen geen ribbels voor. Op het laatste deel van de drempel zijn dezelfde lage en zeer lange ribbels als aan de negatieve zijde aanwezig. Het hoogste deel van de drempel is vlak.

* springtij, negatieve zijde (figuren 17 en 19a)

De ribbels in de eerste 600 m van de negatieve zijde zijn regelmatig ($H = 125 - 150$ m; $L = 25 - 30$ m) en vloedgedomineerd. Op de ribbels in de volgende twee kilometer komen veel secundaire ribbeltjes voor. Deze ribbeltjes zijn relatief kort en hoog. Door de aanwezigheid van de secundaire vormen is het kamlijnenpatroon moeilijk te achterhalen. Bij km 3 is een zandwinningsgebied aanwezig, waar kleine symmetrische ribbels voorkomen. De ribbels op de overgang naar het diepere deel van de geul zijn ebgedomineerd (de sonartrack is tijdens de laagwaterkentering gevaren). Het patroon van geul naar drempel (km 8) is gelijk aan dat van doodtij; de ribbellengte is echter aanzienlijk kleiner ($L = 40 - 50$ m). De kamlijnen van de ribbels

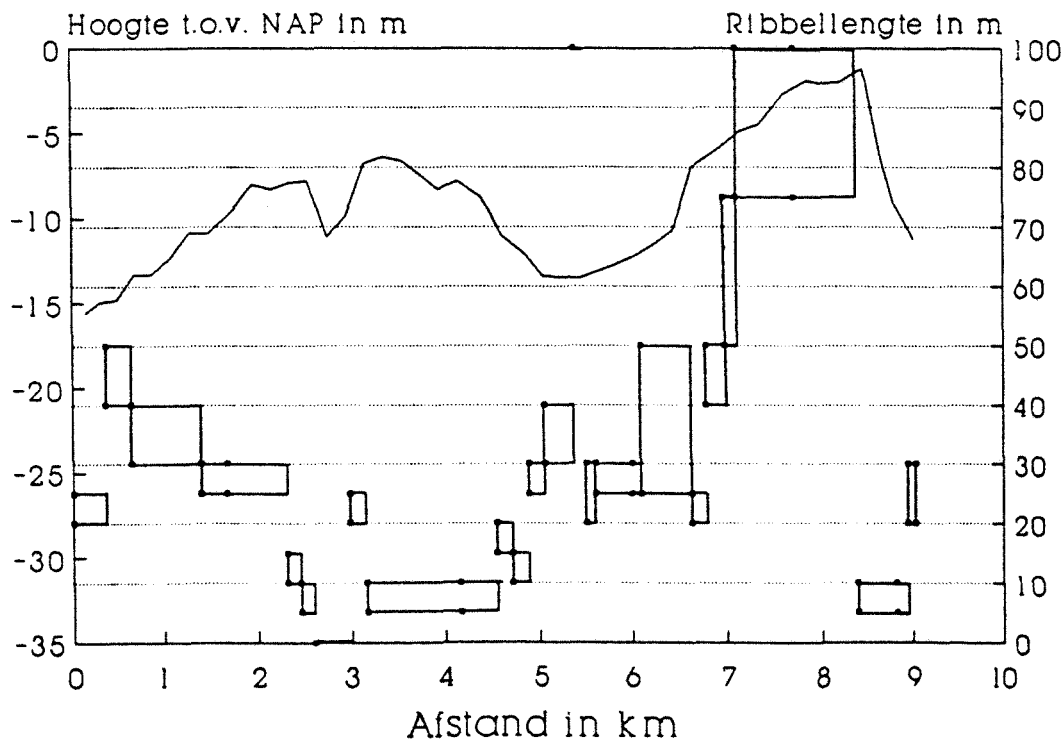
SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 14a. Schaar van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde

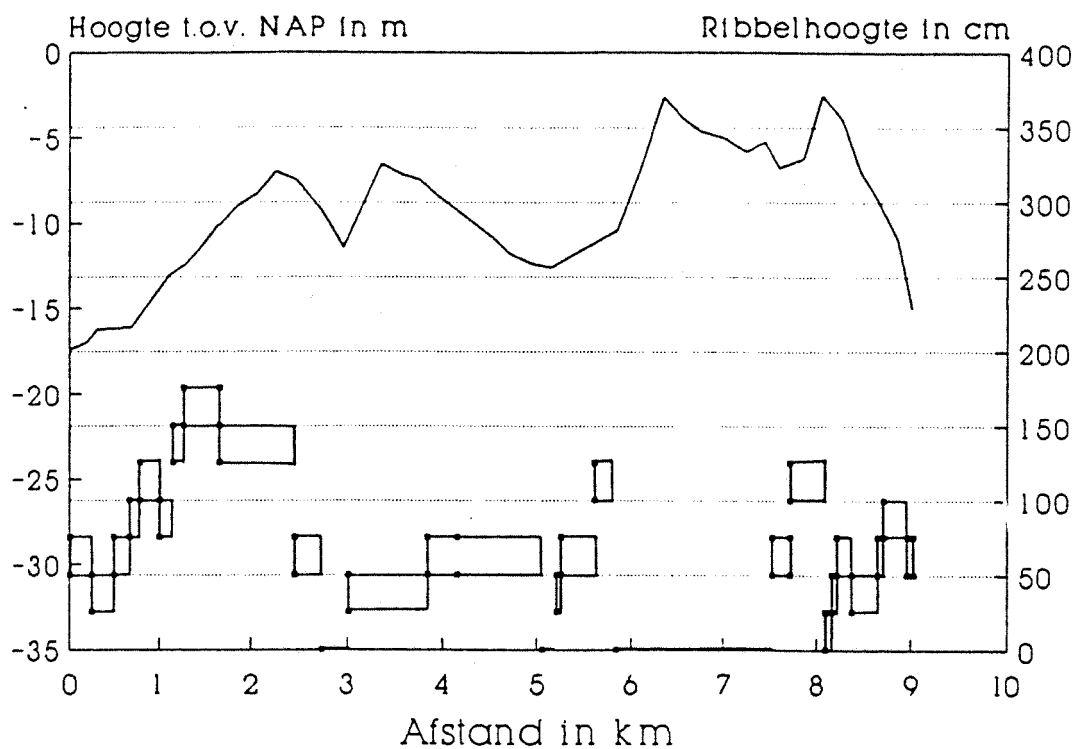
SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 14b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde

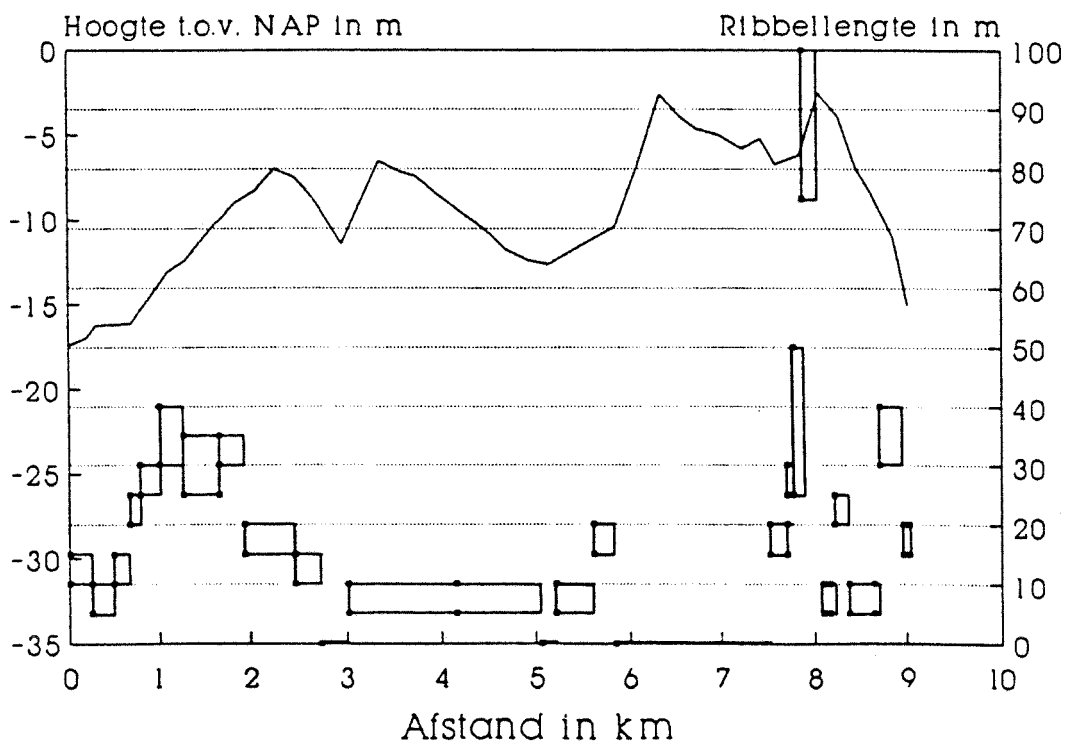
SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 15a. Schaar van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde

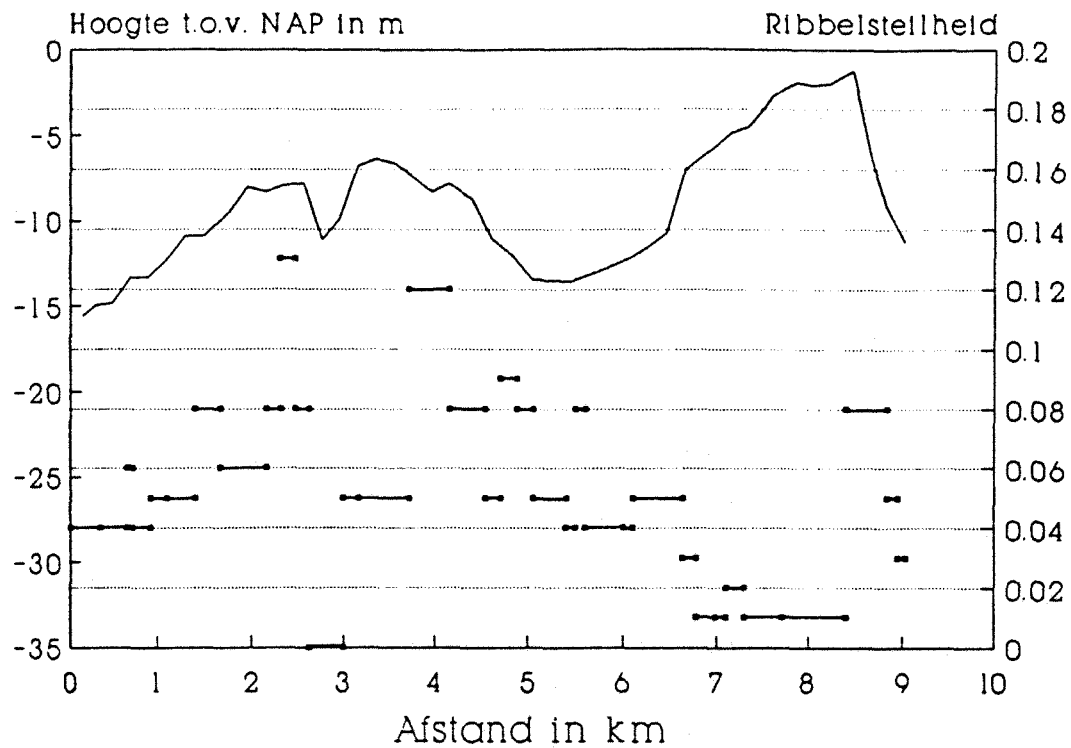
SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 15b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde

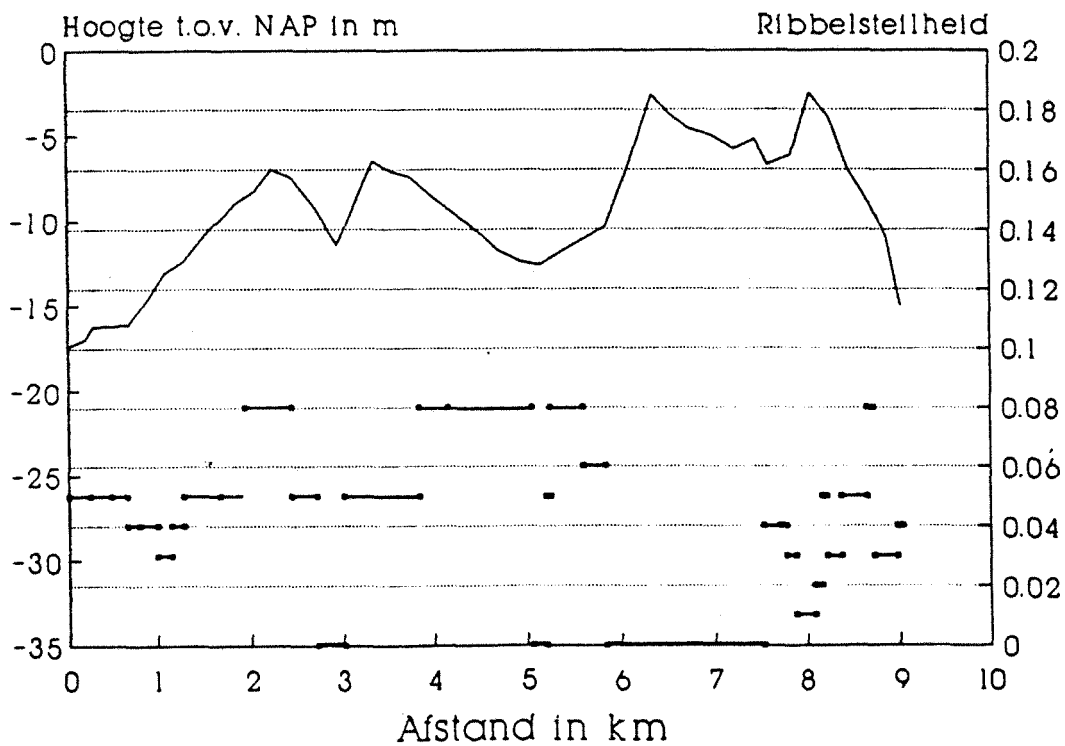
SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 16a. Schaar van Valkenisse: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde

SCHAAR VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 16b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde

zijn golvend. Op de overgang naar de Overloop van Valkenisse komen steile ($ST = 0.09$) vloedgeoriënteerde ribbels voor, waarschijnlijk omdat de sonartrack kort na de hoogwaterkentering gevaren is.

* springtij, positieve zijde (figuren 18 en 19b)

Het beeld van de positieve zijde is in grote lijnen hetzelfde als dat van de negatieve zijde. Wel is het patroon tot aan het zandwinningsgebied regelmatig. Dat de sonartrack bij de laagwaterkentering gevaren is, blijkt duidelijk uit de ebkappen op de vloedgedomineerde ribbels. De opeenvolging van de ribbels vanuit de geul naar de drempel (km 8) is duidelijk aanwezig (zie figuur 20). Door de keuze van de klassebreedtes en -grenzen komt de trend in de figuren niet duidelijk naar voren.

* verschillen in ribbelparameters tussen de negatieve en de positieve zijde

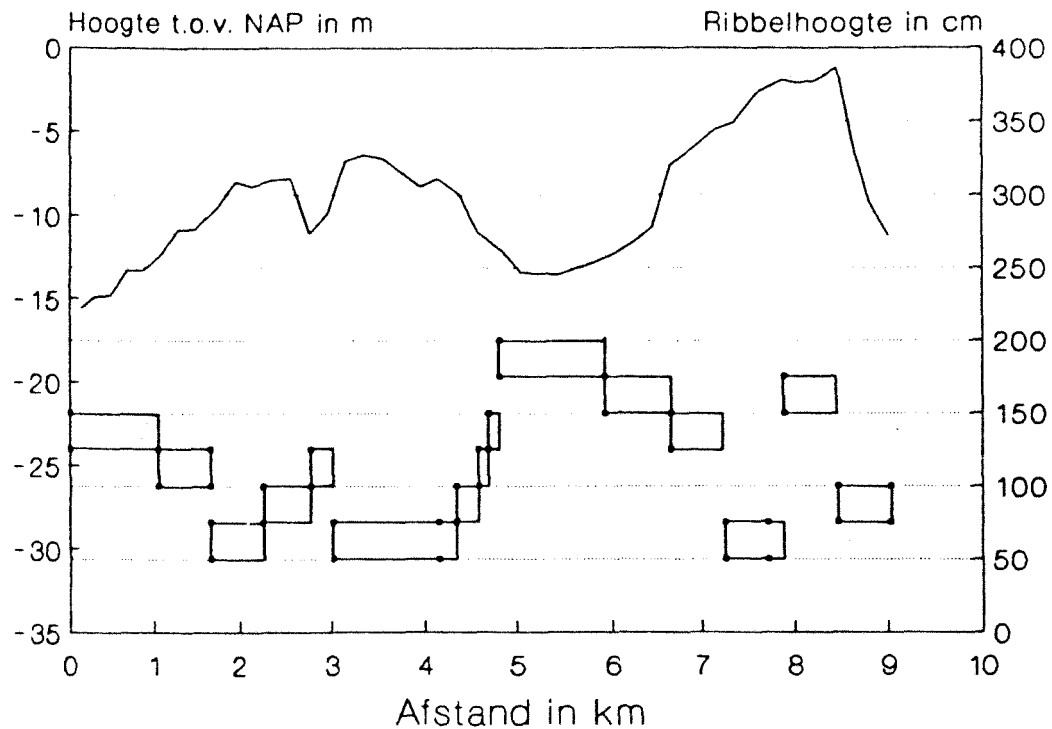
Het enige verschil is dat bij doodtij bij de positieve zijde de plaatrand aanwezig is en bij de negatieve zijde de geul. Er zijn geen duidelijke verschillen in ribbelhoogte en ribbellengte tussen de positieve en de negatieve zijde in de overige delen van de Schaar van Valkenisse.

* verschillen in ribbelparameters tussen doodtij en springtij

De met gewogen gemiddelde verkregen waarden staan vermeld in tabel 5. De gewogen gemiddelden van doodtij en springtij zijn in de figuren 21a,b en c tegen elkaar uitgezet.

Het traject met hoge ribbels ($H = 100 - 200$ cm) in het diepe deel van de Schaar van Valkenisse (as 9) is bij springtij groter. De ribbels vlak voor de drempel naar de Overloop van Valkenisse zijn bij doodtij beduidend langer dan bij springtij. De steilheid is bij deze drempel bij doodtij dan ook geringer. Een duidelijk trend in hoogte- en lengteverandering in de overige

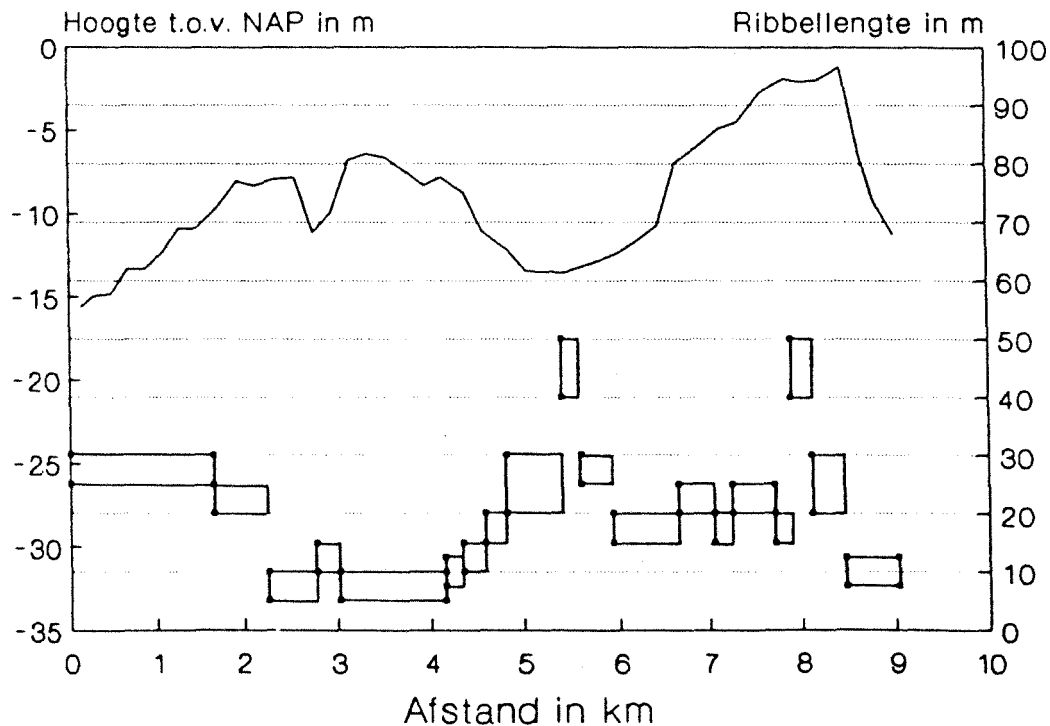
SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 17a. Schaar van Valkenisse: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde

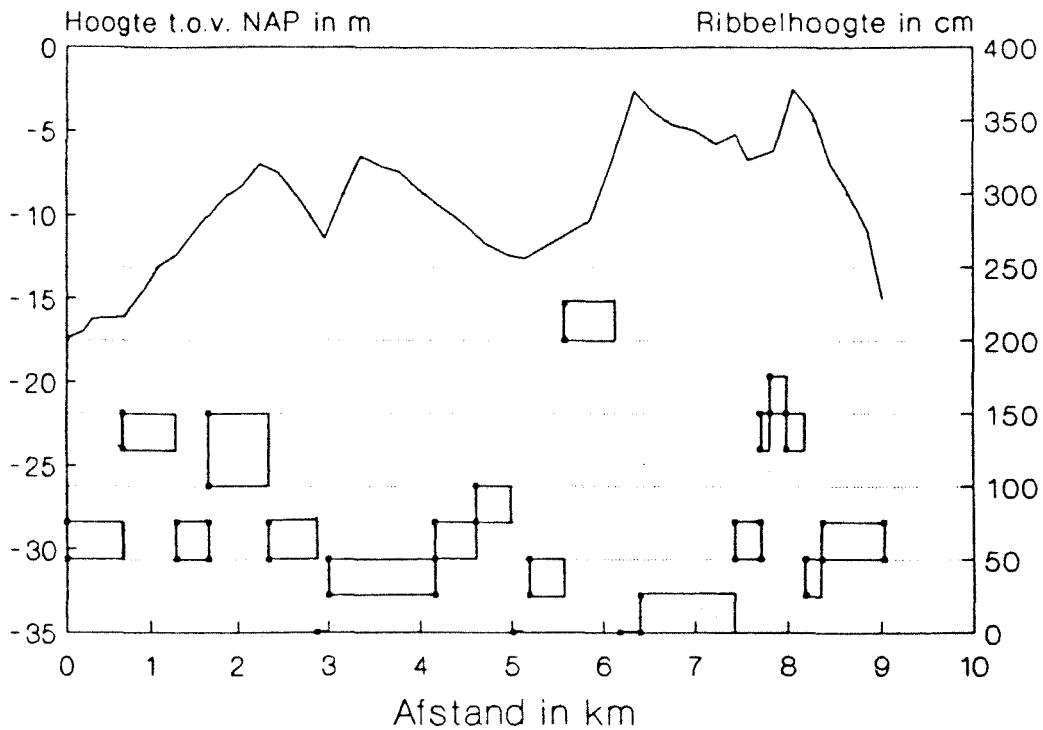
SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 17b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde

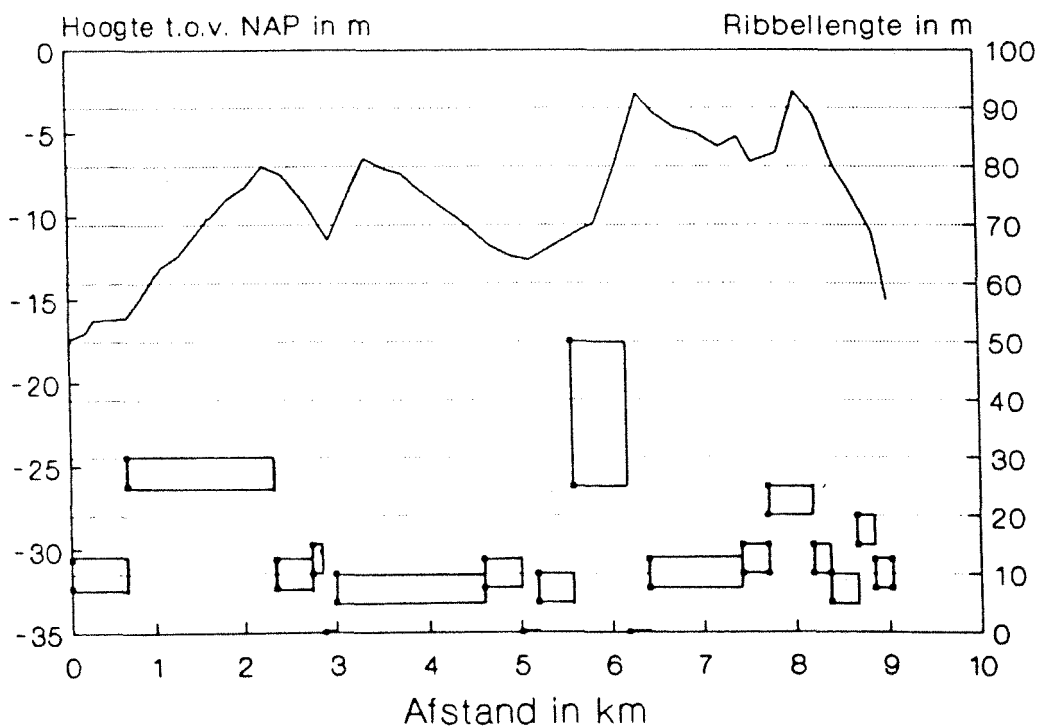
SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 18a. Schaar van Valkenisse: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde

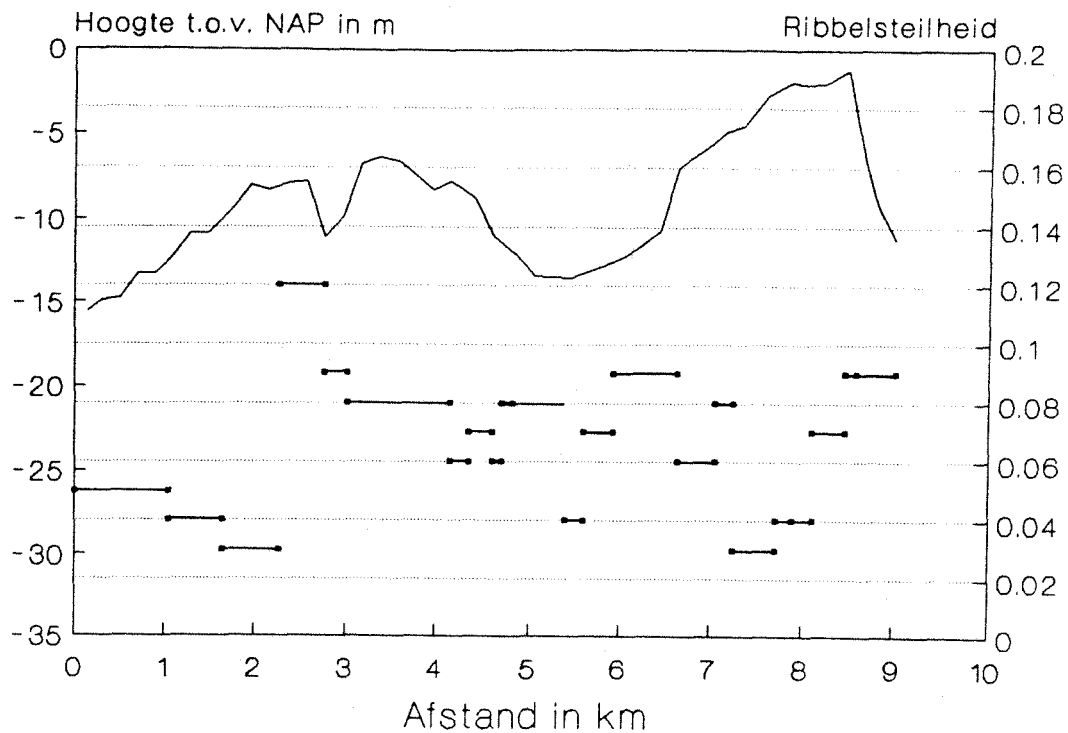
SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 18b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde

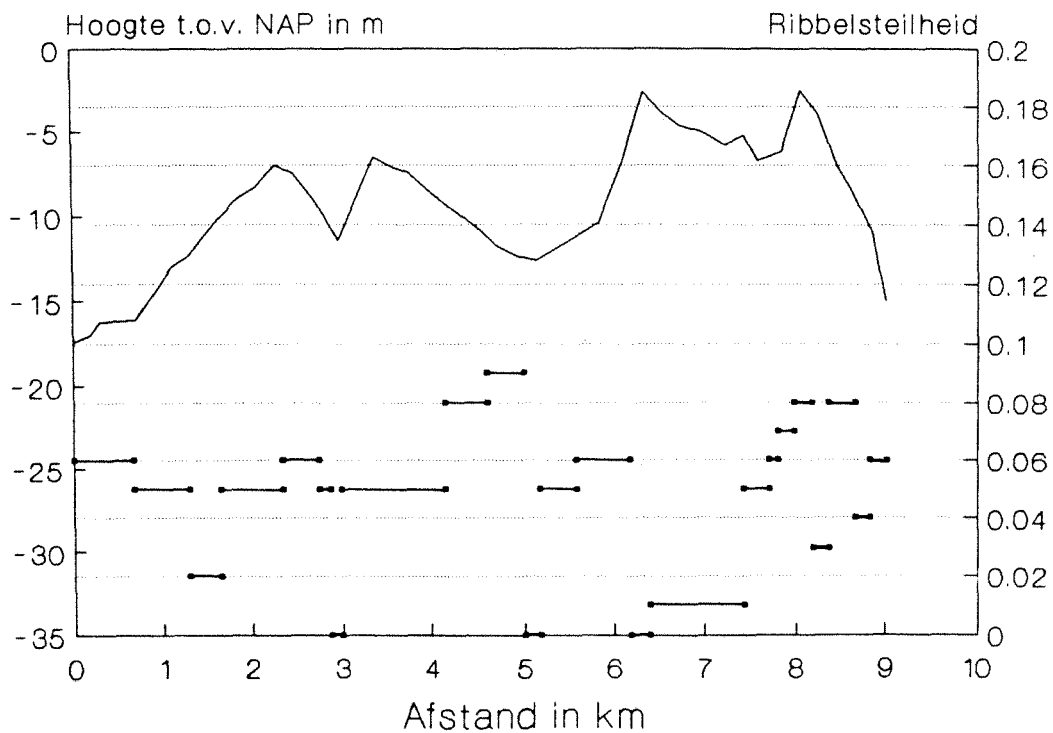
SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 19a. Schaar van Valkenisse: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde

SCHAAR VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 19b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde

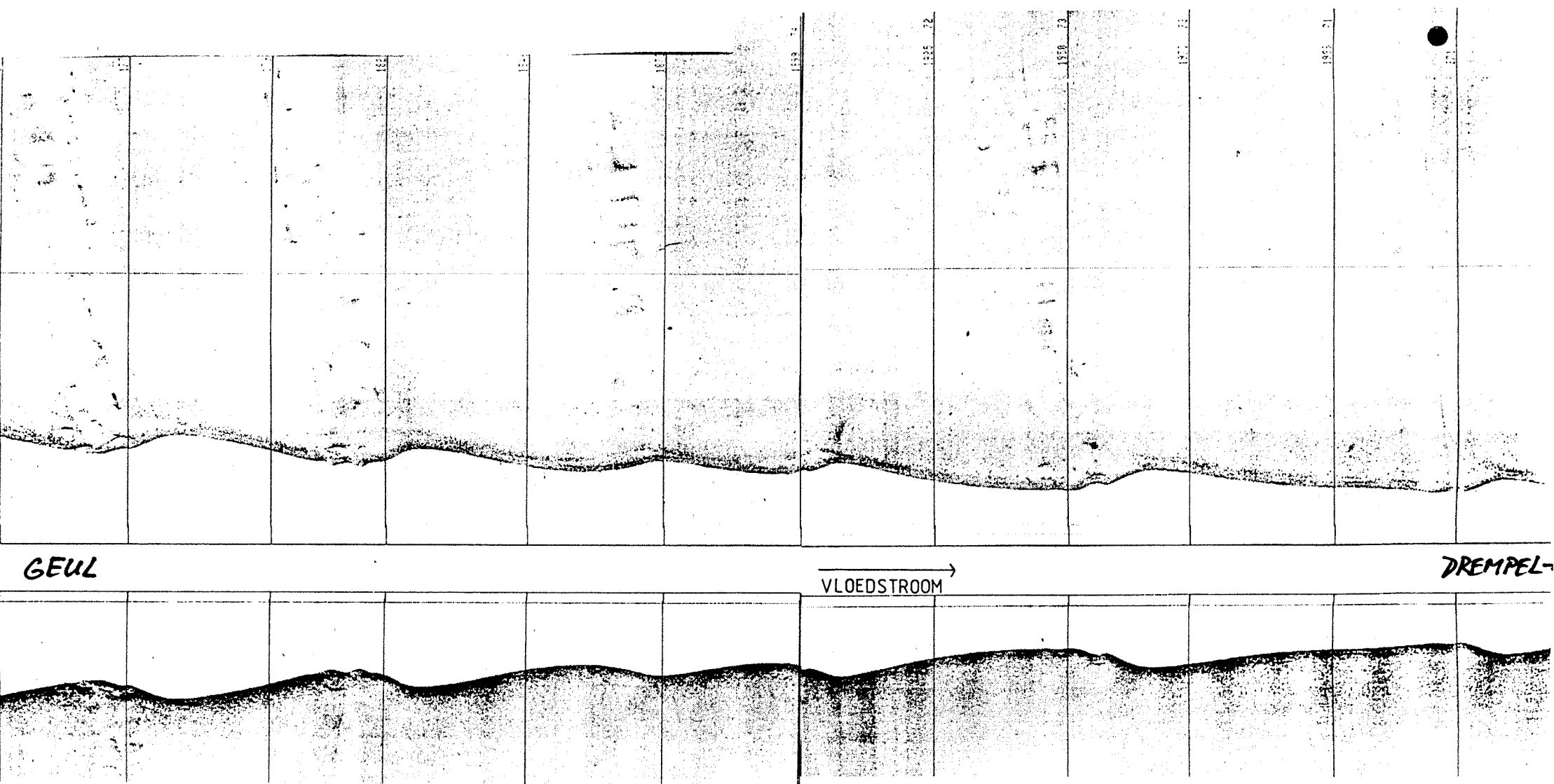


Fig. 20. Schaar van Valkenisse.
 Springtij, positieve zijde
 (1725-2249).
 Ribbeloepenolging bij drempel.

SCHAAR VAN VALKENISSE

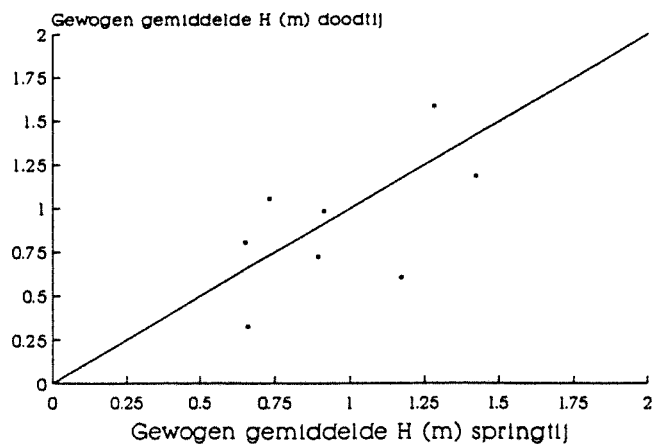


Fig. 21a. Doodtj-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte tegen springtj-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte

SCHAAR VAN VALKENISSE

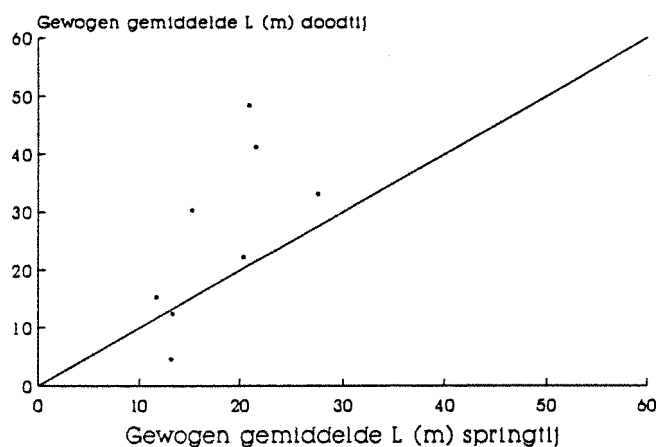


Fig. 21b. Als figuur 21a met ribbellengte

SCHAAR VAN VALKENISSE

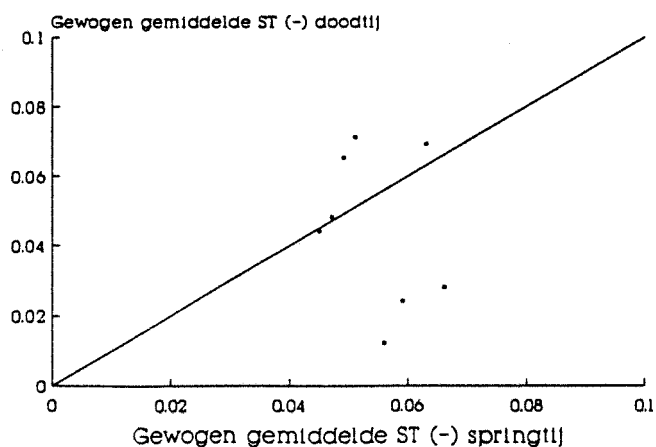


Fig. 21c. Als figuur figuur 21a met ribbelsteilheid

delen van de Schaar van Valkenisse is niet aanwezig. De steilheid blijft hier ongeveer gelijk: 0.045 - 0.06.

Tabel 5 Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid Schaar van Valkenisse							
		Doodtij			Springtij		
Asnummer	Zijde	H (m)	L (m)	ST (-)	H (m)	L (m)	ST (-)
7	-	1.58	33.0	0.048	1.28	27.5	0.047
7	+	0.98	22.1	0.044	0.91	20.3	0.045
8	-	1.05	15.2	0.069	0.73	11.6	0.063
8	+	0.80	12.3	0.065	0.65	13.2	0.049
9	-	1.18	41.2	0.028	1.42	21.5	0.066
9	+	0.32	4.5	0.071	0.66	13.1	0.051
10	-	0.60	48.3	0.012	1.17	20.9	0.056
10	+	0.72	30.2	0.024	0.89	15.2	0.059

Springtij sterk

4.4. Het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse

* doodtij, negatieve zijde (figuren 22 en 24a)

Tussen km 2 en 3.5 bevindt zich de drempel van Hansweert. Vanaf het nulpunt tot aan km 2.5 komen vloedgedomineerde tot symmetrische ribbels voor met rechte tot licht golvende kamlijnen. Op het grootste deel van de drempel komen geen ribbels voor. Van km 3.5 tot km 4.5 zijn ebgedomineerde ribbels ($H = 25 - 50$ cm; $L = 10 - 15$ m) met rechte kamlijnen aanwezig. Nabij de drempel zijn de ribbels langer en lager. De ribbels van km 4.5 tot en met km 9 zijn redelijk regelmatig ($H = 25 - 75$ cm; $L = 5 - 10$ m) en hebben rechte tot licht golvende kamlijnen. De ribbels van km 4.5 tot km 6 zijn ebgedomineerd, van km 6 tot km 9 symmetrisch tot vloedgedomineerd. De drempel bij km 13 (Drempel van Valkenisse) vertoont hetzelfde beeld als de drempel in de Schaar van Valkenisse. In het diepe deel van de geul bij km 11 - 12 komen hoge en korte vloedgedomineerde ribbels ($H = 1.5 - 2.5$ m; $L = 20 - 30$ m) voor, die drempelopwaarts overgaan in lagere en langere ribbels ($H = 50 - 75$ cm; $L = 75 - 100$ m). Het hoogste deel van de drempel is vlak en vertoont vele baggersporen. Voorbij de drempel

in het diepere deel komen hoge, korte ebgedomineerde ribbels voor ($H = 100 - 125$ cm; $L = 5 - 10$ m) die drempelopwaarts lager en langer worden ($H = 0 - 25$ cm; $L = 10 - 15$ m).

* doodtij, positieve zijde (figuren 23 en 24b)

Aan de positieve zijde is het ribbelpatroon veel sterker antropogeen beïnvloed. Tussen km 3.9 tot en met 6.3 zijn enkele turbulentieputten aanwezig die samenhangen met het Oude Hoofd van Walsoorden. Van km 11 tot en met 12 dijkbestortingsmateriaal aanwezig. De trends zoals beschreven aan de negatieve zijde doen zich in de niet verstoorde delen van de positieve zijde ook voor.

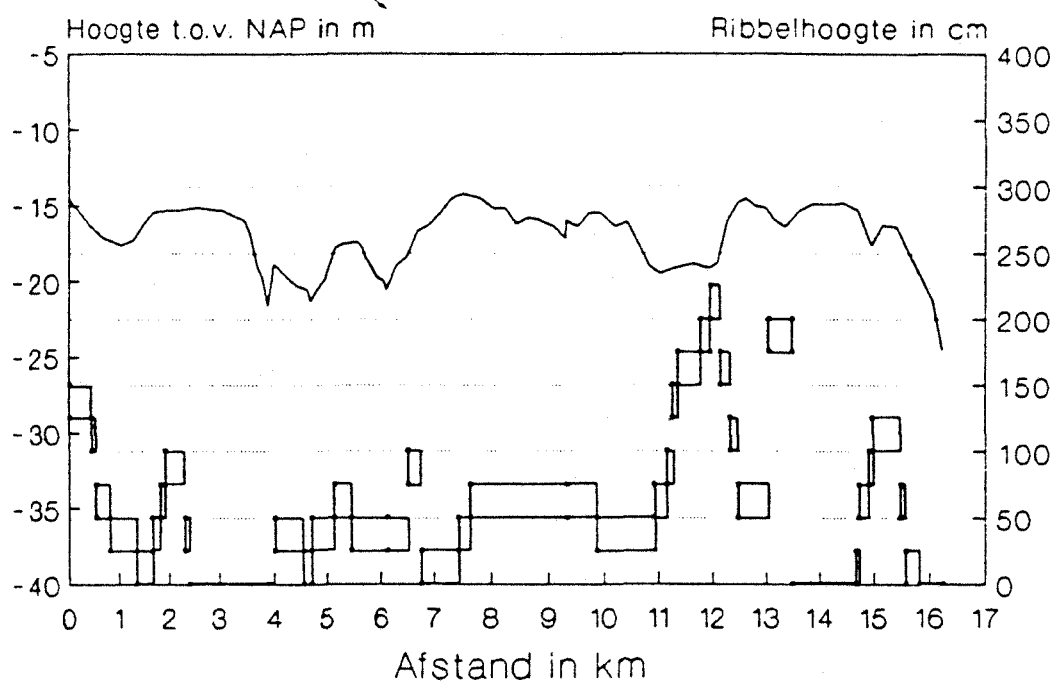
* springtij, negatieve zijde (figuren 25 en 27a)

De negatieve zijde bij springtij vertoont in grote lijnen dezelfde opeenvolgingen als bij doodtij. As 12 bevat vloedgeoriënteerde ribbels, as 13 ebgeoriënteerde. As 13 negatieve zijde is gevaren vlak voor de laagwaterkentering (ebgeoriënteerde ribbels), as 13 positieve zijde tijdens de hoogwaterkentering (vloedgeoriënteerde ribbels). De ribbels ($H = 50 - 75$ cm; $L = 5 - 10$ m) keren om bij omkerende stroming (zie fig. 28 a en b). Het ribbelpatroon in as 13 en in as 14 is zeer regelmatig. De drempel bij km 13 levert een vergelijkbaar beeld op als bij doodtij.

* springtij, positieve zijde (figuren 26 en 27b)

Ook de positieve zijde levert grotendeels dezelfde ribbelpatronen op als bij doodtij. Uit de sonarbeelden blijkt dat de ebstroom bij de dijkbestorting van km 3.9 (het Oude Hoofd van Walsoorden) zeer veel materiaal in suspensie brengt. De ebribbels tussen km 3 en 3.9 vanaf het nulpunt zijn zeer groot ($H = 175 - 200$ cm) en lang ($L = 25 - 50$ m).

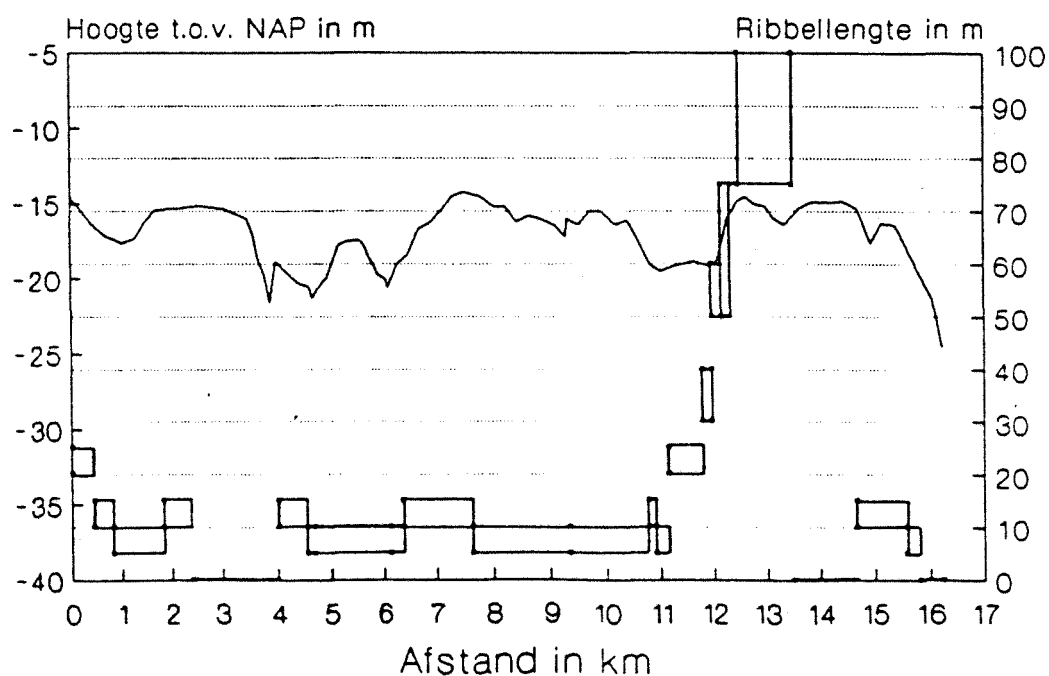
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 22a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, negatieve zijde

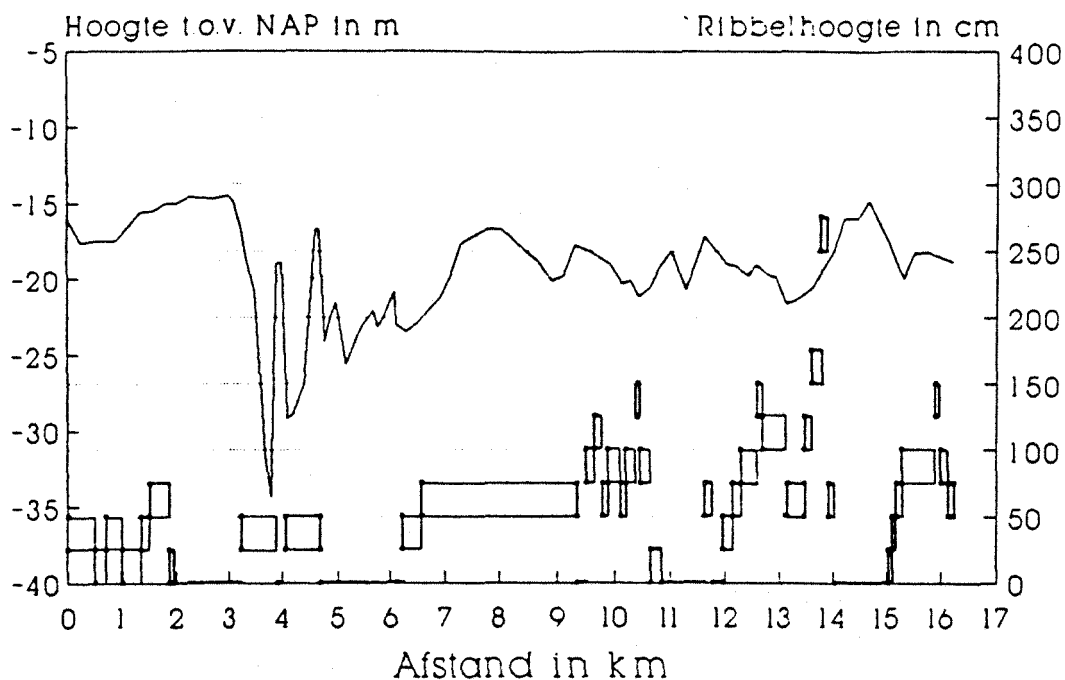
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 22b. Idem: ribbellengte, doodtij, negatieve zijde

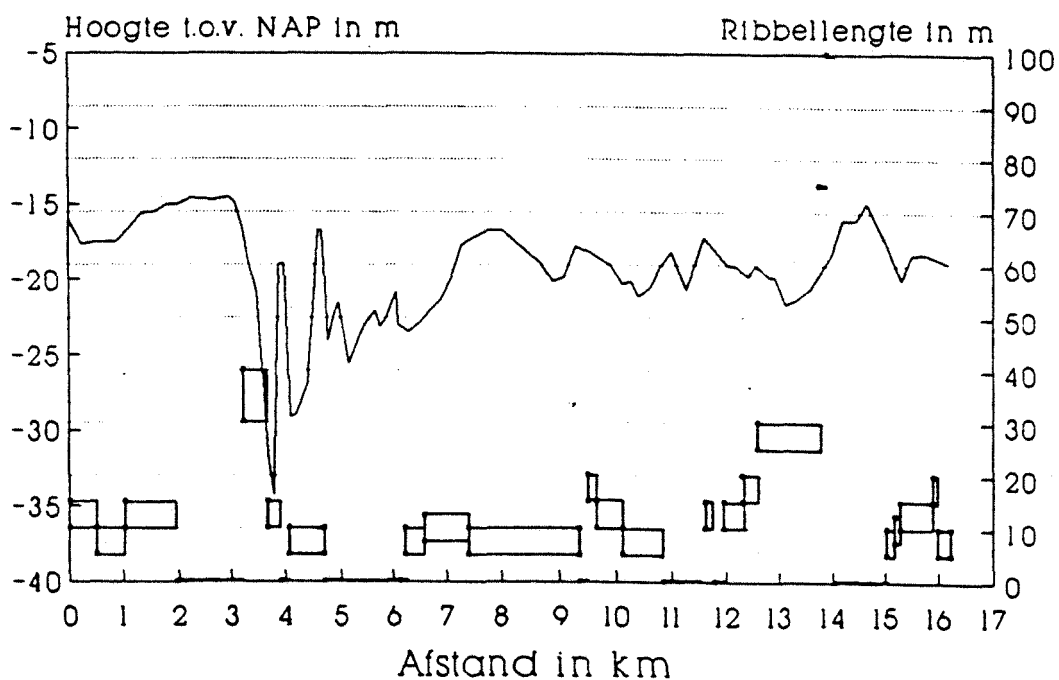
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 23a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelhoogte, doodtij, positieve zijde

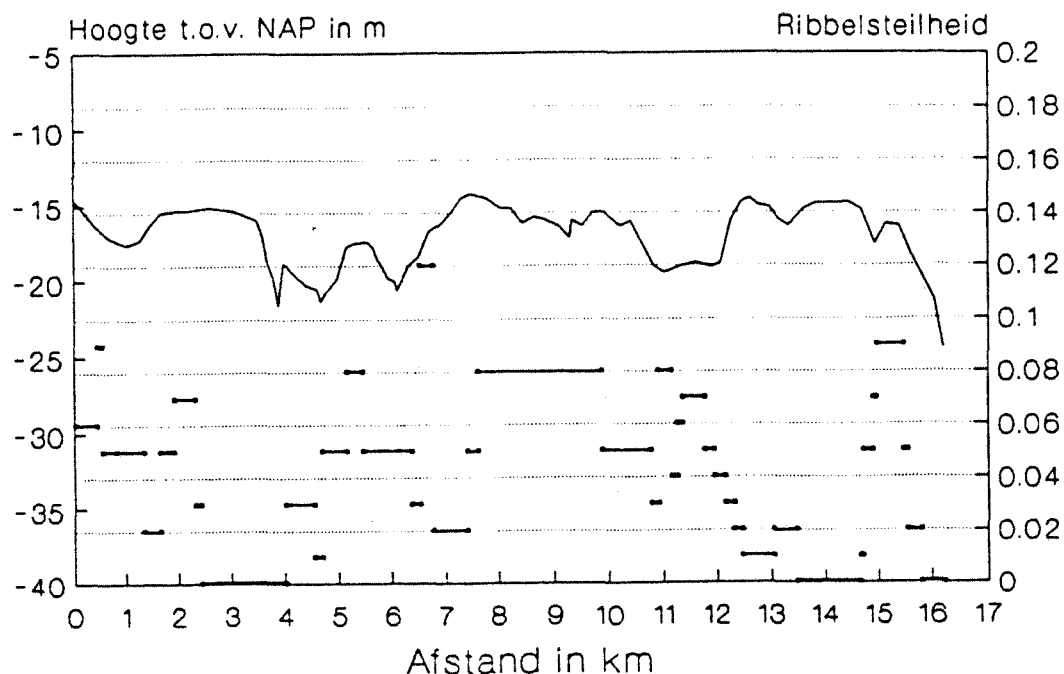
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 23b. Idem: ribbellengte, doodtij, positieve zijde

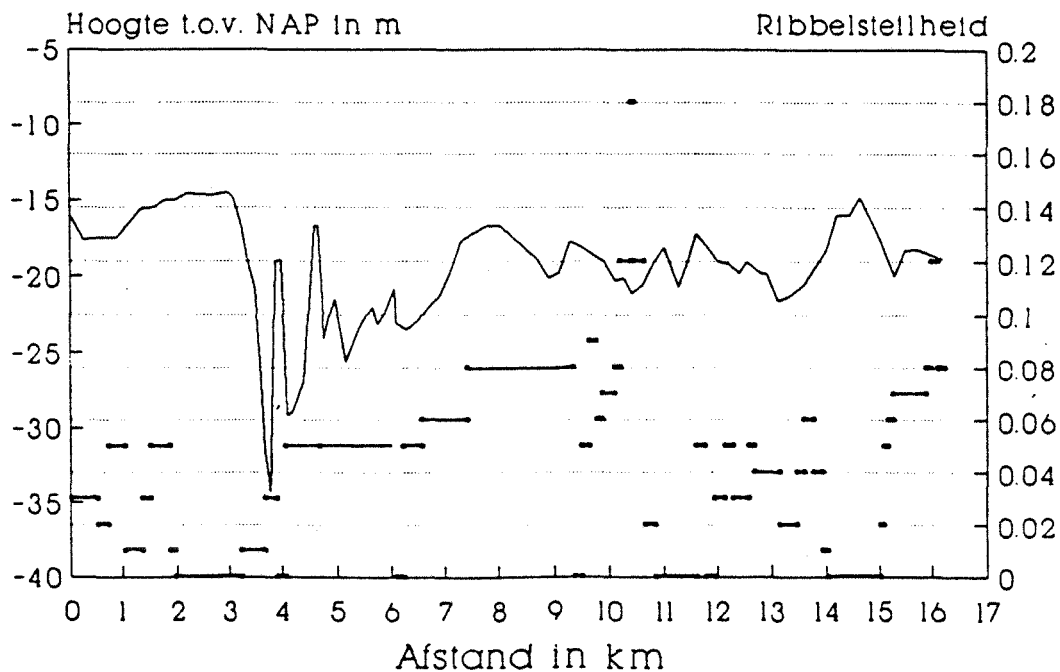
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, negatieve zijde

Fig. 24a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelsteilheid, doodtij, negatieve zijde

ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



DOODTIJ, positieve zijde

Fig. 24b. Idem: ribbelsteilheid, doodtij, positieve zijde

* verschillen in ribbelparameters tussen de negatieve en positieve zijde

Er zijn duidelijk verschillen in antropogene invloeden tussen de positieve en de negatieve zijde. Om te voorkomen dat het Zuidergat de buitenbocht erodeert, is op verscheidene plekken dijkbestortingsmateriaal aangebracht. Op de drempels wordt ten behoeve van de scheepvaart regelmatig gebaggerd. Zuigsporen zijn op de sonarrollen duidelijk te zien.

Bij as 15 (km 12 tot 13.5) is duidelijk het verschil tussen de binnen- en de buitenbocht te zien. De positieve zijde ligt in de buitenbocht, de negatieve zijde in de binnenbocht. De ribbels zijn aan de positieve zijde groter:

- positieve zijde: $H = 125 - 150 \text{ cm}$; $L = 10 - 15 \text{ m}$

- negatieve zijde: $H = 25 - 75 \text{ cm}$; $L = 5 - 10 \text{ m}$.

Een verklaring hiervoor wordt gegeven in hoofdstuk 5.

* verschillen in ribbelparameters tussen doodtij en springtij

De gewogen gemiddelden zijn vermeld in tabel 6. De doodtij-gewogen-gemiddelden zijn in figuur 29a,b en c tegen de springtij-gewogen-gemiddelden uitgezet.

De ebbribbels bij km 3 - 4 zijn bij springtij veel hoger en langer dan bij doodtij. De ebstroom brengt stroomopwaarts van het Oude Hoofd van Walsoorden meer materiaal in suspensie bij springtij dan bij doodtij.

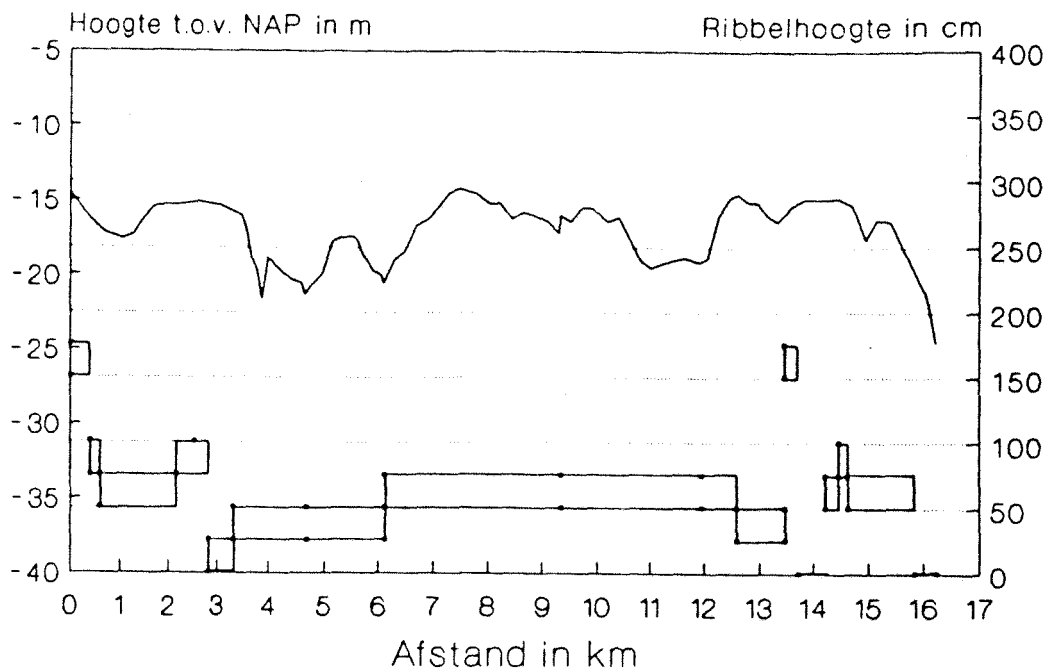
De ribbels drempelopwaarts bij km 13 zijn bij doodtij veel langer dan bij springtij. Dit is bij de drempel van de Schaar van Valkenisse en de drempel tussen de Schaar van Valkenisse en de Zimmermangeul ook waargenomen.

In de overige delen van het Zuidergat verschillen de ribbelhoogte en ribbellengte tussen doodtij en springtij nauwelijks. De steilheid is bij springtij in de meestal gevallen groter dan bij doodtij.

Tabel 6 Gewogen gemiddelden van ribbelhoogte, -lengte en -steilheid
Zuidergat en Overloop van Valkenisse

		Doodtij			Springtij		
Asnummer	Zijde	H (m)	L (m)	ST (-)	H (m)	L (m)	ST (-)
11	-	0.39	7.9	0.049	0.63	8.4	0.051
11	+	0.19	8.4	0.022	0.23	10.3	0.022
12	-	0.43	7.5	0.057	0.38	7.5	0.051
12	+	-	-	-	-	-	-
13	-	0.50	8.9	0.056	0.63	8.5	0.074
13	+	0.59	8.0	0.074	0.63	7.5	0.084
14	-	0.83	13.7	0.061	0.63	7.5	0.084
14	+	0.69	8.7	0.079	0.64	8.3	0.077
15	-	1.34	79.2	0.017	0.48	7.5	0.064
15	+	0.83	27.5	0.030	1.31	19.3	0.068
16	-	0.72	11.4	0.063	0.62	8.6	0.072
16	+	0.65	16.3	0.039	0.84	10.4	0.080

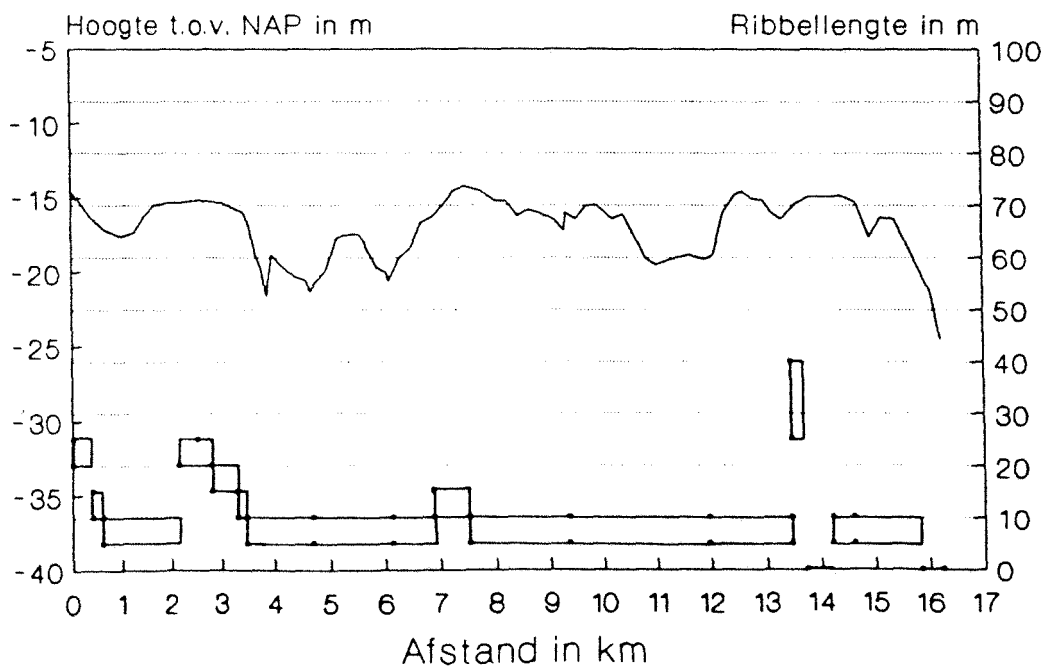
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 25a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelhoogte, springtij, negatieve zijde

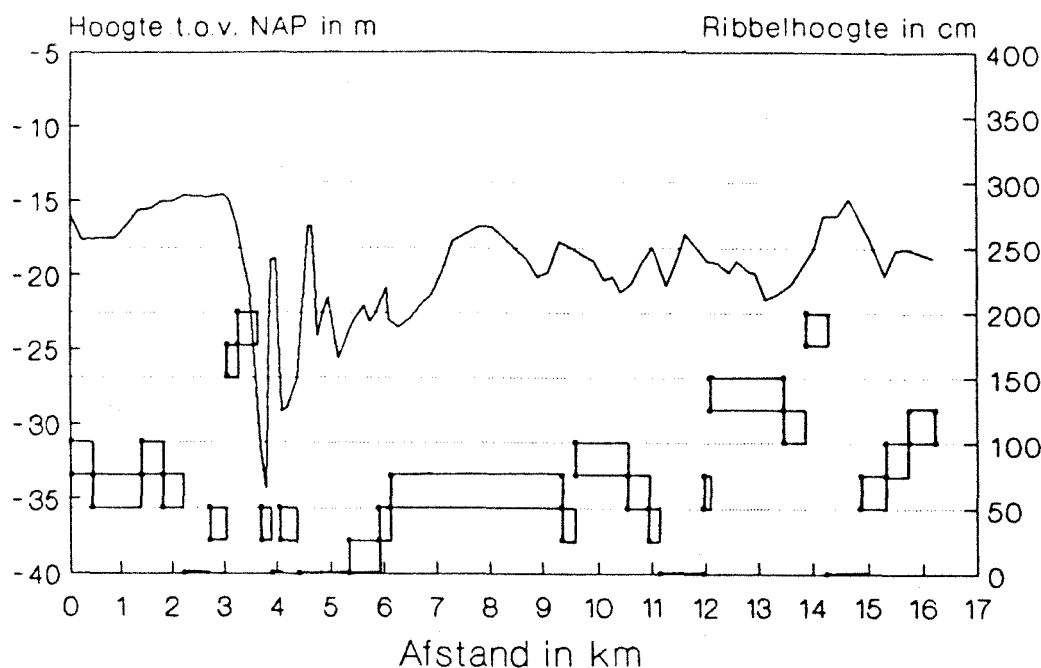
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 25b. Idem: ribbellengte, springtij, negatieve zijde

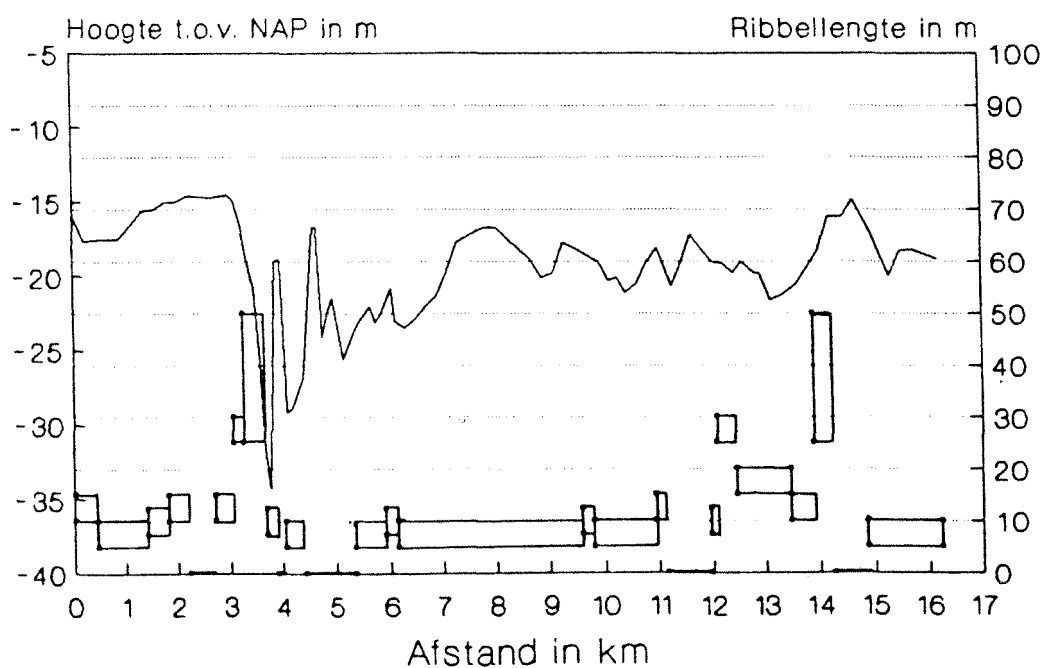
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 26a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelhoogte, springtij, positieve zijde

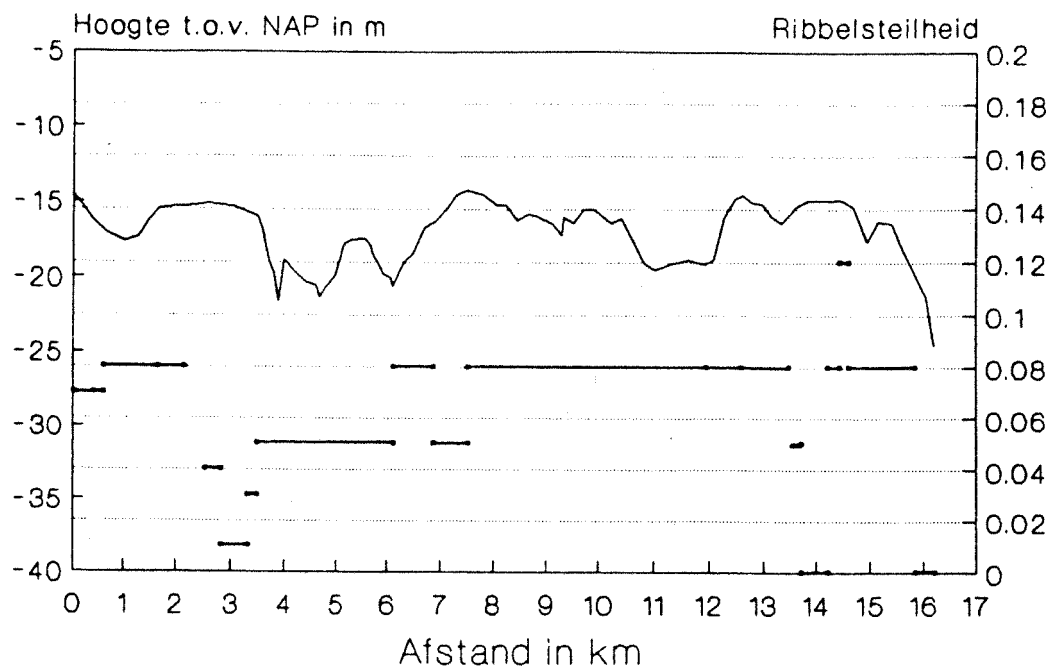
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 26b. Idem: ribbellengte, springtij, positieve zijde

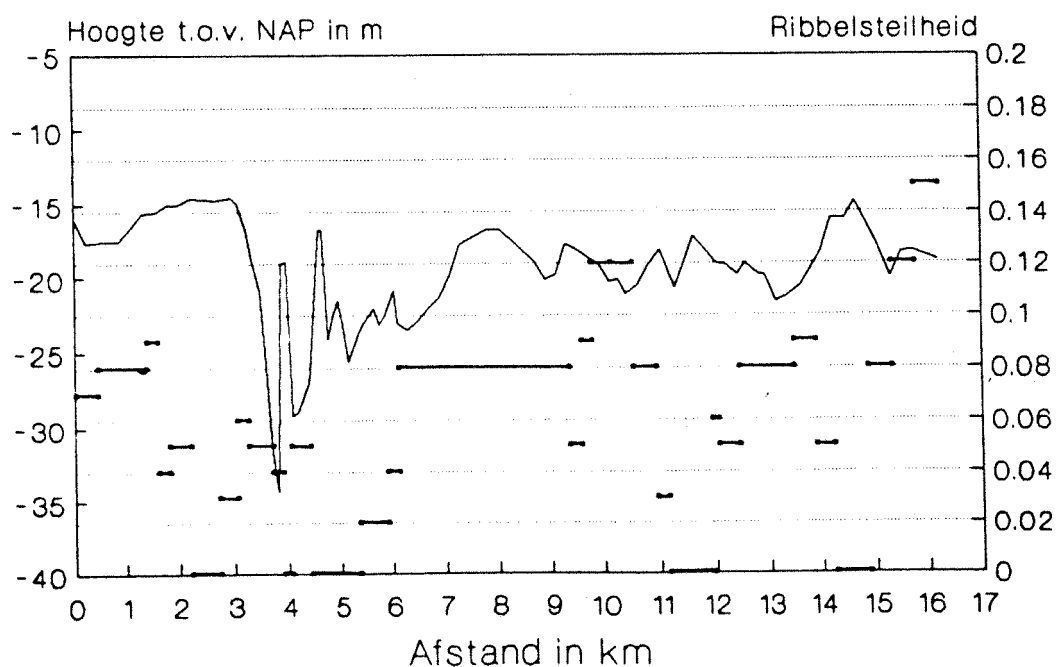
ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, negatieve zijde

Fig. 27a. Zuidergat en Overloop van Valkenisse: ribbelsteilheid, springtij, negatieve zijde

ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE



SPRINGTIJ, positieve zijde

Fig. 27b. Idem: ribbelsteilheid, springtij, positieve zijde

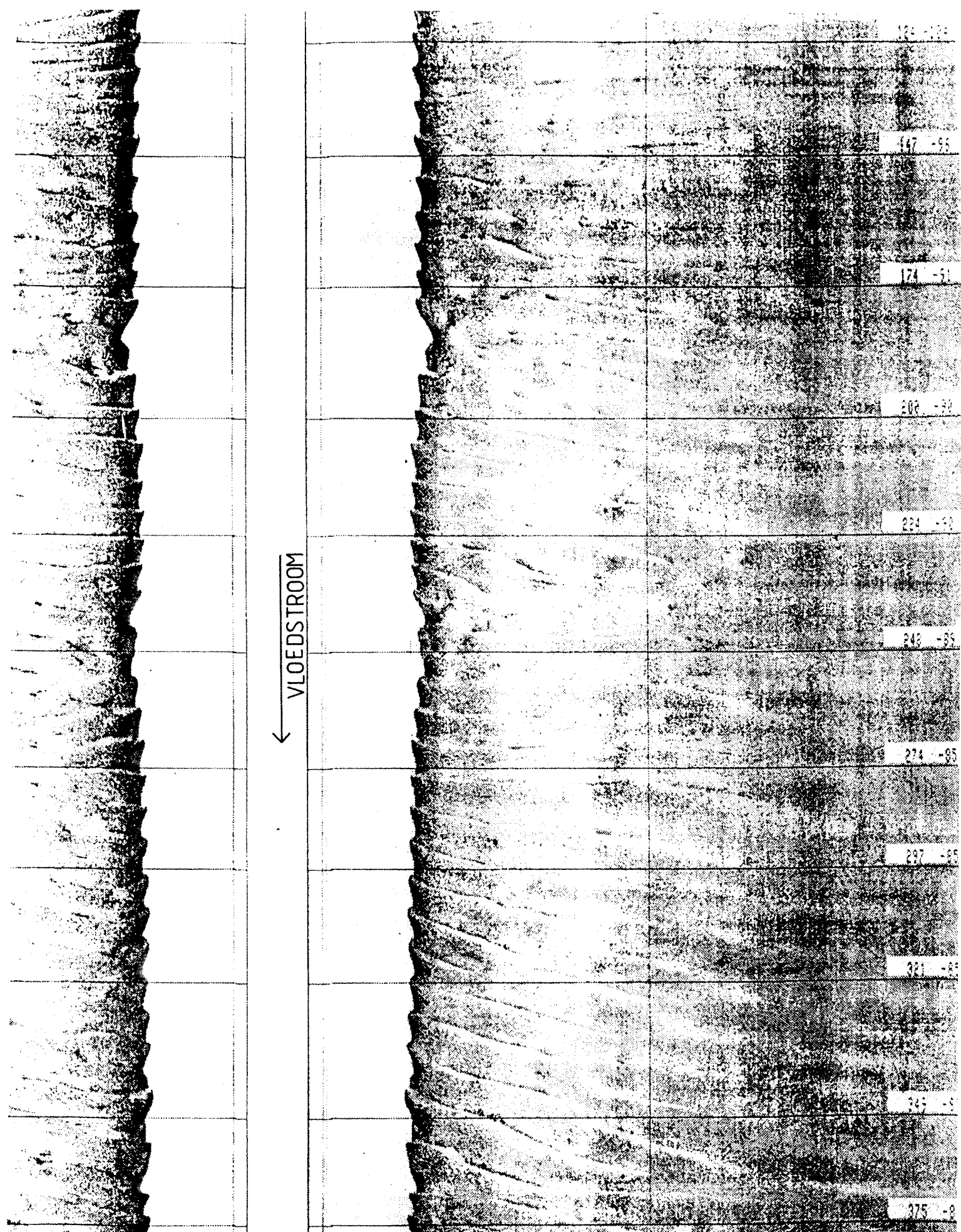


Fig. 28a. Zuidergat, as 13. Springtij, negatieve zijde.
Ebgeoriënteerde ribbels

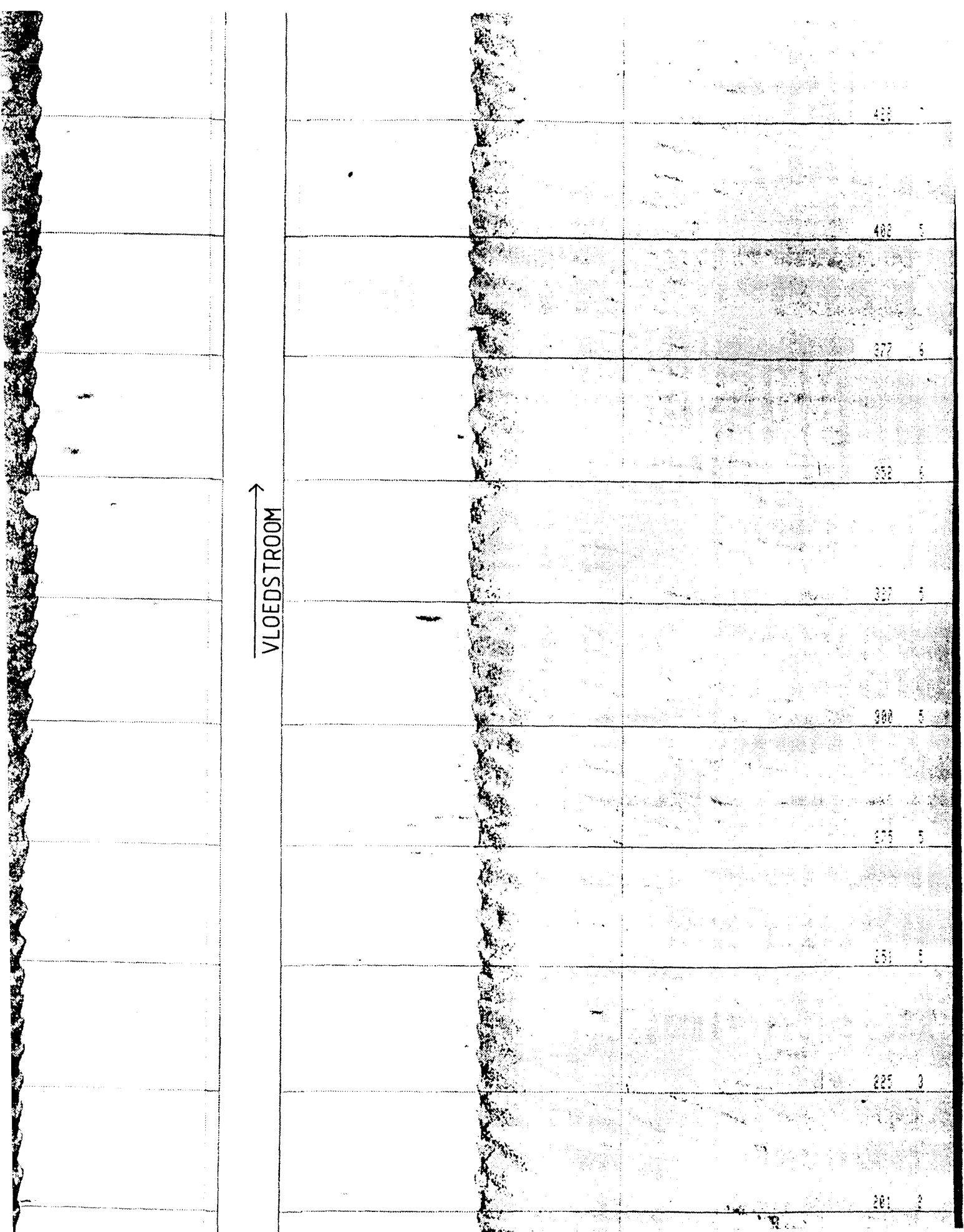


Fig. 28b. Zuidergat, as 13. Springtij, negatieve zijde.
Vloedgeoriënteerde ribbels

ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE

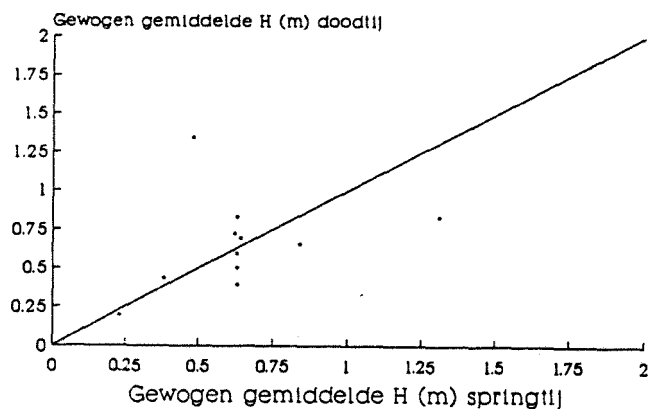


Fig. 29a Doodtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte tegen
springtij-gewogen-gemiddelde ribbelhoogte

ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE

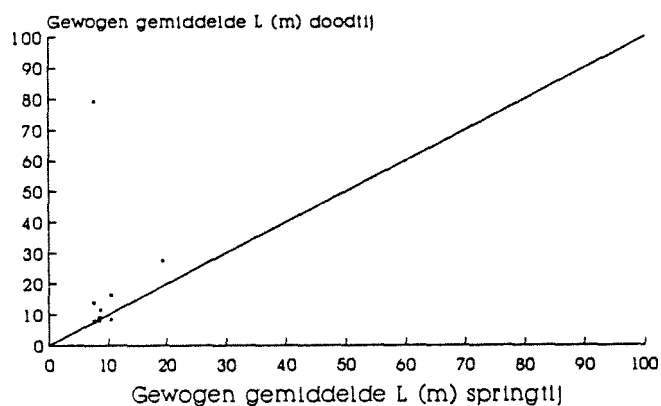


Fig. 29b. Als figuur 29a met ribbellengte

ZUIDERGAT EN OVERLOOP VAN VALKENISSE

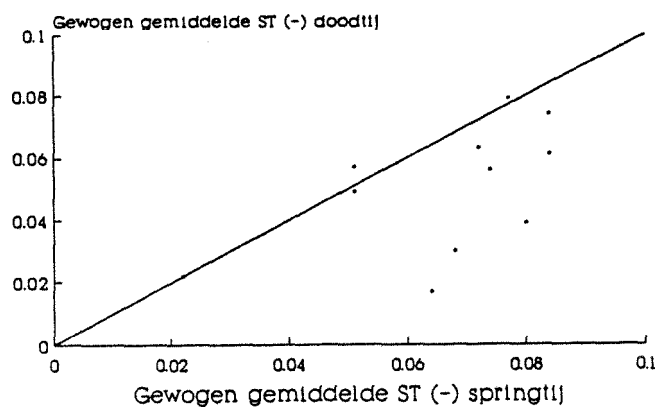


Fig. 29c. Als figuur 29a met ribbelsteilheid

5. Verklaring van de voorkomende ribbelparameters

5.1. Inleiding

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat de waterdiepte, de stroomsnelheid en de korrelgrootte de ribbellengte, en de waterdiepte en de stroomsnelheid de ribbelhoogte bepalen. In dit hoofdstuk wordt getracht de voorkomende ribbelparameters met behulp van deze factoren te verklaren. Zoals in hoofdstuk 3 reeds vermeld is, wordt de korrelgrootte hierbij buiten beschouwing gelaten.

5.2. Relatie ribbelparameters met hydraulica

5.2.1. Snelheden bepaald met debietgegevens

Op grond van debietgegevens (de Jong, 1989 en aanvullingen) van raai 3 (Zimmermangeul en Overloop van Valkenisse) en van raai 5 (Schaar van Waarde en Zuidergat) kunnen de doorsnede-gemiddelde maximale snelheden van de ebstroom en de vloedstroom bepaald worden. De snelheid wordt berekend aan de hand van:

$$u_{\max} = Q_{\max} / A_c \quad (2)$$

waarin $u_{\max}$ = doorsnede-gemiddelde maximale stroomsnelheid (m/s)
 $Q_{\max}$ = maximale debiet (m³/s)
 A_c = oppervlakte doorstroomprofiel t.o.v. NAP (m²).

De gegevens staan vermeld in tabel 7.

De stroomsnelheden in de Schaar van Valkenisse kunnen niet met debietgegevens worden berekend, daar er geen debietraai door de Schaar van Valkenisse loopt. Gezien het geringe debiet door de Zimmermangeul en over de Platen van Valkenisse en de relatief geringe dwarsdoorsnede van de Schaar van Valkenisse is het te verwachten dat de snelheden in dezelfde orde van grootte als in de Schaar van Waarde dan wel nog iets hoger zijn.

Tabel 7 Doorsnede-gemiddelde maximale stroomsnelheden

Raai 3 (1990)									
$Q_{\max,eb}$ $\cdot 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$		$Q_{\max,vloed}$ $\cdot 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$		A_c $\text{(m}^2\text{)}$		$u_{\max,eb}$ (m/s)		$u_{\max,vloed}$ (m/s)	
OvV	Zim	OvV	Zim	OvV	Zim	OvV	Zim	OvV	Zim
15.1	2.0	15.1	2.7	15260	3218	0.99	0.62	0.99	0.53
Raai 5 (1988)									
$Q_{\max,eb}$ $\cdot 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$		$Q_{\max,vloed}$ $\cdot 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$		A_c $\text{(m}^2\text{)}$		$u_{\max,eb}$ (m/s)		$u_{\max,vloed}$ (m/s)	
Zui	SvW	Zui	SvW	Zui	SvW	Zui	SvW	Zui	SvW
13.0	13.0	16.4	20.7	16566	16736	0.78	0.78	0.99	1.24

OvV = Overloop van Valkenisse

Zim = Zimmermangeul

Zui = Zuidergat

SvW = Schaar van Waarde

Op grond van de snelheden in tabel 7 kunnen de volgende ribbeleigenschappen verwacht worden:

1. de ribbels in de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse zijn vloedgedomineerd en aanzienlijk lang en hoog.
2. de ribbelgroottes nemen af vanuit de Schaar van Waarde naar de Zimmermangeul. De Zimmermangeul is voor de eb- en vloedstroom van veel geringere betekenis dan de Schaar van Valkenisse.
3. de ribbels in het Zuidergat zijn kleiner (lager en korter) dan in de beide vloedscharen.

Uit de beschrijving in hoofdstuk 2 en de kaarten 2,3,5 en 6 blijken bovengenoemde verwachtingen redelijk te kloppen.

5.2.2. Snelheidspuntwaarnemingen

Ten behoeve van het project OostWest zijn van 24 augustus 1990

tot en met 19 september 1990 stroommetingen verricht in het oostelijk deel van de Westerschelde (Rijkswaterstaat, 1991). Alle snelheidsmeters hebben gemeten op een diepte van ongeveer 40 % van de waterdiepte boven de bodem. Hierdoor zijn de gemeten snelheden ongeveer gelijk aan de gemiddelde snelheid in de verticaal. In de figuren 30 en 31 zijn de maximale stroomsnelheden van de eb- en de vloedstroom van zowel doottij als springtij weergegeven.

De snelheden zijn niet vergelijkbaar met de snelheden in tabel 7. De snelheden in tabel 7 zijn immers geen puntwaarnemingen. De puntwaarnemingen kunnen zowel een hogere als een lagere waarde aannemen dan de doorsnede-gemiddelde snelheid.

Met uitzondering van het waarnemingspunt in de binnenbocht van de Overloop van Valkenisse is de maximale vloedsnelheid overal hoger dan de maximale ebsnelheid.

De snelheden zijn bij springtij duidelijk hoger dan bij doottij. Toch zijn de gewogen-gemiddelde-ribbelhoogte en -lengte in het grootste deel van het oostelijk deel van de Westerschelde bij springtij niet wezenlijk anders dan bij doottij. Dit is verschillend van wat verwacht mag worden op grond van de theoretische relatie tussen ribbelhoogte, ribbellengte en stroomsnelheid. De ribbelsteilheid daarentegen is bij springtij zoals verwacht wel hoger.

De snelheid in de buitenbocht van de Overloop van Valkenisse is bij de vloedstroom hoger dan in de binnenbocht. Dit verklaart de hogere en langere ribbels in de buitenbocht (zie paragraaf 4.4.).

Is er samenhang naar een relatie met de bodemschiltspanning?

Het is dus theoretisch relatie dan?

5.3. Relatie ribbelparameters met het verloop van de bodemligging

In hoofdstuk 3 is naar voren gekomen dat theoretisch gezien, een grotere waterdiepte leidt tot langere en hogere ribbels. Uit het feit dat de ribbelkarakteristieken in de stroomgeulen in het oostelijk deel van de Westerschelde redelijk kunnen worden verklaard met de optredende stroomsnelheden, kan worden afgeleid dat een verschil in waterdiepte tussen de verschillende geulen alleen niet leidt tot andere ribbelkarakteristieken. In het oostelijk deel van de Westerschelde leidt een grotere waterdiepte alleen niet tot hogere en langere ribbels. Zo is bijvoorbeeld de gemid-

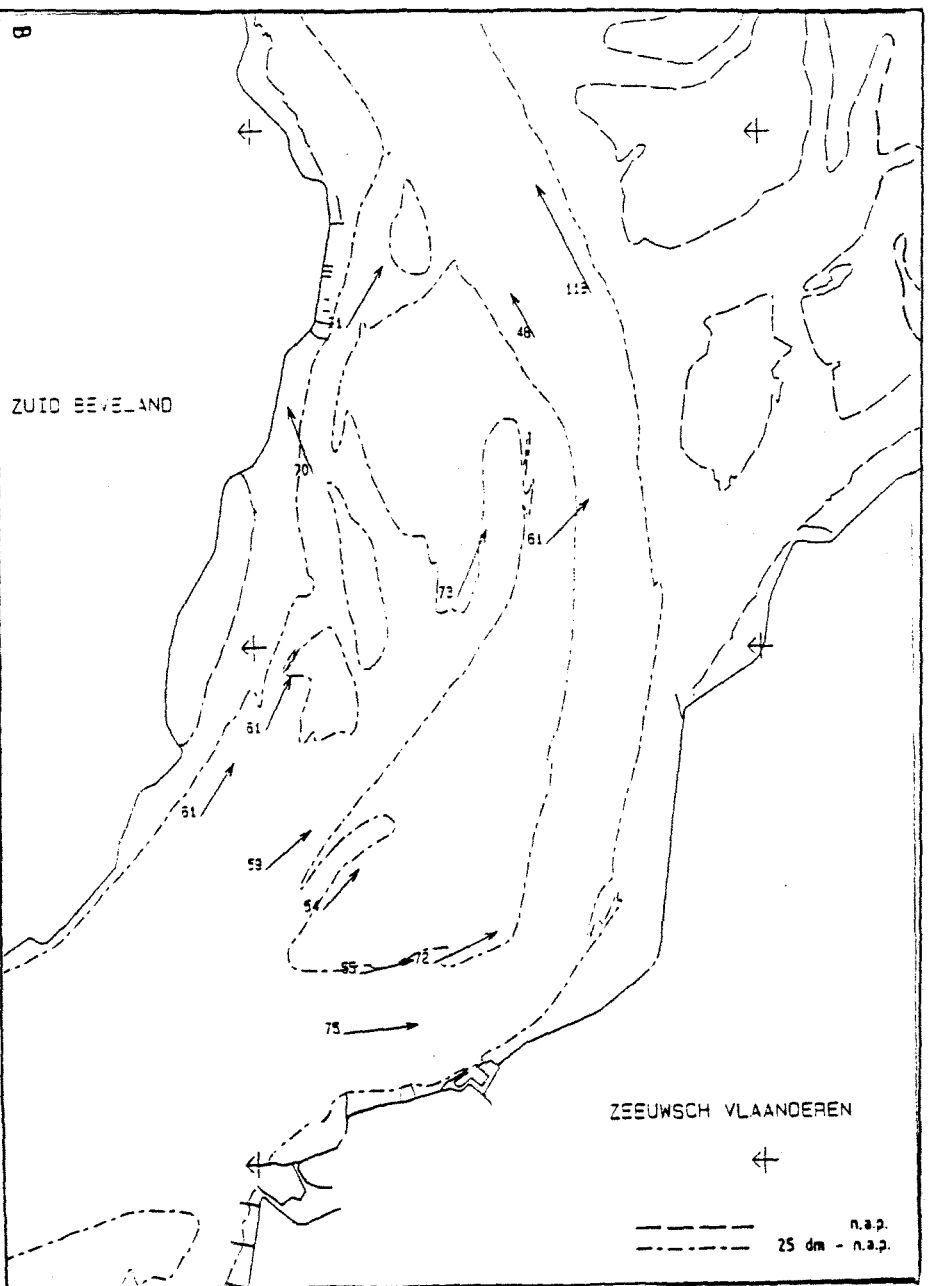
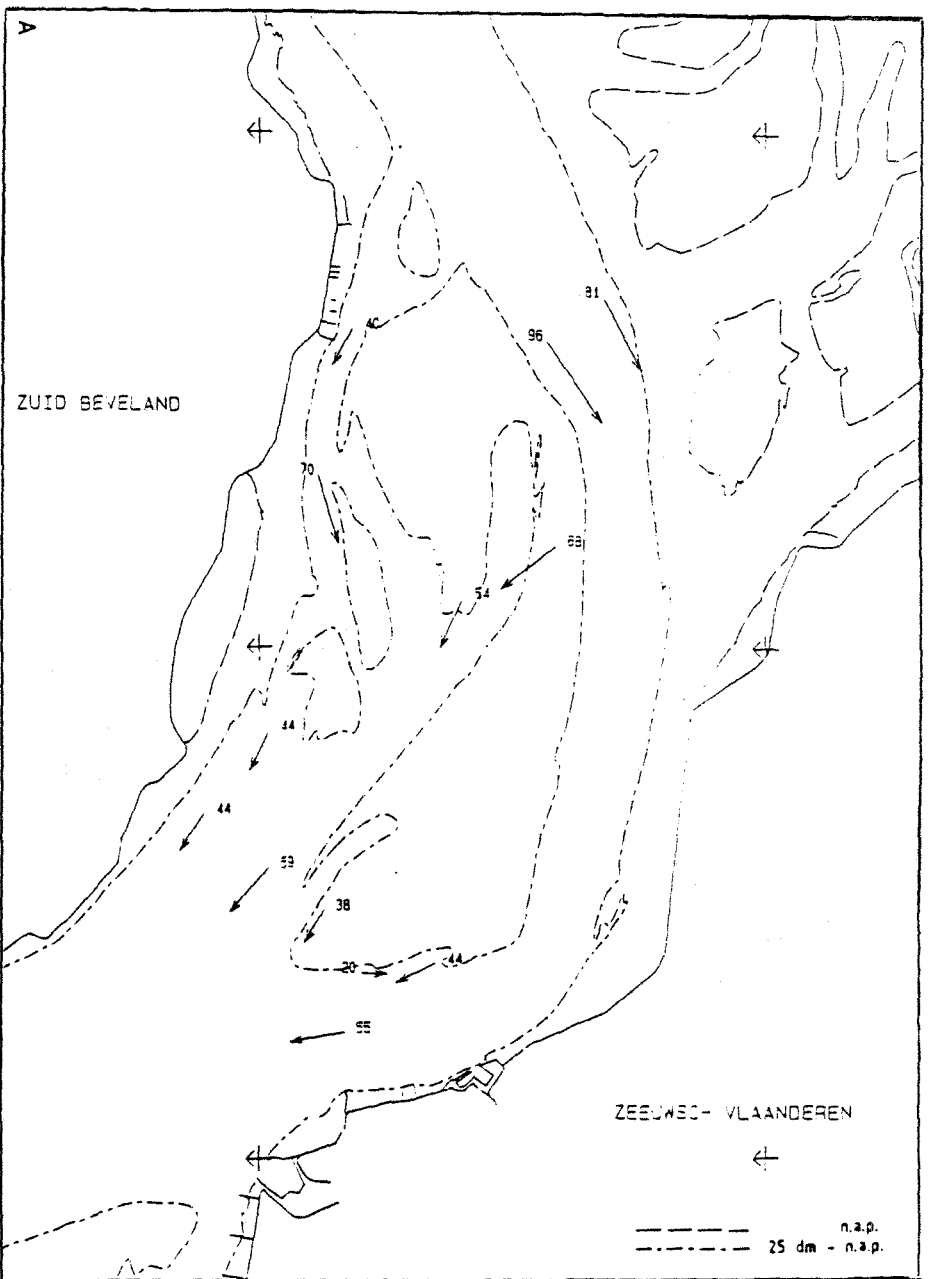


Fig. 30a. Maximale ebstroom bij gemiddeld doodtij
b. Maximale vloedstroom bij gemiddeld doodtij

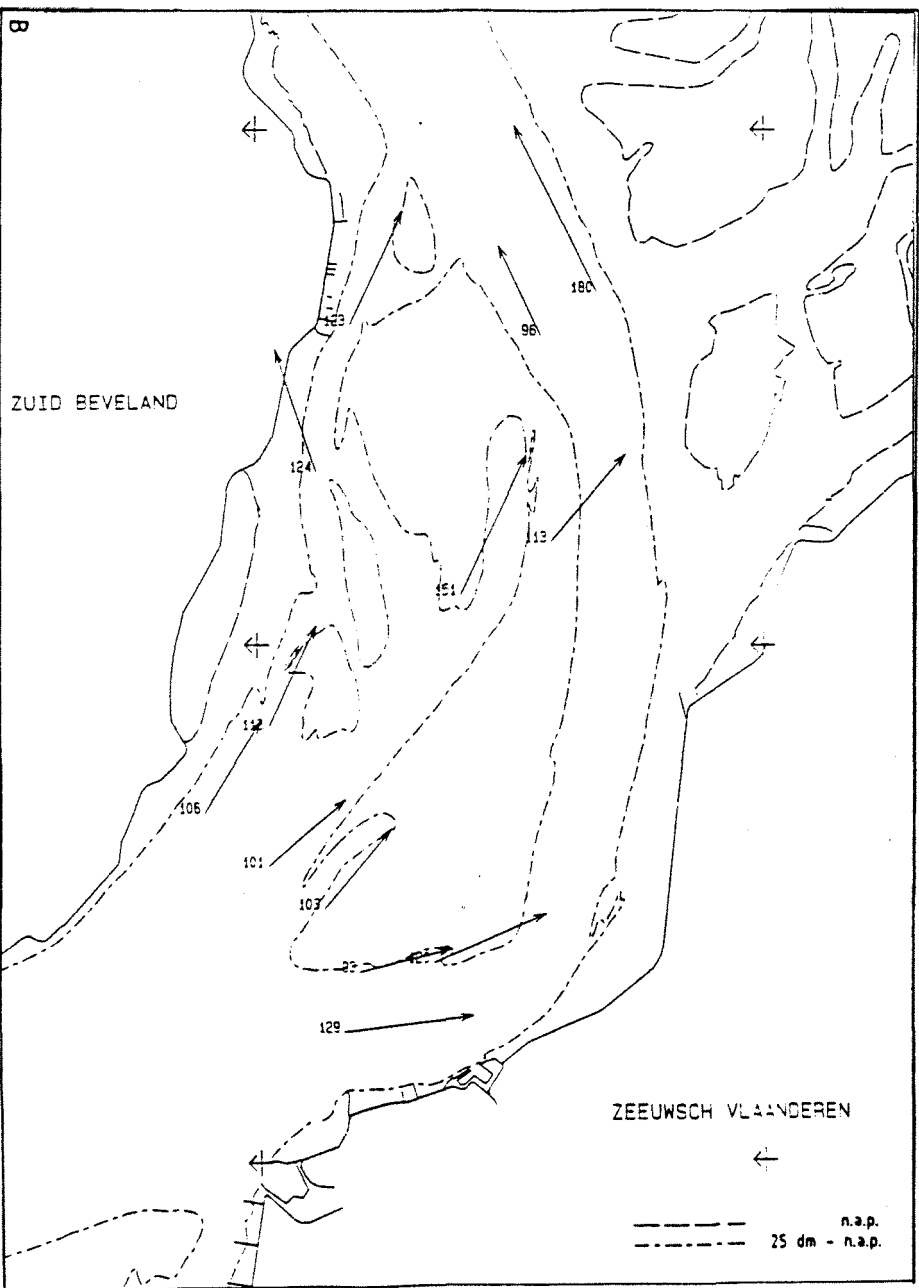
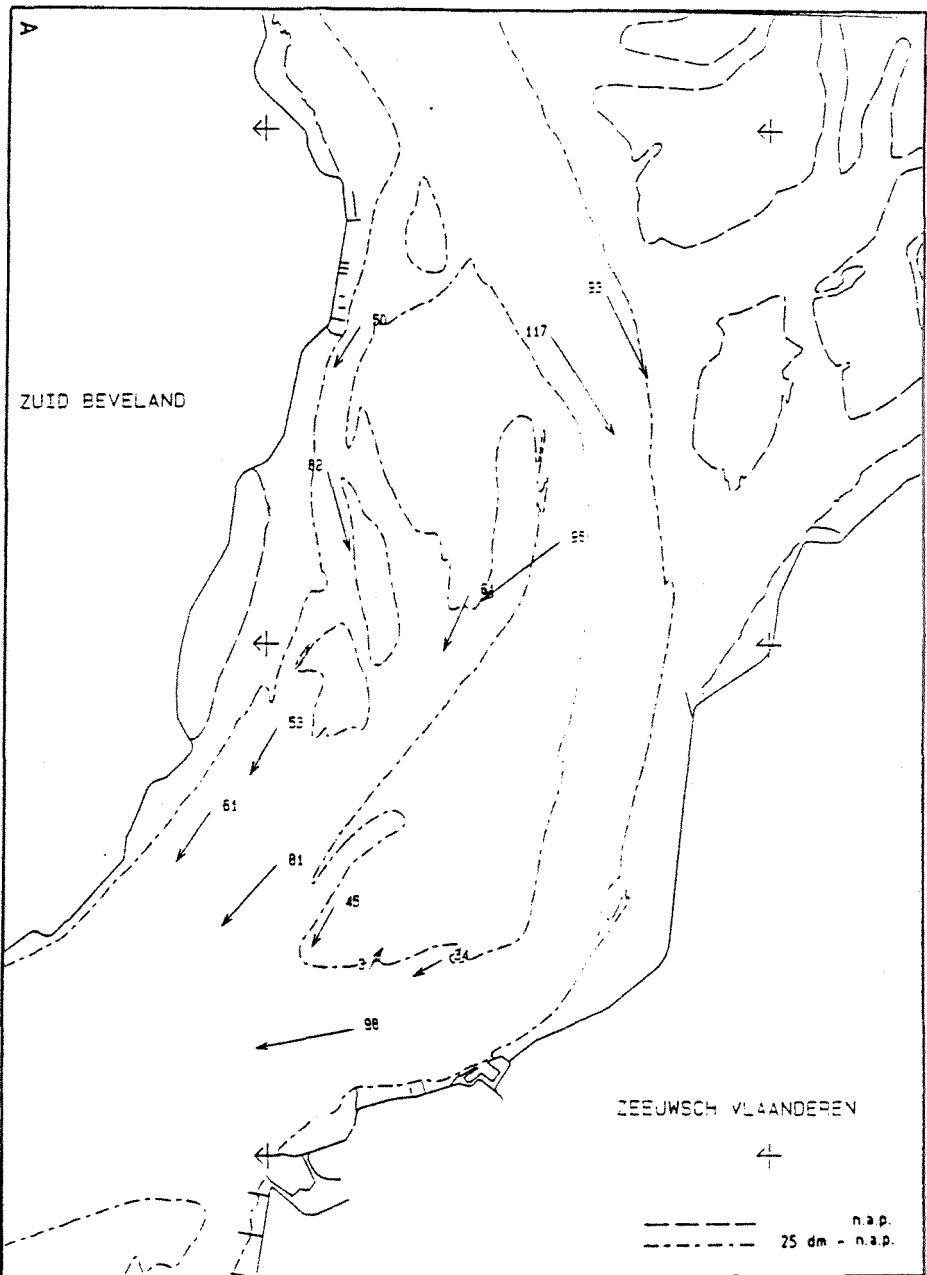


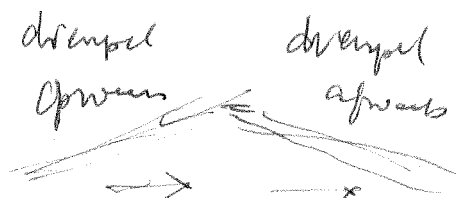
Fig. 31a. Maximale ebstroom bij gemiddeld springtij
b. Maximale vloedstroom bij gemiddeld springtij

delde waterdiepte in het Zuidergat groter dan in het begin van de Schaar van Waarde. Toch zijn de ribbels in het Zuidergat lager en korter. Wel is een verandering in waterdiepte in een geul van grote invloed op de optredende ribbelkarakteristieken.

Reeds in hoofdstuk 4 (beschrijving en fig. 8 en 20) is gebleken dat bij de drempels een karakteristieke opeenvolging van ribbels aanwezig is. Deze opeenvolging kan aan de hand van formule 3 verklaard worden.

$$Q = u * b * h \quad (3)$$

waarin Q = debiet (m^3/s)
 u = stroomsnelheid (m/s)
 b = breedte (m)
 h = waterdiepte (m)



Uit formule 3 blijkt dat u bij gelijkblijvende b toeneemt bij afnemende h . De drempels fungeren drempelopwaarts als versnellingsgebied, drempelafwaarts als vertraginggebied. Dit geldt zowel voor de eb- als de vloedstroom. Het versnellingsgebied voor de vloedstroom valt dus samen met het vertraginggebied van de ebstroom.

Het versnellingsgebied van de vloedstroom van de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse wordt in het diepe deel voor de drempel gekenmerkt door hoge, relatief korte ribbels (steile ribbels). De ribbels worden naarmate ze dichter bij de drempel komen lager en langer, zodat de steilheid sterk afneemt. Deze ribbels zijn geheel vloedgedomineerd en draaien tijdens de ebstroom niet op. Wel kunnen bij springtij ebkappen gevormd worden.

In deze opeenvolging is duidelijk de toename van de snelheid weerspiegeld. De ribbellengte neemt toe en de ribbelhoogte neemt af. Blijkbaar is de snelheid reeds dermate hoog dat een snelheidstoename leidt tot een afname in de ribbelhoogte.

De drempel zelf is in de meeste gevallen vlak of bevat korte, lage ribbels die in dezelfde richting van het dan optredende getij migreren.

De versnellingsgebieden voor de ebstroom in de vloedscharen zorgen bij ebstroom voor ribbels, die een migratierichting drempelopwaarts hebben. De ribbels zijn echter veel kleiner dan de ribbels in het versnellingsgebied voor de vloedstroom. De ribbels

in het ebversnellingsgebied kunnen tijdens de vloedstroom om- draaien. Het bovenstaande patroon van hoogte- en lengte-verande- ring treedt niet of nauwelijks op. Het verschil in grootte tussen de maximimale eb- en vloedsnelheid komt dus duidelijk naar voren (zie ook figuur 30 en 31).

De ribbels aan de noordzijde van de drempel van Hansweert zijn vloedgeoriënteerde, aan de zuidzijde ebgeoriënteerde ribbels. De drempel zelf is vlak (waarschijnlijk veroorzaakt door bagger- werkzaamheden). De ebribbels zijn veel sterker ontwikkeld dan de vloedribbels. Dit wordt veroorzaakt doordat het dijkbestortings- materiaal (Oude Hoofd van Walsoorden) veel zand in suspensie brengt (zie paragraaf 4.4.).

De ribbels in zowel het vloed- als ebversnellingsgebied bij de Drempel van Valkenisse (km 13, as 15 en 16) vertonen de trend van drempelopwaarts lager en langer worden. De ribbels aan de vloed- zijde zijn echter veel langer dan de ebzijde. Dit hangt samen met het feit dat de maximale vloedsnelheid hoger is dan de maximale ebsnelheid (zie figuur 30 en 31).

Het is opvallend, dat zowel bij de drempel van Valkenisse als de drempel aan het eind van de Schaar van Valkenisse de ribbels bij doodtij veel langer zijn dan bij springtij. Dit is in tegen- spraak met de theoretische relatie tussen stroomsnelheid en ribbellengte. Een verklaring hiervoor is onbekend. Tussen beide meetcampagnes zit een periode van drie maanden. Het is mogelijk dat hierdoor de springtij-ribbels niet direct met de doodtij- ribbels te vergelijken zijn.

B de vorm van snelheids kromme
vergelijk bij dood- en springtij

6. Conclusies

De ribbelkarakteristieken in het oostelijk deel van de Westerschelde kunnen redelijk worden verklaard met behulp van de optredende stroomsnelheden en het verloop van de bodemligging (drempels).

De maximale stroomsnelheden over de geuldoorsnede zijn in de Schaar van Waarde en in de Schaar van Valkenise het hoogst. De ribbels zijn vloedgedomineerd en duidelijk langer en hoger dan in de Zimmermangeul en in het Zuidergat. De ribbels in het Zuidergat (as 13 - 14) zijn zeer regelmatig en draaien om met het getij.

Drempels fungeren drempelopwaarts als versnellingsgebied, drempelafwaarts als vertraginggebied. Dit betekent, dat het versnellingsgebied van de vloedstroom samenvalt met het vertraginggebied van de ebstroom en omgekeerd. Met uitzondering van de Drempel van Hansweert (as 11) is er in het vloedversnellingsgebied dezelfde opeenvolging van ribbels aanwezig: in het diepe deel voor de drempel hoge, relatief korte en steile ribbels, die drempelopwaarts lager en langer worden. Deze opeenvolging weer spiegelt duidelijk de toename van de snelheid drempelopwaarts. In het ebversnellingsgebied komt dit patroon niet of minder duidelijk ontwikkeld voor. Het verschil in de maximale vloed- en ebsnelheid komt dus duidelijk naar voren.

De ribbelsteilheid is bij springtij iets hoger dan bij doottij. Er zijn geen wezenlijke verschillen in ribbelhoogte en ribbellengte tussen doottij en springtij geconstateerd. Dit laatste is in tegenspraak met de theoretische verwachtingen.

Het hangt mogelijk samen met de periode van drie maanden die tussen de doottij- en springtijmetingen zit. De doottij-ribbels zijn hierdoor misschien niet rechtstreeks te vergelijken met de springtij-ribbels.

Winkler / Zoma effect:

b.v. Viscositeitswiskheid $\frac{1}{2}$ Weber? of $\frac{1}{150000}$ van de snelheid

$$\left. \begin{array}{l} m \quad H \propto P \\ a \quad L \propto C \end{array} \right\} \xrightarrow{en} \frac{H}{L} = \text{constante}$$

ziet tegenwoordig

LITERATUURLIJST

- Allen, 1984. Sedimentary structures: their character and physical basis. Unabridged one-volume edition. Elsevier, Amsterdam. 664 pp.
- Anonymus, 1989. Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 4. Morfologische structuur en dynamiek. Rijkswaterstaat.
- Ashley, G.M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 60, No. 1, January, p. 160 - 172.
- Berg, J.H. van den, 1986. Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (the Netherlands). Rijkswaterstaat Comm. 43, p. 55 - 71.
- Bucx, T.H.M. & Tobias, F.C., 1989. Een onderzoek naar de bodem-morfologie van het oostelijk deel van de Westerschelde; 1985 - 1986.
- Jong, H. de, 1989. Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932. (Voorlopige versie). Nota GWAO - 89.1004. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat, 1990. ZLMD-90.N.037. Object Oost/West. Westerschelde Vak 1 + 2. 21-03 t/m 23-03-1990.
- Rijkswaterstaat, 1990. ZLMD-90.N.066. Project Oost/West. Onderzoek ribbelhoogte. Meetdienst Zeeland.
- Rijkswaterstaat, 1991. ZLMD-90.N.112. Meetresultaten OSM- en DNC-metingen t.b.v. Oost/West-project Westerschelde.
- Rijn, L.C. van, 1989. Handbook sediment transport by currents waves. Delft Hydraulics.
- Storm, C, & Ruig, J.H.M. de, 1990. Problematiek van het baggeren en storten in het oostelijk deel van de Westerschelde. Deelrapportage OostWest (samenvatting). Rijkswaterstaat.

TOELICHTING

rechthoekige R.D.-coördinaten in m t.o.v. Parijs
dieptecijfers en -lijnen in m t.o.v. n.a.p.
echolodgingen verricht op 6 maart - 1 november 1989
vorige echolodgingen verricht op 27 juni 1986 - 19 februari 1987
opgenomen met behulp van trident-interplot

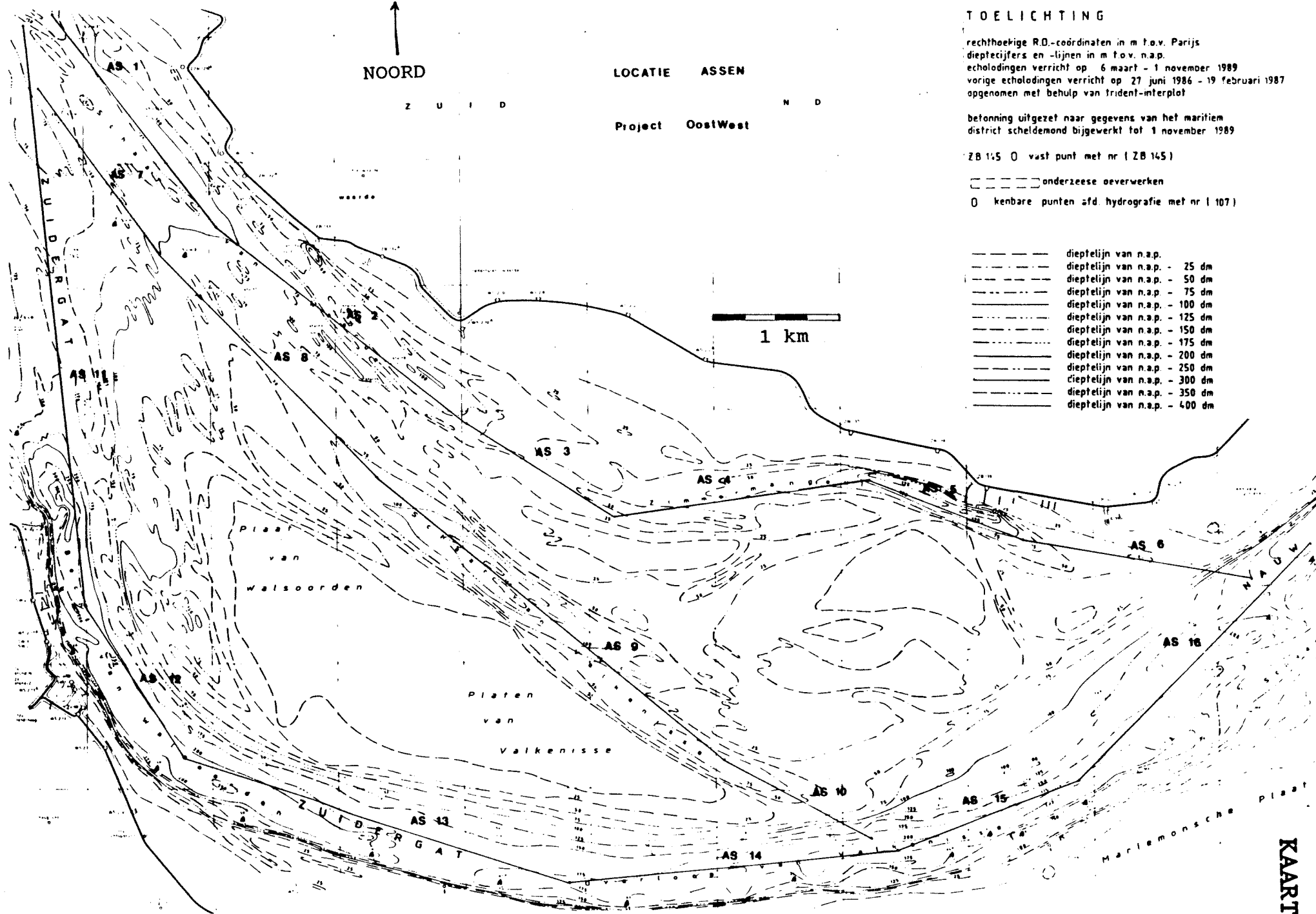
betonning uitgezet naar gegevens van het maritiem
district scheldemond bijgewerkt tot 1 november 1989

ZB 145 0 vast punt met nr (ZB 145)

----- onderzeese oeverwerken

0 kenbare punten afd. hydrografie met nr (107)

-----	dieptelijn van n.a.p.
-----	dieptelijn van n.a.p. - 25 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 50 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 75 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 100 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 125 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 150 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 175 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 200 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 250 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 300 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 350 dm
-----	dieptelijn van n.a.p. - 400 dm



RIBBELHOOGTE

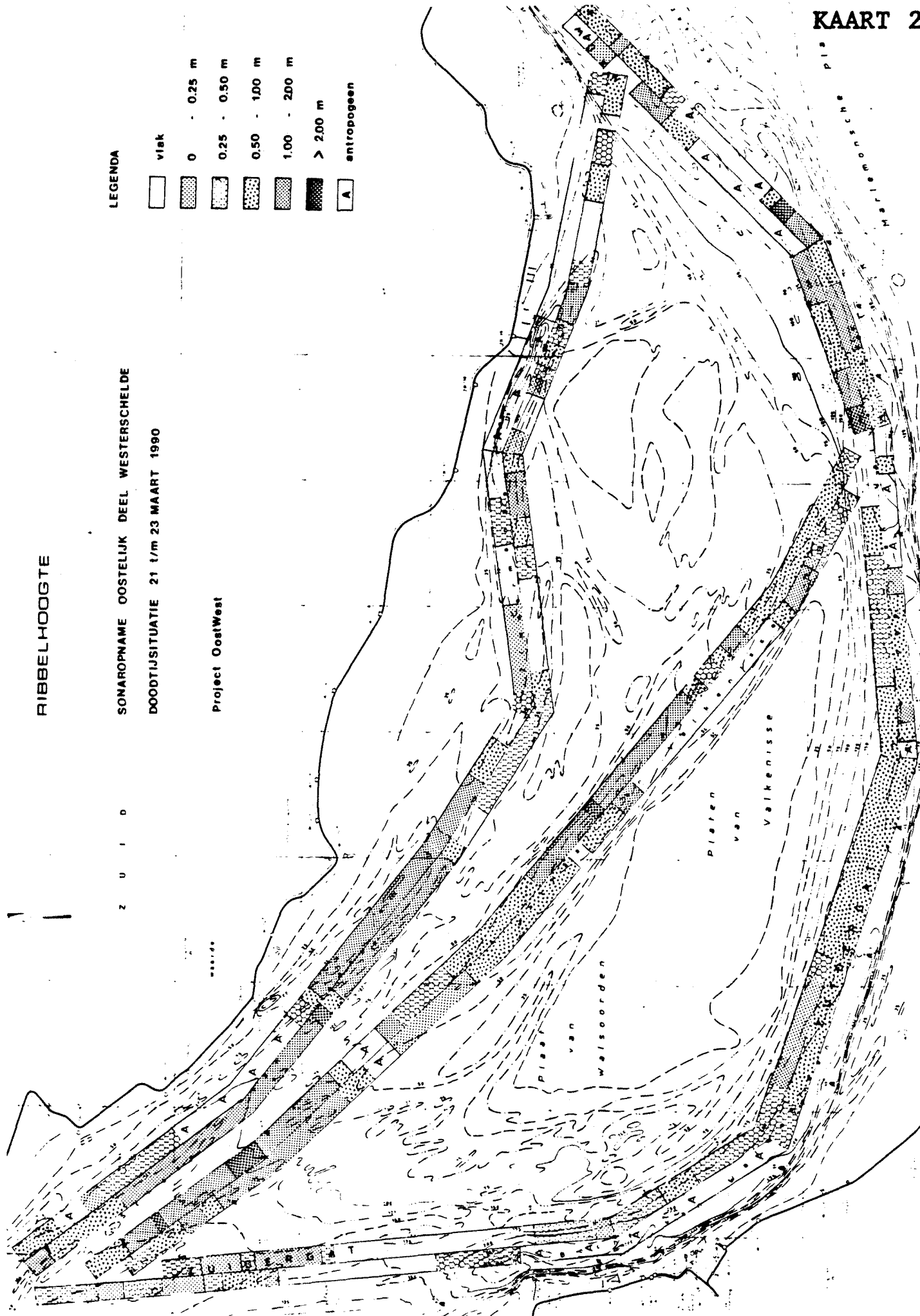
SONAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHELDE

DOODTJISITUATIE 21 1/m 23 MAART 1990

Project OostWest

LEGENDA

	vlak
	0 - 0.25 m
	0.25 - 0.50 m
	0.50 - 1.00 m
	1.00 - 2.00 m
	> 2.00 m
	antropogeen



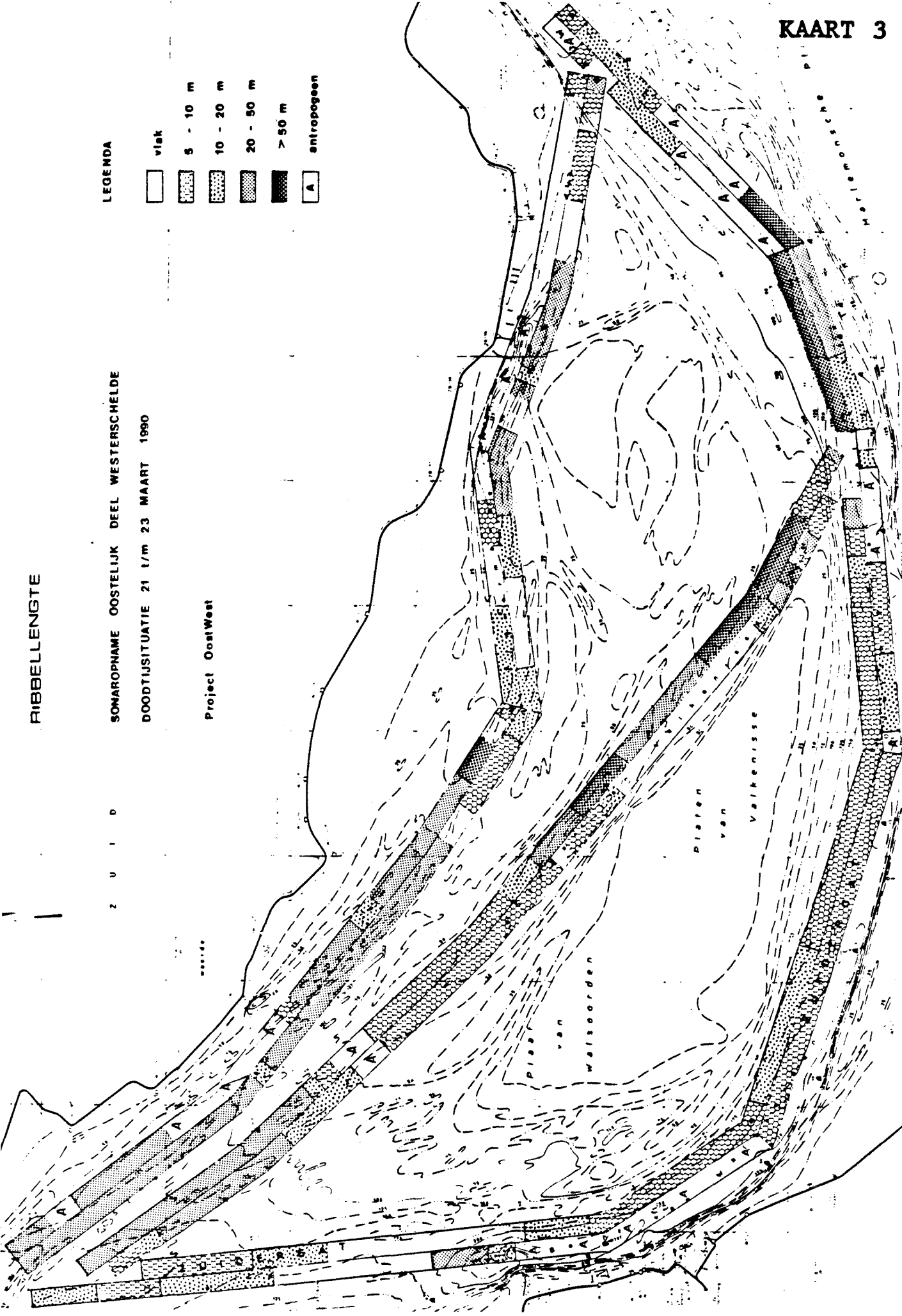
RIBBELLENGTE

SOMAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHELDE
DOODTIJSITUATIE 21 1/m 23 MAART 1990

Project OostWest

LEGENDA

- vlek
- 5 - 10 m
- 10 - 20 m
- 20 - 50 m
- > 50 m
- antropogeen



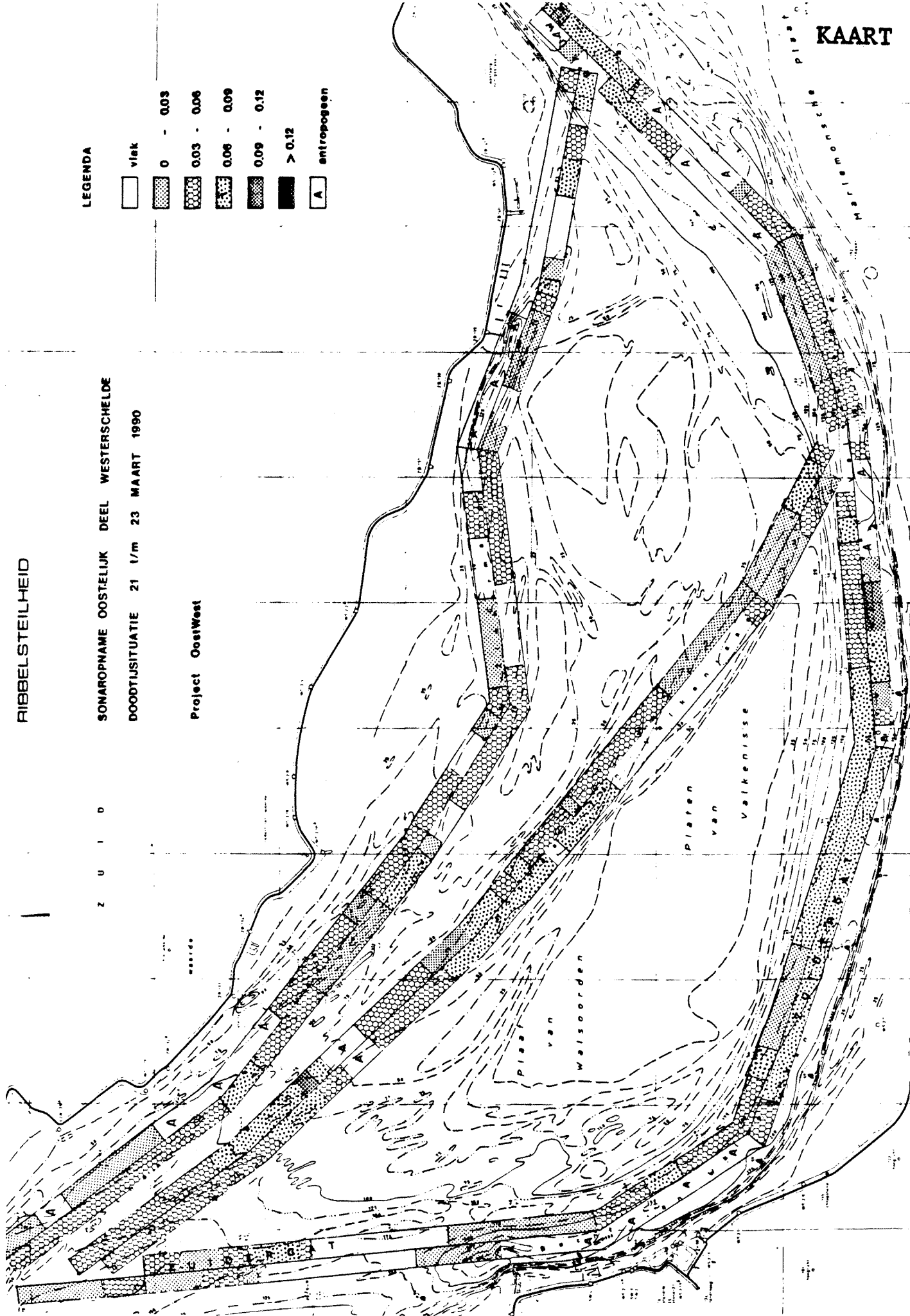
RIBBELSTEILHEID

SONAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHDELDE
DOODTUSITUATIE 21 I/m 23 MAART 1990

Project OostWest

LEGENDA

	vlak
	0 - 0.03
	0.03 - 0.06
	0.06 - 0.09
	0.09 - 0.12
	> 0.12
	antropogeen



RIBBELHOOGTE

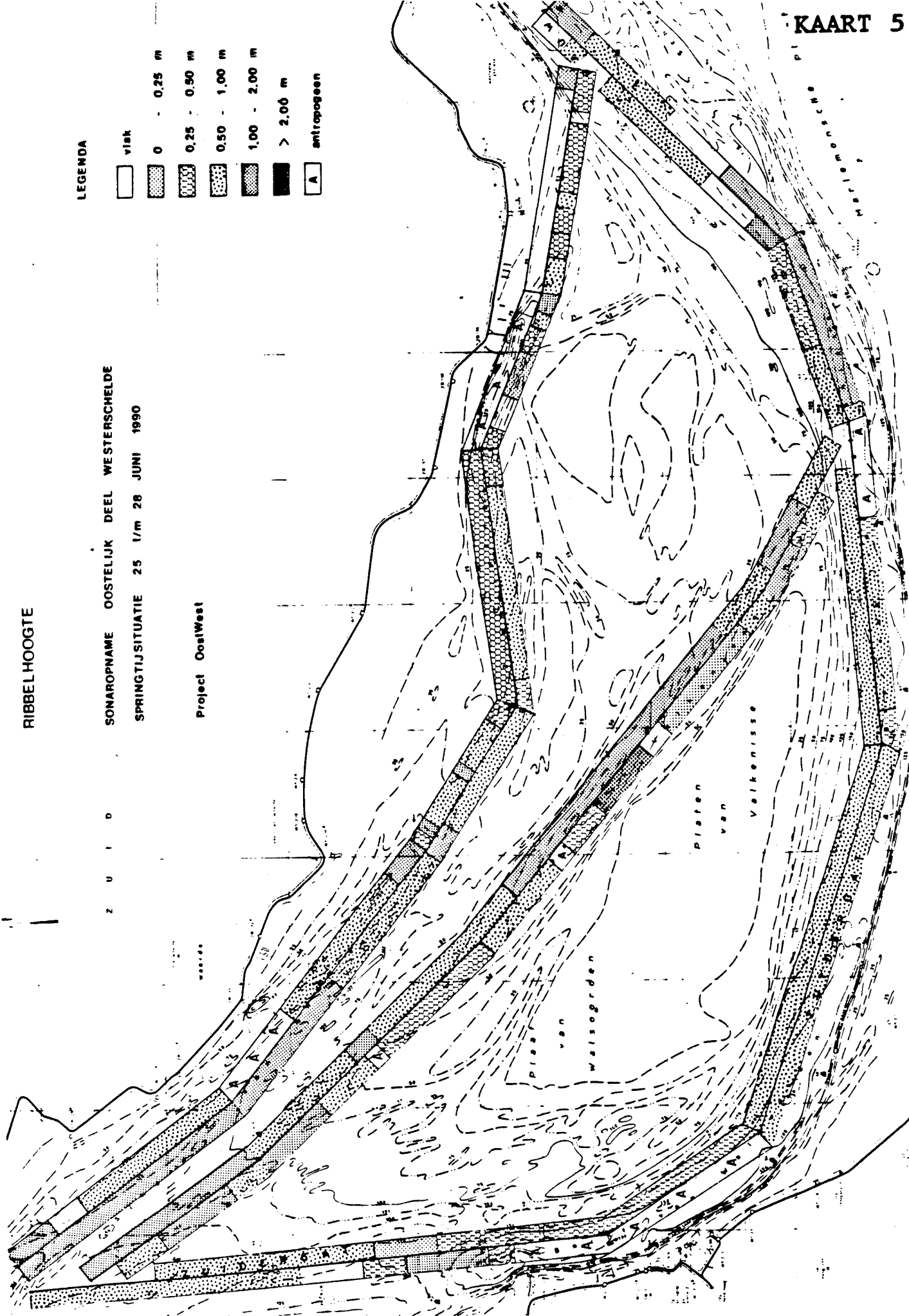
SONAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHELDE
 SPRINGTIJSITUATIE 25 I/m 28 JUNI 1990

Project OostWest

KAART 5

LEGENDA

	vlak
	0 - 0,25 m
	0,25 - 0,50 m
	0,50 - 1,00 m
	1,00 - 2,00 m
	> 2,00 m
	antropogeen



RIBBELLENGTE

Z U I D

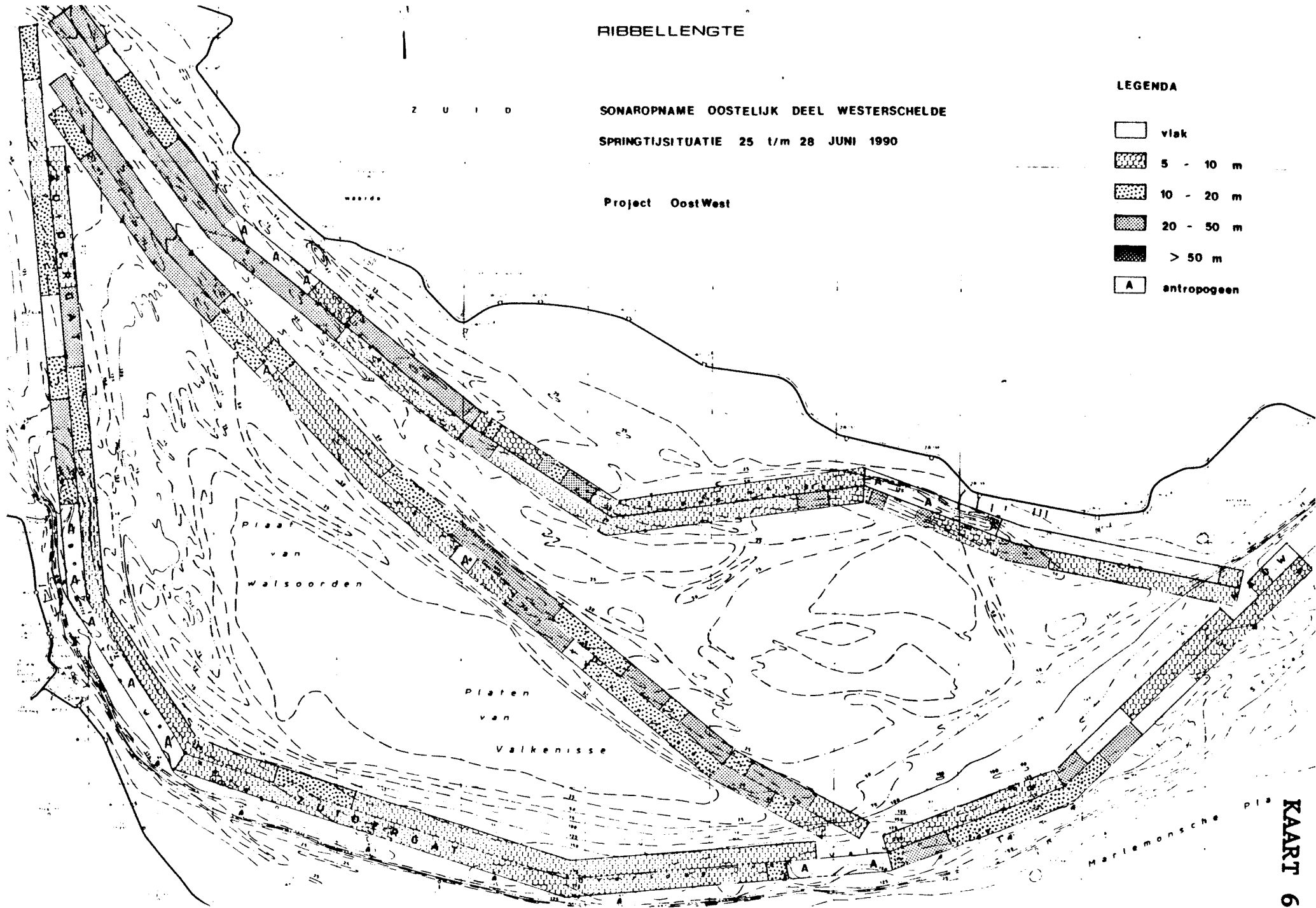
SONAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHELDE

SPRINGTIJSITUATIE 25 t/m 28 JUNI 1990

Project OostWest

LEGENDA

-  vlak
-  5 - 10 m
-  10 - 20 m
-  20 - 50 m
-  > 50 m
-  antropogeen



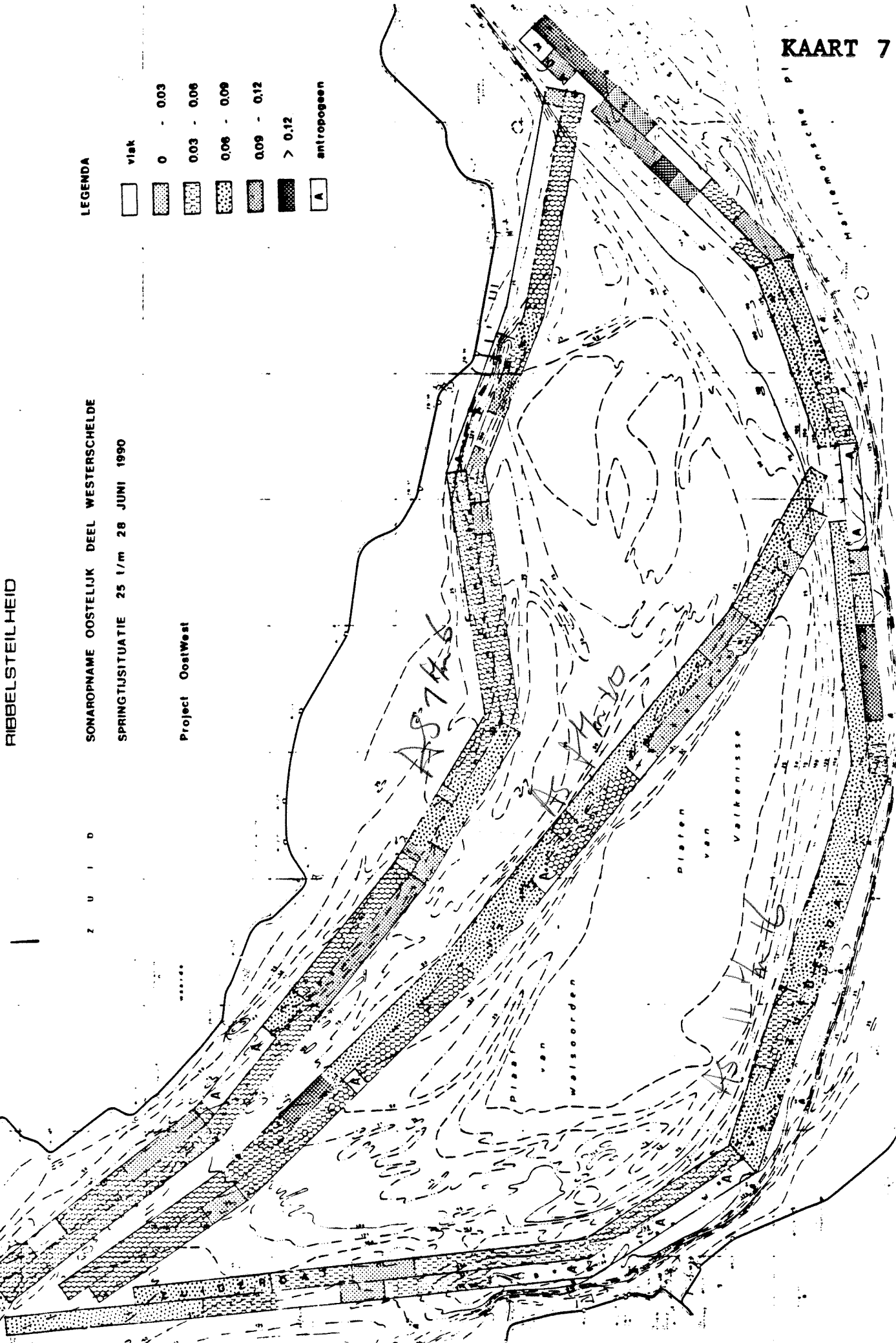
LEGENDA

	vlak
	0 - 0.03
	0.03 - 0.06
	0.06 - 0.09
	0.09 - 0.12
	> 0.12
	antropogeen

SONAROPNAME OOSTELIJK DEEL WESTERSCHELDE

SPRINGTUSITUATIE 25 t/m 28 JUNI 1990

Project OostWest



**Berekende en Gemeten Zandtransporten
over dwarsraaien in de Westerschelde**

Onder begeleiding van Drs. C. Storm

door N.M. Kruyt

Januari 1992

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
1. Inleiding	1
1.2 geselecteerde raaien	1
1.3 zandtransportmodellen	2
2. Werkwijze	6
2.1 schematisatie van het profiel	6
2.2 gemeten zandtransporten	7
aannames	8
2.3 stroomsnelheden	9
snelheidsvector	9
debietmetingen	9
2.4 getijcoëfficiënten	10
2.5 berekende zandtransport	11
aannames	11
2.6 korrelgrootte	12
3. Meetresultaten	13
4. Discussie	21
5. Conclusie	27
6. Aanbeveling	28
7. Literatuur	29

Lijst van figuren

Figuur 1	Ligging van de debietraaien in de Westerschelde	3
Figuur 2a	Aanname bij stroomsnelheidsverticaal	7
Figuur 2b	Aanname bij concentratieverticaal	8
Figuur 2c	Aanname bij de zandtransportverticaal	8
Figuur 3	Ontbinding van de stroomsnelheidsvector V in $V_{\sin}$ en $V_{\cos}$	9
Figuur 4	Zandtransport volgens Engelund-Hansen, van Rijn en gemeten zandtransport (AZTM)	14
Figuur 5	Zandtransport volgens Engelund-Hansen, van Rijn en gemeten zandtransport (AZTM) in één figuur	15 13
Figuur 6	Onderlinge vergelijking van het zandtransport volgens Engelund-Hansen bij verschillende getijcoëfficiënten	17
Figuur 7	Zandtransport per vloed-en ebgeul	19
Figuur 8	Relatief zandtransport ten opzichte van het diepste punt in het profiel volgens Engelund-Hansen en van Rijn	20

Lijst van tabellen

Tabel 1	Debietraaien met getijde omstandigheden	2
Tabel 2	Schematisatiefouten	6
Tabel 3	Meetresultaten	13
Tabel 4	Evenwichtsstroomsnelheden	21
Tabel 5	Correlatiecoëfficiënten	23

Lijst van bijlagen

Bijlage I	Formules Engelund-Hansen en van Rijn
Bijlage II	Schematisaties van de profielen
Bijlage III	Stroomsnelheid Diepteschema
Bijlage IV	Effectieve ruwheid K_s
Bijlage V	Evenwichtsstroomsnelheden volgens Gerritsen en de Jong (1983)

VOORWOORD.

In het kader van het doctoraal examen Fysische Geografie aan de Rijksuniversiteit Utrecht is een stage gedaan bij de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat. De stage omvat een studie naar het zandtransport in de Westerschelde. Er wordt een inventarisatie gemaakt hoe het verloop van het totale zandtransport in verschillende dwarsraaien in de Westerschelde (zowel bodemtransport als suspensief transport) bij eb en vloed is.

1. INLEIDING.

Om een beeld van de ruimtelijke verdeling van het zandtransport in de Westerschelde te krijgen, wordt op verschillende lokaties in de Westerschelde bekeken hoe groot dat zandtransport is.

Om een beeld te krijgen van de nauwkeurigheid van de zandtransporten worden de gemeten zandtransporten vergeleken met de berekende zandtransporten.

Aan de hand van de ruimtelijke verdeling van de zandtransporten wordt uiteindelijk gekeken of er een relatie is tussen de geulgeometrie en het zandtransport voor de Westerschelde.

Er wordt enkel naar zandtransporten gekeken; het slibtransport wordt buiten beschouwing gelaten.

1.2. Geselecteerde raaien.

Het berekende zandtransport is aan de hand van debietmetingen in de Westerschelde over 8 raaien bepaald (Figuur 1).

De inventarisatie is gebaseerd op de meest recente meetgegevens. Er kan niet worden voorkomen dat verschillende datasets gebruikt zijn waar enige jaren tussen zitten.

De gemeten zandtransporten zijn ook aan de hand van de debietraaien bepaald. Met uitzondering voor raai 9 en raai 11. Voor deze debietraaien zijn geen zandtransportmetingen uitgevoerd.

De geselecteerde dwarsraaien staan vermeld in tabel 1.

Aan de codering van raai 3 en 5a is een 'd' of een 's' toegevoegd om aan te geven of de meting tijdens respectievelijk dood- danwel

springtij is uitgevoerd.

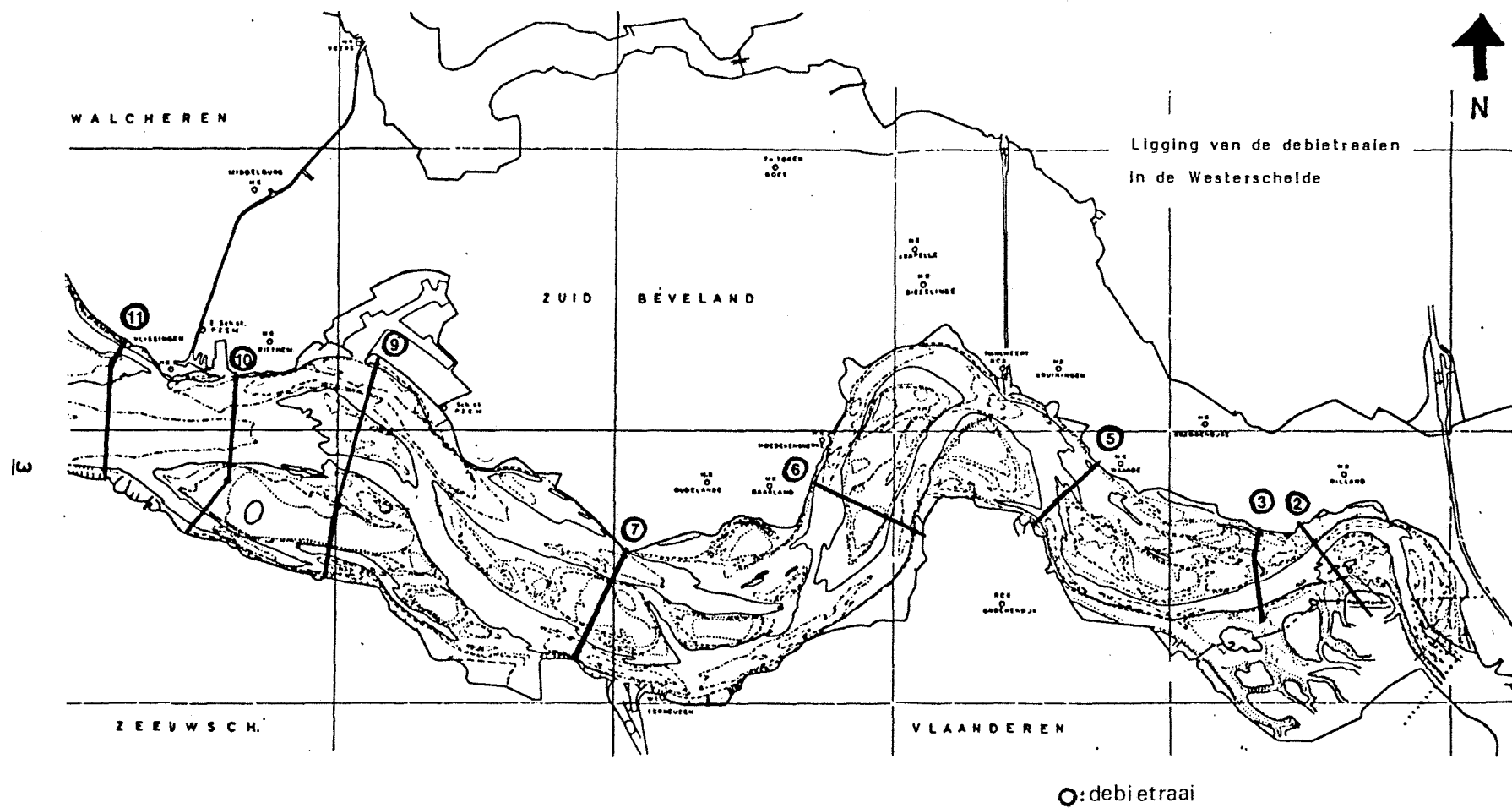
raai	datum	getijverschil in m	gem. getij- coëfficiënt	soort meting	notanummer
2	4-4-1989	eb 4.98 vloed 5.36 eb 5.32	1.04842 1.12842 1.12000	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-89.N.063
3d	30-8-1990	vloed 2.99 eb 3.02 vloed 2.80	0.66890 0.67562 0.62640	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-90.N.111
3s	5-9-1990	eb 4.80 vloed 4.67 eb 5.08	1.07383 1.04474 1.13647	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-90.N.116
5ad	31-8-1990	vloed 2.66 eb 2.79 vloed 3.22	0.59508 0.62416 0.72036	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD.90.N.121
5as	6-9-1990	eb 4.99 vloed 5.24 eb 5.11	1.11633 1.17226 1.14318	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD.90.N.122
6	3-10-1989	eb 4.80 vloed 4.54 eb 4.82	1.07383 1.01566 1.07830	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-90.N.118
7	6-4-1989	eb 5.41 vloed 5.67 eb 5.10	1.30048 1.36298 1.22596	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-89.N.069
9	10-6-1986	eb 4.38 vloed 4.66 eb 4.47	1.14660 1.21990 1.17016	stroomsnelheid	V8609A33
10	10-4-1989	eb 4.75 vloed 4.37 eb 4.17	1.24346 1.14398 1.09162	stroomsnelheid & zandtransport	ZLMD-89.N.079
11	21-5-1985	eb 4.41 vloed 4.29 eb 4.36	1.15445 1.12304 1.14136	stroomsnelheid	WWKZ-85V023

Tabel 1 **Debietraaien met getijde omstandigheden tijdens de meting en soort meting die verricht is.**

1.3. Zandtransportmodellen.

Aan de hand van gemeten stroomsnelheden kunnen zandtransporten berekend worden met behulp van zandtransportmodellen. Het totale zandtransport geldt over de gehele breedte van de raai gedurende een gehele getijfase (eb of vloed).

Dit totaal zandtransport is dus van de gedaante:



Figuur 1

$$Q_{\text{getijfase}} = b \int_0^T s(t) d(t) dt.$$

Waarbij b = geulbreedte

T = eb- of vloedduur

$s(t)$ = zandtransport afhankelijk van de tijd

Er bestaat geen eenduidigheid welk model het meest geschikt is. Immers alle modellen zijn gericht op unidirectionele stromingen; de westerschelde is een estuarium met bidirectionele stromingen (eb en vloed).

De uitkomsten van een zandtransportmodel kan niet als een absoluut getal worden gezien. Voor het berekende zandtransport worden twee modellen gebruikt. Door met twee zandtransportmodellen te werken wordt aangegeven wat de marges zijn waarbinnen waarden van zandtransport nog aannemelijk zijn. Het is niet de bedoeling een uitspraak te doen welk model het meest van toepassing is op het zandtransport in de Westerschelde.

Er is gekozen voor de transportformule van Engelund-Hansen (1967) voor totaaltransport (suspensief transport en bodemtransport):

$$q_{t,c} = 0.05 \rho_s U^5 / (s-1)^2 g^{0.5} d_{50} C^3$$

en van van Rijn (1984) voor totaaltransport (suspensief transport en bodemtransport):

$$q_t = s_b + s_s$$

$$s_b = 0.053 \rho_s (1.65 g)^{0.5} (d_{50})^{1.5} (D_*)^{-0.3} (t)^{2.1}$$

$$s_s = F \rho_s U h c_a$$

Zie voor de verdere toelichting van de gebruikte symbolen bij Engelund-Hansen en van Rijn bijlage I.

De keuze van de twee modellen is gedaan op grond van voorgaande ervaringen en studies naar zandtransporten in de Westerschelde (van Rijn, 1985a,b). Volgens onderzoek uitgevoerd in de Oosterschelde vertonen de zandtransportformules van Engelund-Hansen en van Rijn goede overeenkomsten (van Rijn, 1985a). Deze overeenkomst geldt zowel voor onderling vergelijk van de formules als voor een vergelijking met gemeten zandtransporten.

Dit geldt voor verticaal gemiddelde stroomsnelheden tussen 0.5 en 2.0 m/s en d_{50} -waarden tussen 0.200 en 0.250 mm. Soortgelijke omstandigheden gelden ook in de Westerschelde. Echter bij hogere verticaal gemiddelde stroomsnelheden ($u > 2.0$ m/s) geven beide modellen een overschatting van het zandtransport.

Waar is dit te zien

2. WERKWIJZE.

2.1. Schematisatie van het profiel.

Ieder meetpunt is representatief gesteld voor een deel van het totale doorstroomprofiel. Hiertoe is het doorstroomprofiel eerst geschematiseerd tot een rechthoekig profiel welk representatief geacht wordt (zie bijlage II). De geschematiseerde vakken sluiten op elkaar aan zodat het gehele doorstroomprofiel wordt bestreken. In enkele gevallen liggen de meetpunten ver van elkaar vandaan, bijvoorbeeld daar waar het bodemprofiel steil is. Het kan dan voorkomen dat de vakken niet op elkaar aansluiten. Hiermee wordt voorkomen dat er extreem grootte vakken gecreëerd worden die niet meer representatief zijn voor de bijhorende stroomverticalen. Er blijft echter gelden dat het geschematiseerde oppervlak niet teveel mag afwijken van het werkelijke oppervlak van het profiel ten opzichte van NAP. In onderstaande tabel zijn de afwijkingen van de schematisaties weergegeven in procenten ten opzichte van het werkelijke doorstroomoppervlakte.

raai	werkelijk A_c (in m^2)	geschematiseerde A_c (in m^2)	schematisatie fout in %
2	17488	17065	2.4
3d	18636	18534	0.5
3s	18636	18534	0.5
5ad	29386	30628	-4.2
5as	29386	31306	-6.5
6	36973	38482	-4.1
7	46283	46759	-1.0
9	78500	76545	2.5
10	77575	75025	3.3
11	82000	78605	- 4.1

met A_c = Oppervlakte doorstroomprofiel

Tabel 2 Vergelijk van geschematiseerde oppervlak met het werkelijke oppervlak van het doorstroomprofiel ten opzichte van NAP.

In beginsel wordt het natte oppervlak aan weerszijden van de meetpunt even groot gemaakt. Komt het voor dat meetpunten te dicht bij elkaar of te ver van elkaar vandaan liggen, dan zijn de oppervlakken aan weerszijde van de stroomverticaal niet van

gelijke grootte.

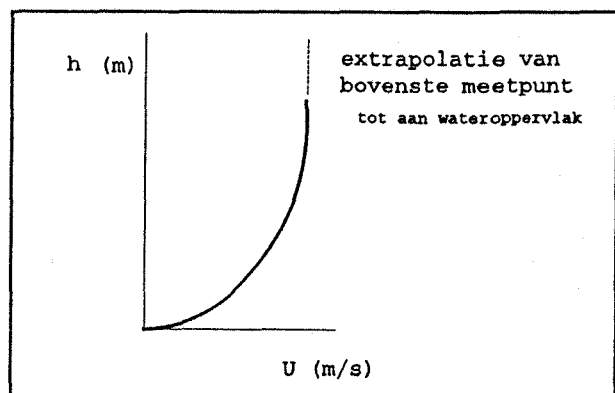
Een ander probleem dat zich voordoet is dat een stroomverticaal niet altijd tot het diepste punt van de bodem van het profiel reikt. In dat geval wordt het betreffende deel (dat onder het onderste meetpunt ligt) niet bij het oppervlak meegenomen. De ondergrens van het geschematiseerde oppervlak is altijd het laagste punt van de stroomverticaal.

Daarnaast is er gelet op extreme punten (bijvoorbeeld drempels tussen twee meetpunten, knikpunten in het profiel) tot waar een schematisering van het profiel nog realistisch is. In dat geval kan vaak niet meer aan de eis van gelijke oppervlakken aan weerszijde van de stroomverticaal worden voldaan.

2.2 Gemeten zandtransporten.

Voor de bepaling van het zandtransport is gebruik gemaakt van zandconcentratiemetingen met behulp van een akoestisch zandtransportmeter (AZTM). Deze zandconcentratiemetingen zijn al verwerkt tot zandtransporten in $\text{g/m}^3\cdot\text{s}$.

De verticaal gemiddelde zandtransporten worden over het gehele oppervlak van het doorstroomprofiel en het getij geïntegreerd. Het aantal locaties in een raai waar zandtransport wordt gemeten ligt meestal rond de 4 à 5. De schematisatie is hierop aangepast. Het gevolg is dat zeer grote geschematiseerde vlakken ontstaan welke wellicht niet goed representatief voor het meetpunt zijn.



figuur 2a Aanname bij snelheidsverticaal

h is waterdiepte, U = stroomsnelheid

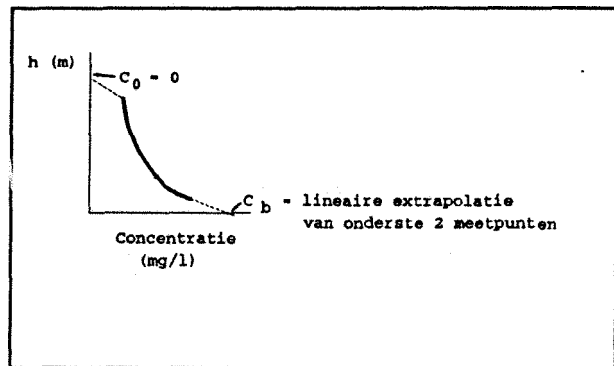
Aannames

Bij de omrekening van zandconcentratieverticalen naar zandtransportverticalen zijn een aantal aannames gedaan.

De snelheid aan het oppervlak wordt gelijk verondersteld aan de snelheid van het bovenste meetpunt. De snelheid aan de bodem is 0 (figuur 2a). *Wat is de bodem?*

Ben

De concentratie aan het oppervlak wordt 0 verondersteld. De zandconcentratie aan de bodem is een lineaire extrapolatie van de onderste twee meetpunten in de verticaal (figuur 2b).

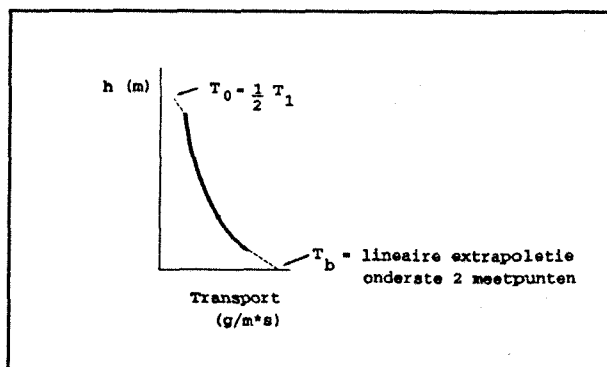


figuur 2b Aannames bij concentratieverticaal met C_0 als concentratie bij het oppervlak en C_b als concentratie bij de bodem.

Het zandtransport aan het oppervlak is ter grootte van de helft van het zandtransport in het bovenste meetpunt in de verticaal.

De gemeten zandtransporten beslaan alleen het suspensief transport. De laagste waarneming is op 1m boven de bodem gedaan;

er wordt dus een deel van het suspensief zandtransport niet gemeten en het bodemtransport wordt verwaarloosd. Om toch het suspensief zandtransport in de onderste meter en het bodemtransport erbij te betrekken is vanuit dit laagste punt de zandtransportkromme lineair tot de bodem geëxtrapolerd (figuur 2c). Dit brengt het risico met zich mee dat het zandtransport bij de bodem slecht geschat wordt.



figuur 2c Aannames bij zandtransportverticaal met T_0 als transport bij het wateroppervlak, T_1 in het bovenste meetpunt en T_b bij de bodem.

Uit de transportverticaal wordt een over de verticaal gemiddeld transport bepaald.

2.3. Stroomsnelheden.

snelheidsvector

De stroomsnelheden worden op verschillende dieptes gemeten volgens een vast patroon, zie bijlage III. Uit een dergelijke verticaal met stroomsnelheden wordt een diepte-gemiddelde

stroomsnelheid over de desbetreffende verticaal bepaald.

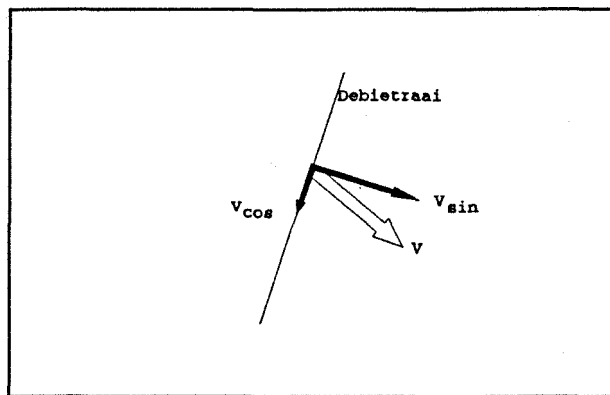
De stroomverticaal heeft een richting en kan derhalve als een vector worden beschouwd.

De snelheidsvector kan ontbonden worden in een $V_{\sin}$, welke loodrecht op de debietraai

staat en $V_{\cos}$, welke evenwijdig is aan de ligging van de debietraai (figuur 3). Voor

het zandtransport door de Wes-

terschelde wordt alleen gekeken naar het netto resultaat van het zandtransport door de geulen. Hiervoor wordt de component van de snelheid, $V_{\sin}$ gebruikt. Het zandtransport dwars op de geulas wordt buiten beschouwing gelaten. Zodoende wordt getracht om de omstandigheden voor het zandtransport zo uniform mogelijk te houden. Op deze wijze wordt getracht de fout bij het vergelijken van zandtransporten te minimaliseren.



figuur 3 Ontbinding van de snelheidsvector V in $V_{\sin}$ en $V_{\cos}$.

Debietmetingen

Zandtransporten kunnen berekend worden aan de hand van modellen zoals hiervoor is aangegeven. Voor deze modellen worden debietmetingen gebruikt.

Debietmetingen zijn stroommetingen over de waterdiepte, welke gelijktijdig in een aantal meetpunten, verdeeld over het

dwarsprofiel, in een raai worden uitgevoerd.

Een debietmeting is een 13 uren meting waarbij gedurende een geheel getij (een volledige eb- en vloedcyclus) de stroomsnelheid wordt gemeten. Uit praktisch oogpunt is het niet altijd mogelijk om tijdens kentering te beginnen met meten. Er wordt op een willekeurig moment begonnen met meten totdat een volledige getijperiode gemeten is.

2.4. Getijcoëfficiënt.

De dagelijkse ongelijkheid van het verticale getij vindt zijn weerslag in de stroomsnelheden. Bij een kleiner getij amplitude zijn de maximale stroomsnelheden kleiner dan bij een groter getij amplitude. Deze ongelijkheid kan gecorrigeerd worden met behulp van het getijcoëfficiënt.

Om de metingen vergelijkbaar te maken wordt het getijamplitude van iedere getijfase (in dit opzicht bevat een getijfase een gehele eb- of vloedperiode) omgerekend naar een gemiddeld getijamplitude. De verhouding van het momentane getijamplitude (tijdens de meting) ten opzichte van de gemiddelde getijamplitude is het getijcoëfficiënt. Het gemiddelde getij is het gemiddelde van alle getijgegevens over de periode van 1971-1980 van een bepaald getijstation (Bath, Hansweert of Terneuzen) afhankelijk van de ligging van de debietraai.

De correctie wordt aan de hand van het getijcoëfficiënt gedaan. De stroomsnelheden van de betreffende getijfase worden vermenigvuldigd met het getijcoëfficiënt. Op deze wijze zijn de stroomsnelheden onderling vergelijkbaar. Metingen van verschillende dagen kunnen zodoende met elkaar vergeleken worden. Derhalve zal alleen naar gemiddelde getijomstandigheden gekeken worden.

De momentane getijcoëfficiënt is de omrekeningsfactor van de tweede getijamplitude van een etmaal naar de eerste getijamplitude van dat etmaal. De stroomsnelheden van de tweede getijfase wordt dan vermenigvuldigd met de momentane getijcoëfficiënt. Op deze wijze zijn de stroomsnelheden van een etmaal

onderling vergelijkbaar.

Bij het gemeten zandtransport is de stroomsnelheid, bij toelevering van de data, zodanig verwerkt dat deze niet meer voor het getij gecorrigeerd kan worden. De zandtransporten gelden momentane getijomstandigheden.

2.5. Berekende zandtransporten.

Zoals bij debietmetingen is vermeld, zijn de berekende zandtransporten gebaseerd op diepte-gemiddelde stroomsnelheden.

Als gevolg van het getij, verandert de snelheid continu. Om deze niet-continue stroming zo goed mogelijk te modelleren, zijn er zoveel mogelijk waarnemingen gedaan met slechts een korte tijdsduur tussen de waarnemingen in. De diepte-gemiddelde snelheid wordt over zo'n periode constant verondersteld. Deze periode is vanaf het tijdstip waarop de eerste meting van een verticaal begint tot aan het tijdstip waarop de volgende meetreeks begint. Op deze wijze wordt getracht het stromingspatroon in model te brengen.

Aannames

De effectieve bodemruwheid varieert in een getijdegebied als gevolg van de veranderende beddingvormen bij de sterk wisselende stroomsnelheden. Dit heeft gevolgen voor de k_s welke voor zandtransport berekeningen nodig is.

De relaties die voor k_s bestaan komen voort uit situaties waarbij beddingvormen in evenwicht zijn met hydraulische omstandigheden. Als gevolg van veranderlijke stroomsnelheden in een getijdemilieu spelen traagheidseffecten een rol. De beddingvormen ijlen na ten opzichte van die veranderende stroomsnelheden. Dit levert situaties op waarbij de beddingvormen niet in evenwicht zijn met de hydraulische omstandigheden.

Om een effectieve ruwheid (k_s) in een dergelijk milieu te hanteren heeft van den Berg (1987) een compromis gesloten tussen veldmetingen en stroomgootmetingen (bijlage IV).

Voor k_s geldt:

$$\begin{aligned} k_s &= 0.1 \text{ m.} && \text{voor } U < 0.5 \text{ m/s} \\ k_s &= 10e^{-4.6U} \text{ m.} && \text{voor } 0.5 \text{ m/s} < U < 2.0 \text{ m/s} \\ k_s &= 1.0 \text{ m.} && \text{voor } U > 2.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Voor $U < 0.5$ is er geen eenduidige relatie tussen U en k_s . Bij $U < 0.5$ wordt er weinig verandering van de beddingvormen verondersteld, zodat de ruwheid hier constant wordt verondersteld. Uit extrapolatie van de dikke lijn in bijlage IV volgt dat $k_s = 1.0$. Voor $U > 2.0$ is er vlak bed. Ook dan blijft k_s constant, $k_s = 0.001$.

2.6. Korrelgrootte.

De korrelgrootte (D_{50}) is een parameter die in beide zandtransportmodellen voorkomen. Op het moment dat de debietraaien werden doorgemeten, zijn er geen korrelgroottes bepaald. Derhalve zijn de gegevens omtrent de korrelgroottes onttrokken aan bodembemonsteringskaarten uit 1973-1979 voor het westelijk deel (De Looff, 1980) en 1975 voor het oostelijk deel (De Looff, 1978). Alleen bij de raaien 3 en 5a zijn tijdens de metingen ook bodemonsters genomen. Daarbij zijn ook de D_{90} en D_{10} geanalyseerd welke voor het model van Van Rijn zijn gebruikt. Bij de overige raaien is voor het model van Van Rijn dezelfde korrelgrootte verdeling gebruikt zoals die bij raai 3 en raai 5a is aangetroffen.

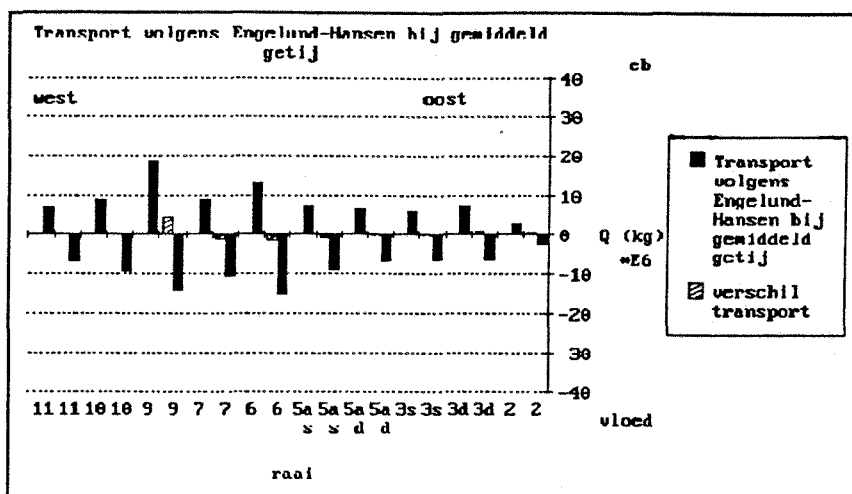
Daar zowel het model van Van Rijn als het model van Engelund-Hansen weinig gevoelig zijn voor korrelgrootte lijkt gebruik van de verouderde korrelgrootte geoorloofd (van Rijn, 1989).

3. MEETRESULTATEN

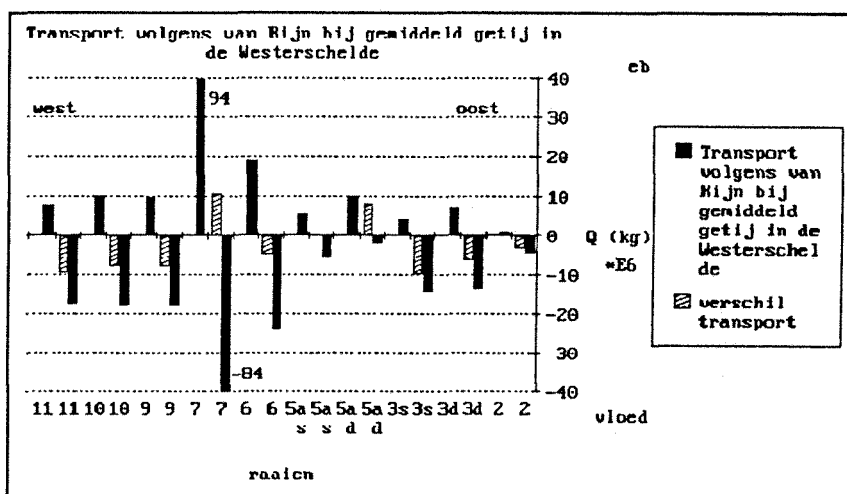
Aan de hand van de modellen van Engelund-Hansen en van Rijn voor zandtransport en de gemeten zandtransporten is er per raai het zandtransport voor eb en vloed bepaald. In tabel 3 zijn de betreffende hoeveelheden vermeld. Om een duidelijker beeld te krijgen hoe het zandtransport van de ene raai tenopzichte van andere raaien verschilt zijn de waarden uit tabel 3 in figuur 4 en 5 uitgezet.

Zandtransport per raai				
raai	Engelund-Hansen momentaan getij	Engelund Hansen gemiddeld getij	Van Rijn gemiddeld getij	gemeten transport (AZTM) momentaan getij
VLOED				
2	-2.5	-2.4	-4.3	-8.8
3 dood	-1.3	-6.4	-13	-1.1
3 spring	-6.8	-6.5	-14	-10
5a dood	-1.7	-6.9	-1.9	-0.6
5a spring	-15	-8.9	-5.7	-20
6	-15	-15	-24	-14
7	-29	-11	-84	-78
9	-31	-14	-18	
10	-17	-9.4	-18	-34
11	-10	-7.0	-17	
EB				
2	4.2	3.0	1.3	5.0
3 dood	2.1	7.7	7.3	1.3
3 spring	7.7	6.0	4.5	11
5a dood	1.5	6.7	10	1.1
5a spring	12	7.9	5.6	20
6	17	14	19	19
7	23	9.2	94	66
9	31	19	9.9	
10	17	9.3	10	30
11	15	7.4	8.0	

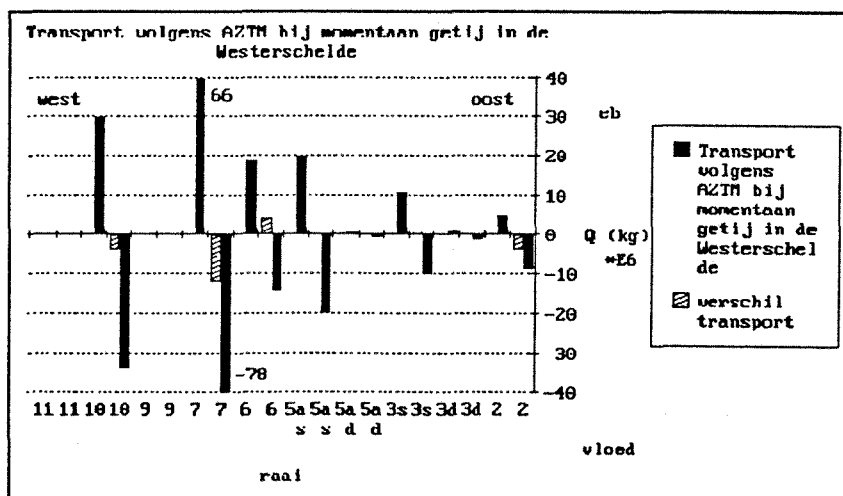
Tabel 3 Zandtransporten (eb en vloed) voor momentaan getijde omstandigheden (Engelund-Hansen en AZTM) en voor gemiddelde getijomstandigheden (van Rijn en Engelund-Hansen) [in miljoenen kg].



(a)



(b)



(c)

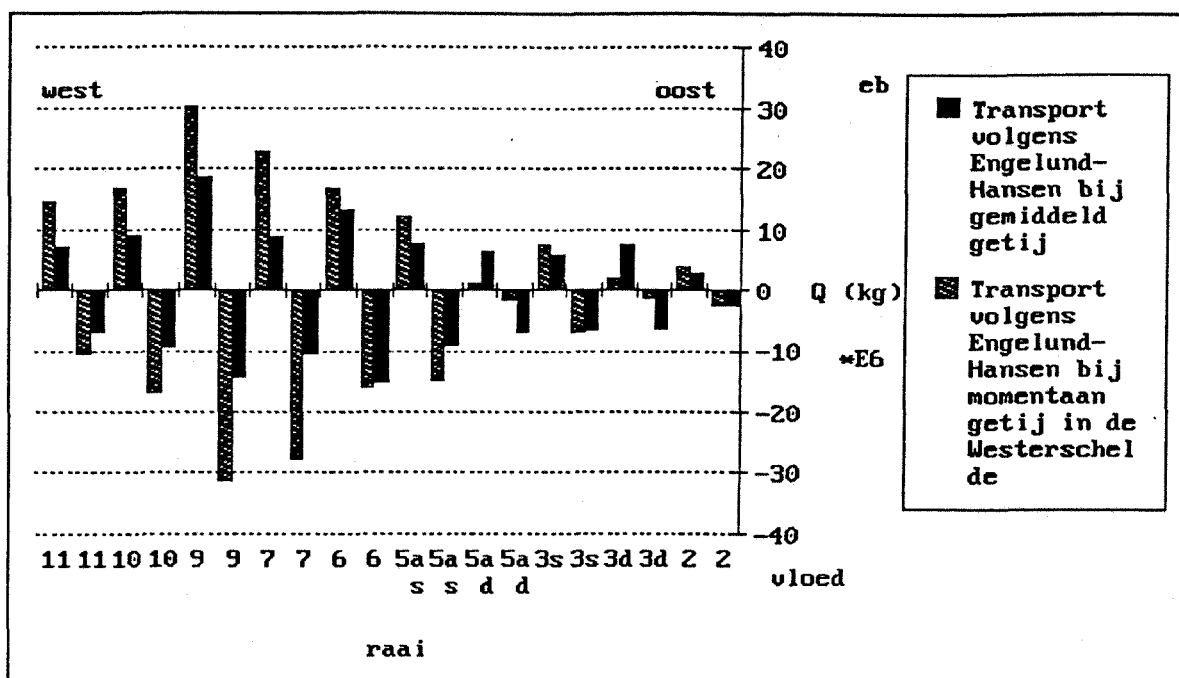
figuur 4 zandtransport bij gemiddeld getij volgens
a) Engelund-Hansen, b) van Rijn, c) gemeten zandtransport (AZTM).

Als de ruimtelijke verdeling van het zandtransporten over de westerschelde wordt bekeken, blijkt dat er van oost naar west aanvankelijk een toename is in het zandtransport (figuur 4 en 5). Echter na raai 7 is het berekende zandtransport voor de raaien 9,10 en 11 in dezelfde orde van grootte. Het zandtransport in raai 9, 10 en 11 is beduidend lager dan dat bij raai 7 wordt waargenomen. Tevens vindt voor het zandtransport van raai 7 ten opzichte van raai 6 een grotere toename plaats dan bij andere raaien het geval is.

Volgens het model van Van Rijn vindt bij raai 7 een uitzonderlijk hoog zandtransport plaats (ongeveer een factor 2) in vergelijking met andere raaien, zowel voor eb als voor vloed. Dit is ook waargenomen bij de gemeten zandtransporten. Hierbij is het verschil nog veel groter, ongeveer een factor 3. Zandtransporten welke met behulp van het model van Engelund-Hansen zijn bepaald geven niet zo'n opvallend groot zandtransport bij raai 7.

Bij de gemeten zandtransporten zijn de zandtransporten alleen voor momentane getijomstandigheden.

Uit figuur 6 blijkt dat bij het momentaan getij de zandtransporten hoger zijn dan bij gemiddeld getij. De zandtransporten bij momentaan getij zijn rond springtij gemeten. Bij de twee doodtijmetingen (raai 3d en 5ad) zijn de zandtransporten voor momentaan getij lager dan bij gemiddeld getij. Uit figuur 6 blijkt dat na correctie voor het momentaan getij het zandtransport bij springtijmetingen en doodtijmetingen (3d, 3s, 5ad, 5as) in dezelfde orde van grootte liggen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de omrekening aan de hand van het getijcoëfficiënt redelijk werkt en bij de overige raaien toegepast mag worden.



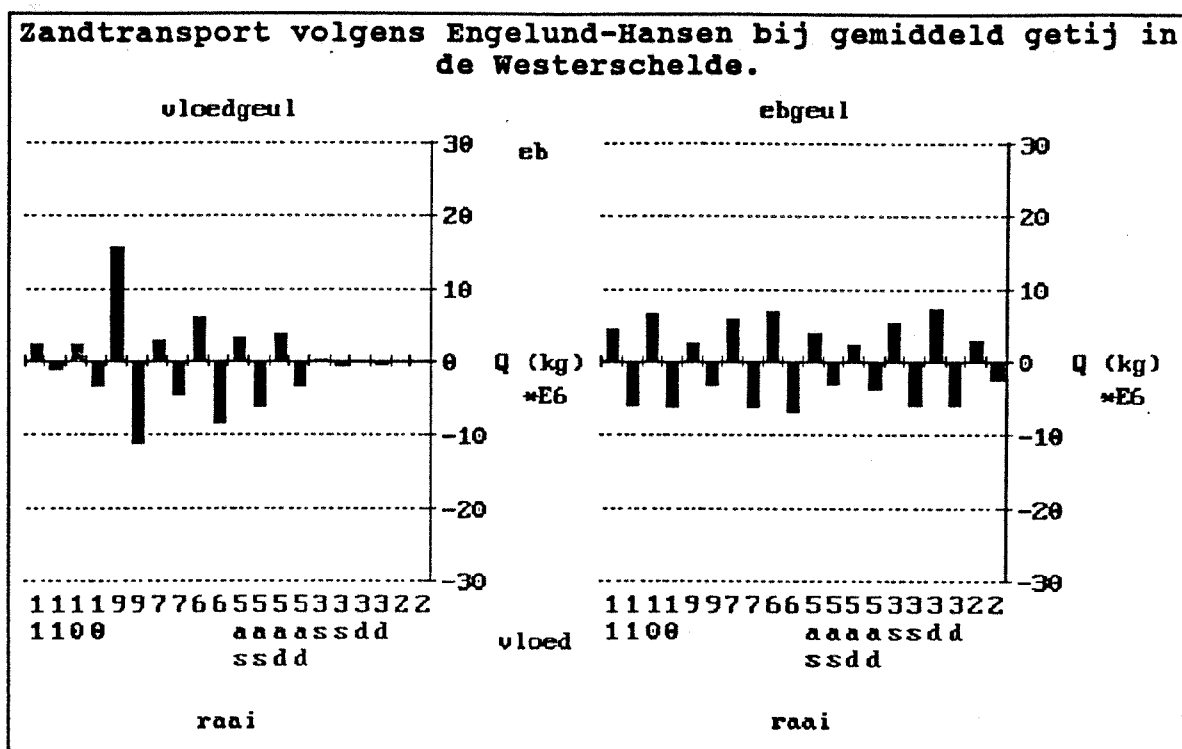
figuur 6 Zandtransport volgens Engeland-Hansen bij zowel gemiddeld getij als momentaan getij.

Er is ook gekeken naar het zandtransport dat door een ebgeul of een vloedgeul gaat (figuur 7). Een ebgeul is een geul met een overwegend ebdebiet. De ebgeul is in de Westerschelde meestal de diepste geul die tevens als vaargeul fungeert. De ebgeul meandert van de ene oever naar de andere oever van de Westerschelde. De vloedgeulen hebben een overwegend vloeddebiet en zijn vaak ondieper dan de ebgeulen (Berben, 1985). Uit figuur 7 blijkt daadwerkelijk dat in de vloedgeulen het zandtransport vloedgedomineerd is. Voor de ebgeul geldt dat het zandtransport, zij het in mindere mate, ebgedomineerd is.

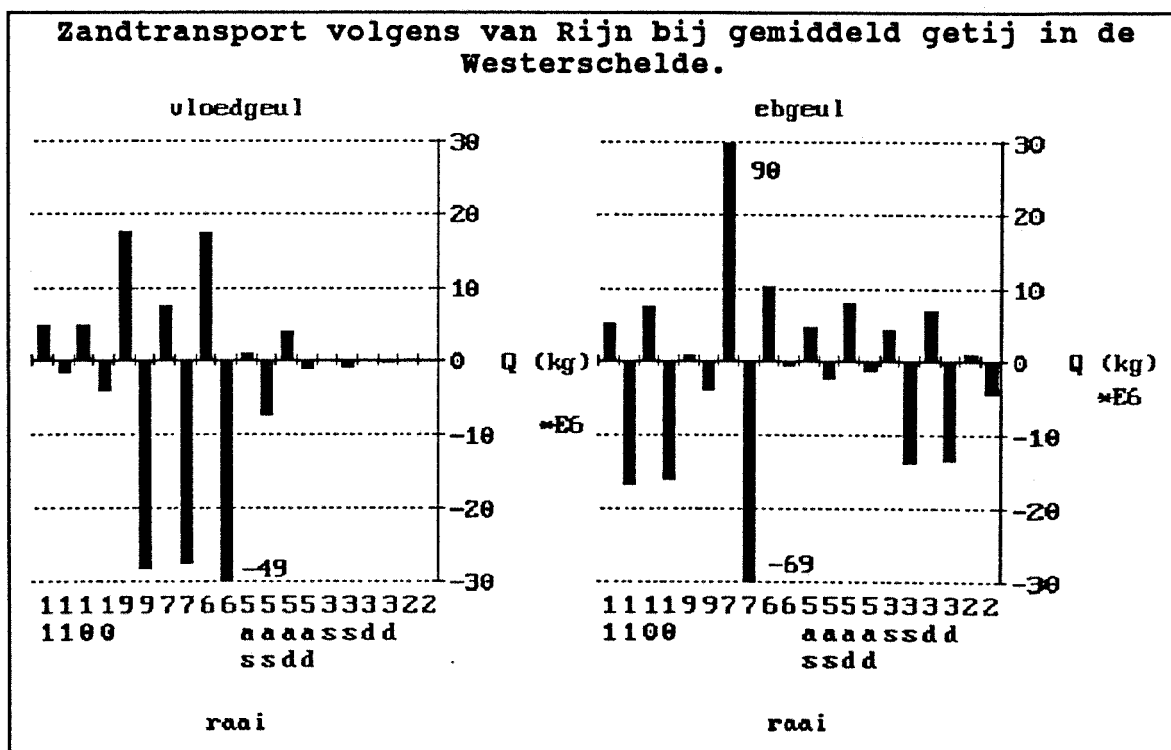
In figuur 8 wordt bekeken hoe de relatieve zandtransporten zich verhouden ten opzichte van de maximale profieldiepte (diepste punt in het profiel ten opzichte van NAP). Hierin zijn de meetpunten van alle debietraaien uitgezet.

Het relatieve zandtransport omvat het zandtransport van een meetpunt uit een raai gedeeld door het totale zandtransport van de desbetreffende raai (Q_{mp}/Q_{tot}). De lagere aandelen in het zandtransport (tot 10% van het totale zandtransport) bij een raai

komen zowel bij de ondiepe als de diepe geulen voor. Uit figuur 8 blijkt dat tot een diepte van 6,5 m -NAP het zandtransport een kleiner aandeel in het totale zandtransport door een raai heeft dan dat dit bij grotere dieptes het geval is.

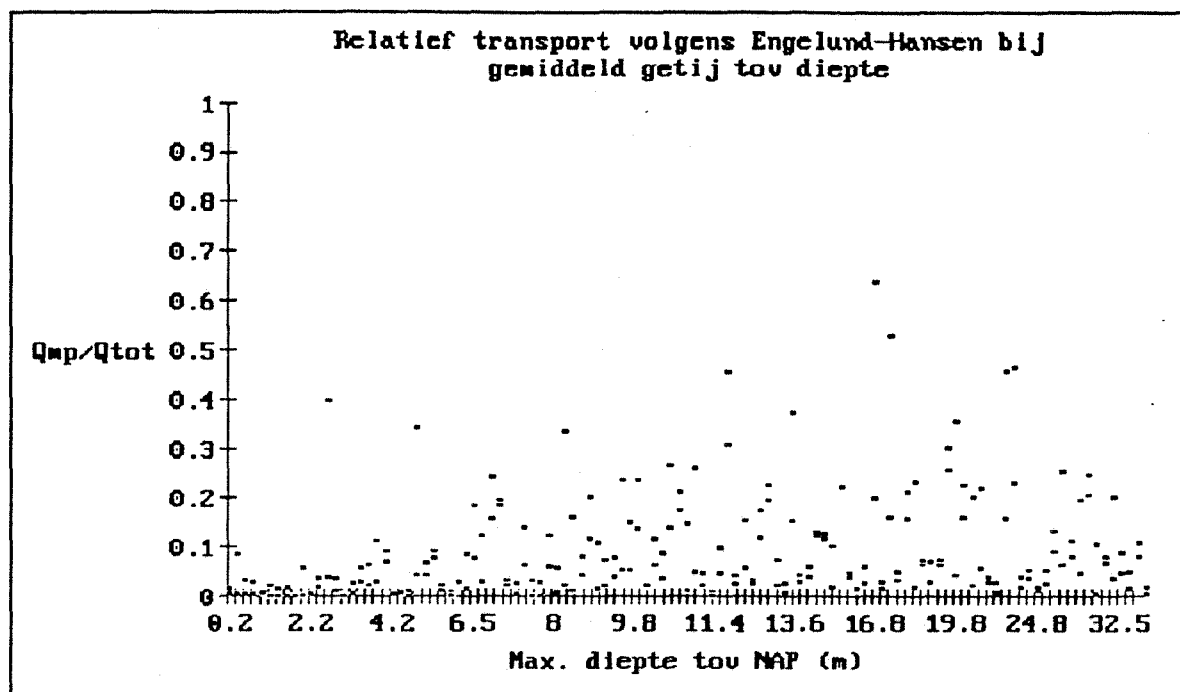


(a)

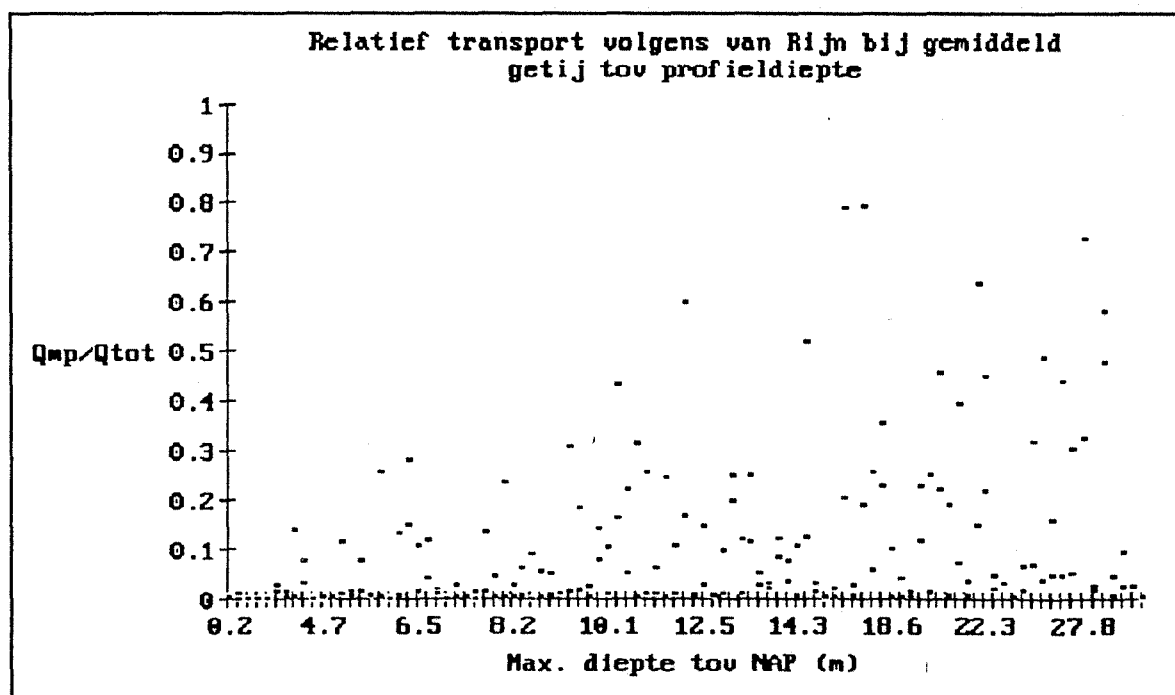


(b)

figuur 7 Zandtransport volgens Engelund-Hansen en van Rijn bij gemiddelde getijomstandigheden in de Westerschelde uitgesplitst per getijdegeul.



(a)



(b)

**figuur 8 Aandeel van het totale zandtransport ten opzichte van
de maximale diepte per meetpunt**

4. DISCUSSIE

Uit het verloop van het zandtransport in de Westerschelde zoals in figuur 5 naar voren komt is er sprake van een herverdeling van het sediment tussen de verschillende raaien. Aan de hand van de evenwichtsrelatie (zie bijlage V) van Gerritsen en de Jong (1983) kan inzicht worden verkregen in de vraag of een geul in evenwicht is met het maximale debiet.

Als de maximale stroomsnelheid in een geul groter is dan de evenwichtsstroomsnelheid, dan is de geul te nauw en zal erosie optreden. Indien de maximale stroomsnelheid in een geul kleiner is dan de evenwichtsstroomsnelheid dan is de geul te breed en zal sedimentatie optreden (Gerritsen en de Jong, 1983).

Evenwichtsstroomsnelheden U^e voor de eb- en vloedgeulen welke berekend zijn aan de hand van evenwichtsrelatie van Gerritsen en de Jong (1983) en de doorstroom oppervlakken van de geulen in de Westerschelde staan in onderstaande tabel vermeld.

raai	A_c (m ²)	ebgeul		A_c (m ²)	vloedgeul	
		U^e (m/s)	U_{max} (m/s)		U^e (m/s)	U_{max} (m/s)
2	17488	0.72	0.71			
3d	15260	0.69	0.99	3376	0.69	0.53
3s	15260	0.69	0.85	3376	0.69	1.24
5ad	18231	0.73	*	11155	0.96	*
5as	18231	0.73	*	11155	0.96	*
6	18790	0.74	0.87	18183	1.01	1.59
7	21830	0.77	1.16	24458	1.03	1.52
9	42200	0.86	0.88	36300	1.04	1.00
10	67785	0.90	0.89	9790	0.94	1.16
11	82000	0.96	0.90			

A_c = oppervlakte doorstroomprofiel in de Westerschelde t.o.v. NAP
 U^e = evenwichtsstroomsnelheid
 U_{max} = maximale verticaal gemiddelde stroomsnelheid in de gehele geul

Tabel 4 Evenwichtsstroomsnelheden in de eb- en vloedgeulen van de Westerschelde volgens Gerritsen en de Jong (1983). De maximale stroomsnelheden zijn herleid naar gemiddeld getij. U_{max} is berekend uit Q_{max} (de Jong, 1989). Voor de geulen van raai 5a is geen U_{max} voorhanden.

Voor bijna alle vloedgeulen (met uitzondering van de vloedgeul in raai 3d) in de Westerschelde zijn de maximale verticaal gemiddelde stroomsnelheden groter dan de evenwichtsstroomsnelheden U^e . Een mogelijke reden hiervoor is dat bij vloed het oppervlak van het doorstroomprofiel ten opzichte van NAP bepaald wordt. In werkelijkheid is het doorstroomoppervlak veel groter. In de berekening wordt dus met een te klein doorstroomoppervlak rekening gehouden zodat er gesuggereerd wordt dat de geul te smal is.

Ook voor de ebgeulen zijn de maximale verticaal gemiddelde stroomsnelheden groter dan de evenwichtsstroomsnelheden. De verschillen tussen U^e en $U_{\max}$ nemen naar het westen toe af. In westelijke richting gaan de ebgeulen steeds dichter naar een evenwicht tussen het doorstroomprofiel en het ebdebiet. De verruimingsprocessen (erosie) zal in westelijke richting afnemen. Echter bij raai 7 is er een groot verschil tussen U^e en $U_{\max}$. Volgens Gerritsen en de Jong zou deze ebgeul te nauw en aan erosie onderhevig zijn. Uit figuur 5 blijkt bij raai 7 ook een beduidend hoger zandtransport te zijn. Mogelijk heeft de erosie van de ebgeul een weerslag op het zandtransport.

De grotere maximale stroomsnelheid $U_{\max}$ in de ebgeul van raai 3a ten opzichte van raai 3b is het gevolg van het herleiden van de debieten naar gemiddeld getij.

Als een getijdegolf een estuarium binnendringt, nemen de getijvolumina (debieten) af doordat de kombergingsgebieden van de Westerschelde geleidelijk gevuld worden. Als gevolg van de afnemende debieten zou volgens de verwachting de zandtransporten van west naar oost in het estuarium in eveneens afnemen. Echter ten westen van raai 7 (raai 9, 10 en 11) heeft het zandtransport dezelfde orde van grootte. De sleutel van in dit fenomeen zou wellicht in de geometrie van de geul kunnen zitten. De evenwichtsstroomsnelheden U^e volgens tabel 3 zijn voor de raaien 9, 10 en 11 veel hoger dan bij de andere raaien.

Eventueel zou er een samenhang kunnen zijn met de vele zandbanken die juist in het oostelijk deel (raai 6 t/m 2) van de Westerschelde liggen. In dat geval zou het een sedimentatiegebied zijn.

het is ook
fen
phenomenon
proces

De intensieve baggerwerkzaamheden in het oostelijk deel van de Westerschelde zou eventueel ook een rol kunnen spelen.

r^2	Engelund-Hansen momentaan getij	Engelund-Hansen gemiddeld getij	van Rijn gemiddeld getij	gemeten zandtrans- port momentaan getij
Engelund-Hansen momentaan getij	1	0.85	nvt.	0.89 (0.93)*
Engelund-Hansen gemiddeld getij		1	0.39 (0.85)*	0.53 (0.68)*
van Rijn gemiddeld getij			1	0.87 (0.61)*
gemeten zandtransport momentaan getij				1

* exclusief raai 7

Tabel 5 correlatiecoëfficiënt r^2 voor de verschillende methodes waarmee het zandtransport wordt bepaald.

Zoals uit tabel 4 blijkt, bestaat tussen het model van Engelund-Hansen en van Rijn een correlatiecoëfficiënt van 0.85 mits raai 7 buiten beschouwing wordt gelaten. Indien raai 7 wel in de beschouwing wordt meegenomen, dan is de correlatiecoëfficiënt 0.39. Ook bestaat er voor van Rijn een goede correlatie met de gemeten zandtransporten, $r^2=0.87$. De correlatie tussen Engelund-Hansen en de gemeten zandtransporten is aanzienlijk minder, $r^2=0.53$. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij Engelund-Hansen en van Rijn het zandtransport uit zowel suspensief als bodemtransport bestaat terwijl het gemeten zandtransport (AZTM) allen suspensief transport omvat. Tevens blijkt dat de gemeten zandtransportgegevens momentaan zijn en de resultaten van Van Rijn en Engelund-Hansen beide getij gemiddelde waarden zijn. Indien ook voor Engelund-Hansen een momentaan getij situatie wordt verkre-

gen, dan is $r^2=0.89$ hetgeen beter is omdat dan bij beide dezelfde getijomstandigheden heersen.

de rijksoverheid bestond al in 1370.

Volgens van den Berg (1987) kan het suspensief zandtransport als een functie van de stroomsnelheid worden gezien,

$$S_s = a u^b$$

waarin S_s = suspensief zandtransport, u = diepte-gemiddeld stroomsnelheid, a, b = coëfficiënten, de waarde van de coëfficiënten vast (Engelund-Hansen) of variabel (van Rijn) zijn.

Bij een waterdiepte van 5m, een effectieve ruwheid $k_s=0.02$ een korrelgrootte van $D_{50} = 0.175\text{mm}$ kan bij een range voor de stroomsnelheid tussen 0.75 en 2.0 m/s kunnen voor a en b de volgende gemiddelde waarden bepaald worden:

	a	b
Engelund-Hansen	0.36	5.00
van Rijn	0.67	5.01

Op grond van deze aanname zou het transport volgens Engelund-Hansen in dezelfde orde van grootte moeten liggen als het transport van Van Rijn.

Echter uit figuur 5 blijkt dat het zandtransport volgens van Rijn veel groter is dan volgens Engelund-Hansen. Blijkbaar zijn er nog een andere factor(en) die bepalend zijn voor het verschil in de betreffende zandtransporten, zoals de waterdiepte en de laagdikte 'a' van het bodemtransport.

Bij het model van Van Rijn (1984) is de dikte van het referentie niveau van groot belang. Bij gebrek aan parameters zoals ribbelhoogte en ribbellengte, is het referentie niveau van bodemtransport a gelijkgesteld aan de effectieve bodemruwheid k_s . Echter als gevolg van de veranderlijke stroomsnelheden zal de effectieve bodemruwheid en daarmee de laagdikte a ook veranderen waarbij traagheidseffecten en naijling een verstorende factor kunnen zijn.

De resultaten van van Rijn zijn voor de raaien 3, 5, 6 en 9 aan de lage kant omdat vanwege software technische reden bij deze raaien een meetpunt niet in de berekening meegenomen is. Hierdoor

wordt de correlatie iets minder gunstig dan dat deze in werkelijkheid zal zijn.

Bij Engelund-Hansen is alleen voor k_s een aanname gedaan. Dat wil niet zeggen dat dit het meest betrouwbare model is dat moet worden gebruikt. Het model reageert voornamelijk op de stroomsnelheid, voor de overige parameters is het model minder gevoelig. Voor beide modellen is overigens dezelfde K_s gebruikt.

Er kan niet zondermeer geconcludeerd worden dat het model van Van Rijn betere waarden oplevert dan het model van Engelund-Hansen omdat er de nodige aannames zijn gedaan zoals bij de werkwijze vermeld is.

Daarnaast zijn de gemeten zandtransporten niet geheel betrouwbaar gezien de grote spreiding in de meetresultaten. Er zijn voor de verwerking van de gemeten zandtransportgegevens een aantal aannames gedaan (zie werkwijze). Belangrijk hierin is dat voor de bepaling van het totaal gemeten zandtransport een schematisatie gemaakt is op basis van minder meetpunten dan bij de stroomsnelheden het geval is. De gemeten zandtransporten worden voor een te groot doorstroomoppervlak representatief gesteld zodat er een overschatting van het zandtransport wordt gemaakt (zie bijlage II).

De verdeling in het zandtransport voor eb- en vloedgeulen laat zien dat de diepe ebgeulen een groter volume zand transporteren dan de vloedgeulen, ondanks de lagere stroomsnelheden bij de ebgeul.

Dit effect kan enigszins teruggevonden worden in figuur 8 waar het zandtransport per meetpunt als aandeel van het totale zandtransport door de raai (Q_{mp}/Q_{tot}) wordt bekeken bij maximale profieldiepte. Er is op het eerste gezicht geen duidelijke voorkeurdiepte waarbij het zandtransport het grootst is. Zowel bij ondiepe geulen als bij diepe geulen is er een relatief zandtransport van ongeveer 10%. Bij de diepte dieper dan 6,5m -NAP neemt het aandeel in het zandtransport toe (ca 40%). Het lijkt er op dat het zandtransport op grotere diepte effectiever is.

Bij raai 7 wordt ook de grootste maximale diepte bereikt, 37m beneden NAP. Met het model van van Rijn en met de metingen met de AZTM komt ook naar voren dat bij raai 7 het zandtransport in ieder geval groter is dan bij andere raaien (figuur 2e). Mogelijk heeft het hoge zandtransport van raai 7 met de profieldiepte te maken.

5. CONCLUSIE

1. In het oostelijke deel van de Westerschelde (tot aan raai 7) lijkt een trend aanwezig in het zandtransport over de dwarsprofielen. Bij afnemend debiet (in oostelijke richting) wordt eveneens het totale zandtransport kleiner. Raai 7 heeft een beduidend hoger zandtransport (zowel berekend als gemeten) dan de overige raaien. Voor de raaien 9, 10 en 11 is er geen trend waarneembaar. De zandtransporten liggen in dezelfde orde van grootte.
2. Er is geen goede verklaring gevonden waarom het zandtransport van raai 7 zoveel hoger is dan bij andere raaien. Mogelijk hebben verruimingsprocessen van de geul (erosie) een effect op de hoge zandtransporten.
3. De diepe ebgeulen transporteren een grotere hoeveelheid zand dan de ondiepere vloedgeulen. De ebgeulen zijn effectievere zandtransporteurs dan vloedgeulen.
4. Indien naar het aandeel van het zandtransport ten opzichte van de maximale diepte gekeken wordt is er een relatie aanwezig. Tot een diepte van 6.5m -NAP is het aandeel ten aanzien van het totale zandtransport door de dwarsraai klein. Bij grotere dieptes is het zandtransport effectiever. Klaarblijkelijk is naast de stroomsnelheid ook de profiel diepte van belang voor de effectiviteit van het zandtransport.
5. De methode van omrekenen van stroomsnelheden met behulp van de getijcoëfficiënt lijkt goed te werken gezien de resultaten van de dood- en springtijmetingen in de raaien 3 en 5a.
6. Aan de hand van deze gegevens kan geen conclusie worden getrokken na aanleiding van een betere voorspellingsmogelijkheid van ofwel het model van EngelundHansen ofwel het model van van Rijn.
7. Bij de concentratiemetingen met een AZTM wordt het werkelijke alleen grof benaderd. Het laagste meetpunt met de AZTM ligt op 1m boven de bodem. Een belangrijk deel van het suspensief transport wordt niet in de metingen meegenomen.

Wat is hier
voor
opmerking
aan?

6. AANBEVELINGEN

1. Volgens de evenwichtsrelatie van Gerritsen en de Jong (1983) is de mate van het zandtransport afhankelijk van de vorm van de geul. Op grond hiervan zou onderzocht kunnen worden of er een verband is tussen het optimale zandtransport en de geometrie van de geul. Er is een goede inventarisatie nodig om te bepalen welke geometrische parameters hiervoor nodig zijn.
2. Daarnaast is het nodig dat er gerichter stroomsnelheden gemeten moeten worden waarbij de locatie voor het meetpunt gebaseerd is op het profiel zodat schematisatiefouten en aannames tot een minimum gereduceerd worden.

7. LITERATUUR

- Berben, F., 1985. Meandergeometrie en morfodynamisch gedrag van estuariumgeulen. Nota Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Berg, J.H. van der, 1987. Konfrontatie sedimenttransportformules met metingen van het suspensiefzandtransport in de Westerschelde en de Eendracht. Nota ZL-87.00002 Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Engelund, F. and Hansen, E., 1967. A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Nordic Hydrology 7
- Gerritsen, F en Jong, H de, 1983. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Nota WWKZ-83.V008, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen
- Jong, H. de, 1989. Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932. Nota GWAO-89.1004 Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Looff, D. de, 1975. Bemonsteringskaart Oostelijk deel van de Westerschelde. Nota WWKZ80-V.009 Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Looff, D. de, 1978. Bemonsteringskaart Westelijk deel van de Westerschelde. Nota WWKZ - 78.V013 Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Rijn, L.C. van, 1984. Sediment transport, Part II: suspended load transport. Journal of Hydraulic Engineering 110, 1613-1641.
- Rijn, L.C. van, 1985a Zandsluiting compartimenteringsdammen Oosterschelde. Vergelijking zandtransportformules van Morra-Kalinske, Engelund-Hansen, Ackers-Wite en van Rijn. Verslag onderzoek Waterloopkundig Laboratorium Delft.
- Rijn, L.C. van, 1985b. Vergelijking zandtransportformules van Morra-Kalinske, Engelund-Hansen, Ackers-Wite en van Rijn. Rapport R2142 Waterloopkundig Laboratorium Delft.
- Werkgroep Waterschap Westerschelde, 1989. Beleidsplan Westerschelde. Deelrapport 4 Morfologische Structuur en Dynamiek. Rijkswaterstaat Directie Zeeland.

BIJLAGE I

De totaal (= bodem- en suspensie) transportformule van Engelund-Hansen (1967) luidt:

$$s_t = \frac{0,05 \rho_s \bar{u}^5}{\Delta^2 g^{0.5} d_{50} C^3} \quad (A2)$$

waarin:

s_t	= totaal transport	(kg/sm)
$\bar{u}$	= gemiddelde stroomsnelheid	(m/s)
Δ	= relatieve dichtheid (= 1,65)	(-)
g	= zwaartekrachtsversnelling	(m/s ²)
d_{50}	= mediane korreldiameter van het bodemmateriaal	(m)
C	= Chézy-koëfficiënt	(m ^{0.5} /s)
ρ_s	= sediment dichtheid (=2650)	(kg/m ³)

De totaal transportformule (s_t) van Van Rijn (1984 a,b) luidt:

$$s_t = s_b + s_s \quad (A4)$$

$$s_b = 0,053 \rho_s (\Delta g)^{0.5} (d_{50})^{1.5} (D_*)^{-0.3} (T)^{2.1} \quad (A5)$$

$$s_s = F \rho_s \bar{u} h c_a \quad (A6)$$

waarin:

$$D_* = d_{50} \left[\frac{\Delta g}{v^2} \right]^{1/3} = \text{korreldiameter} \quad (-)$$

$$T = \frac{(u_*')^2 - (u_{*,cr})^2}{(u_{*,cr})^2} = \text{bodemschuifspanningsparameter} \quad (-)$$

$$c_a = 0,015 \frac{d_{50}}{a} \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}} = \text{bodemconcentratie} \quad (-)$$

$$F = \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^{Z'} - \left(\frac{a}{h}\right)^{1.2}}{\left(1 - \frac{a}{h}\right)^{Z'} (1,2 - Z')} = \text{korrektiekoefficient} \quad (-)$$

$$Z' = Z + \varphi = \text{suspensiegetal} \quad (-)$$

$$Z = \frac{w_s}{\beta \kappa u_*} \quad = \text{suspensiegetal} \quad (-)$$

$$\varphi = 2,5 \left(\frac{w_s}{u_*}\right)^{0.8} \left(\frac{c_a}{c_o}\right)^{0.4} \quad = \text{korrektiecoëfficiënt gerelateerd aan demping turbulentie door materiaal in suspensie} \quad (-)$$

$$w_s = \frac{10\nu}{d_s} \left[\left(1 + \frac{0,01 \Delta g d_s^3}{\nu^2}\right)^{0.5} - 1 \right] \quad = \text{bezinksnelheid van representatieve korreldiameter van suspensiemateriaal} \quad (\text{m/s})$$

$$d_s = (1 + 0,011 (\sigma_s - 1) (T - 25)) d_{50} \quad = \text{representatieve korreldiameter van suspensiemateriaal} \quad (\text{m})$$

$$\beta = 1 + 2 \left(\frac{w_s}{u_*}\right)^2 \quad = \text{verhouding van diffusie coëfficiënten van sediment en water} \quad (\beta_{\max} = 2) \quad (-)$$

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right) \quad = \text{gradatiecoëfficiënt van het bodemmateriaal} \quad (-)$$

$$u_{*,cr} = (\Delta g d_{50} \theta_{cr})^{0.5} \quad = \text{kritieke schuifspanningssnelheid bij begin van beweging volgens Shields} \quad (\text{m/s})$$

$$\theta_{cr} = 0,24 D_*^{-1} \quad \text{als} \quad D_* < 4$$

$$\theta_{cr} = 0,14 D_*^{-0.64} \quad \text{als} \quad 4 < D_* < 10$$

$$\theta_{cr} = 0,04 D_*^{-0.1} \quad \text{als} \quad 10 < D_* < 20 \quad \text{Shields' curve}$$

$$\theta_{cr} = 0,013 D_*^{0.29} \quad \text{als} \quad 20 < D_* < 150$$

$$\theta_{cr} = 0,055 \quad \text{als} \quad D_* > 150$$

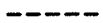
$$u_*' = \frac{g^{0.5}}{C'} \frac{-}{u} \quad = \text{effektieve schuifspanningssnelheid} \quad (\text{m/s})$$

$u_* = \frac{\tau_{*0}}{C} \bar{u}$	= totale schuifspannings- snelheid	(m/s)
$C' = 18 \log\left(\frac{12h}{3d_{90}}\right)$	= Chézy-koëfficiënt betrokken op korrels	(m ^{0.5} /s)
$C = 18 \log\left(\frac{12h}{k_s}\right)$	= totale Chézy-koëfficiënt	(m ^{0.5} /s)
s_t	= totaal transport	(kg/sm)
s_b	= bodemtransport	(kg/sm)
s_s	= suspensietransport	(kg/sm)
$\bar{u}$	= gemiddelde stroomsnelheid	(m/s)
d_{50}	= mediane korreldiameter van bodemmateriaal	(m)
d_{16}, d_{84}, d_{90}	= korreldiameters van bodemmateriaal	(m)
h	= waterdiepte	(m)
k_s	= effectieve bodemruwheid van Nikuradse	(m)
g	= zwaartekrachtsversnelling	(m/s ²)
a	= laagdikte van bodemtransport (is gelijk verondersteld aan effectieve bodemruwheid, dus $a = k_s$, $a_{\max} = 0,05h$, $a_{\min} = 0,01h$)	(m)
c_0	= maximum concentratie (=0,65)	(-)
Δ	= relatieve dichtheid (=1,65)	(-)
ν	= kinematische viscositeitscoëfficiënt	(m ² /s)
κ	= konstante van Von Karman (= 0,4)	(-)
ρ_s	= sediment dichtheid (=2650)	(kg/m ³)

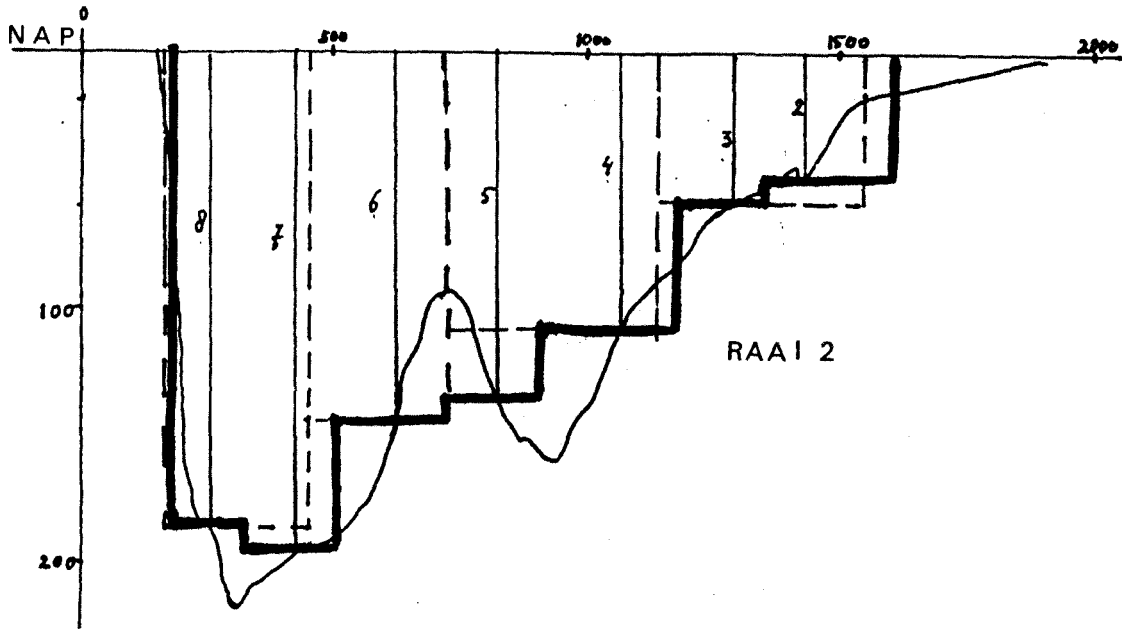
BIJLAGE II

Schematisatie van de profielen

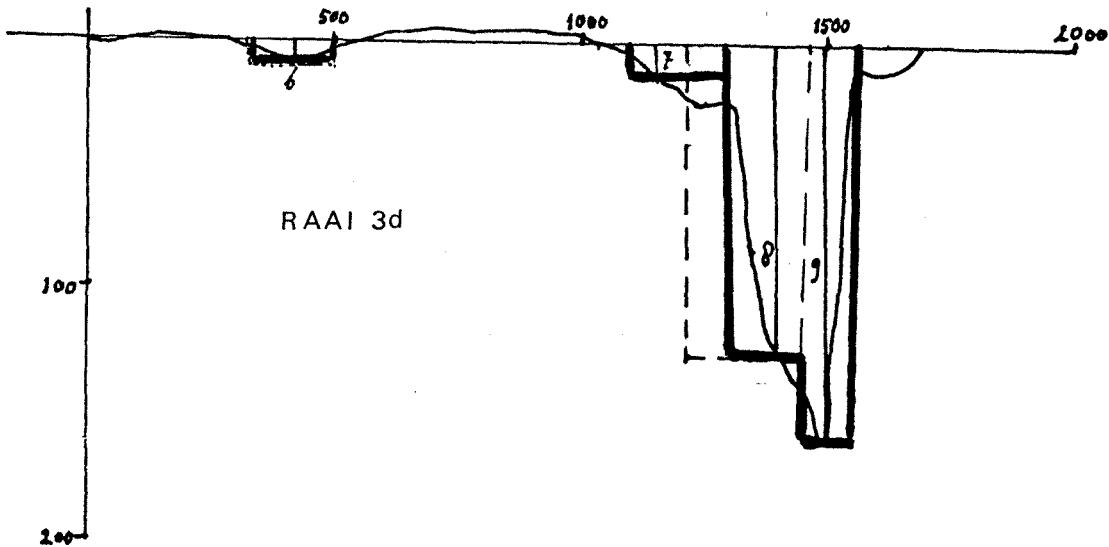
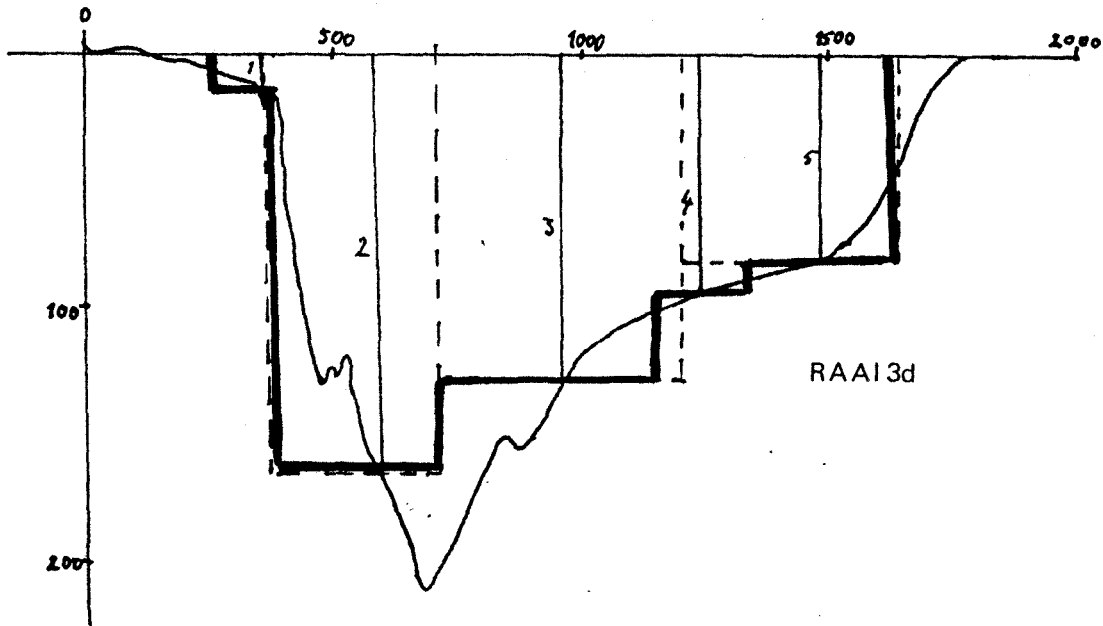
Legenda

-  5 Locatie meetpunt
-  Schematisatie voor stroomsnelheidsmetingen
-  Schematisatie voor gemeten zandtransport (AZTM)

Afstand in m. t.o.v. NULPUNT

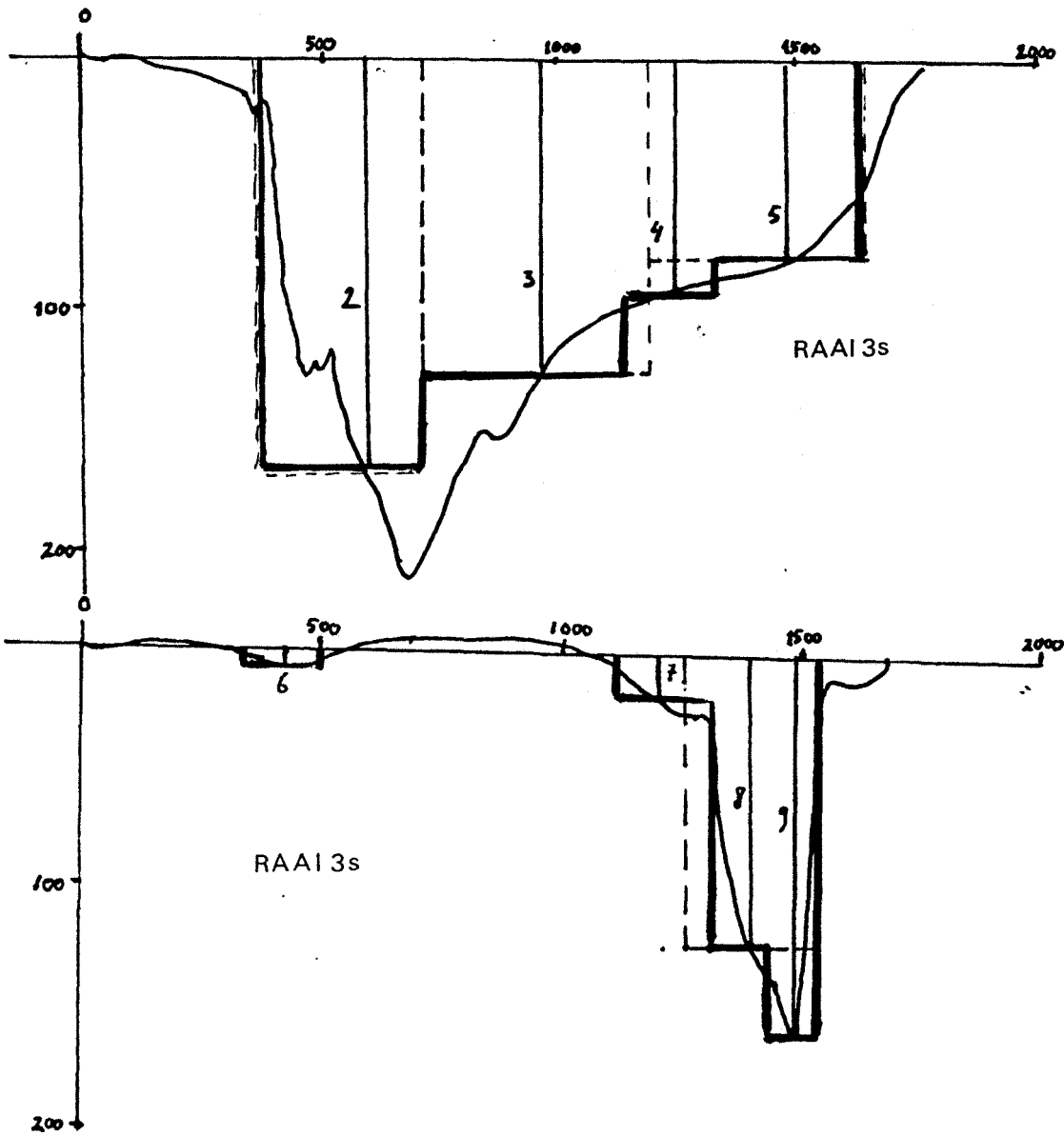


diepte in dm. t.o.v. N.A.F.

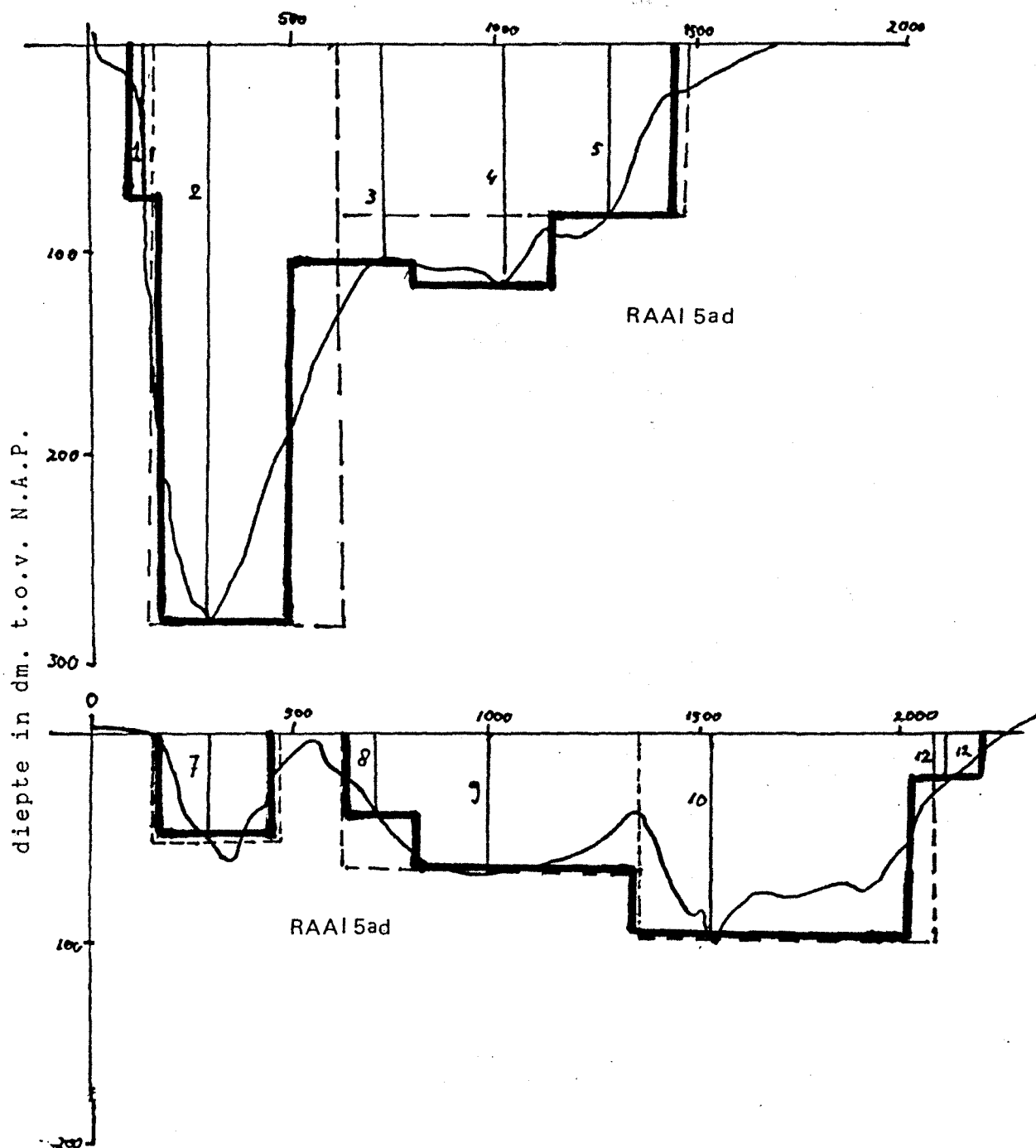


Afstand in m. t.o.v. NULPUNT

diepte in dm. t.o.v. N.A.P.

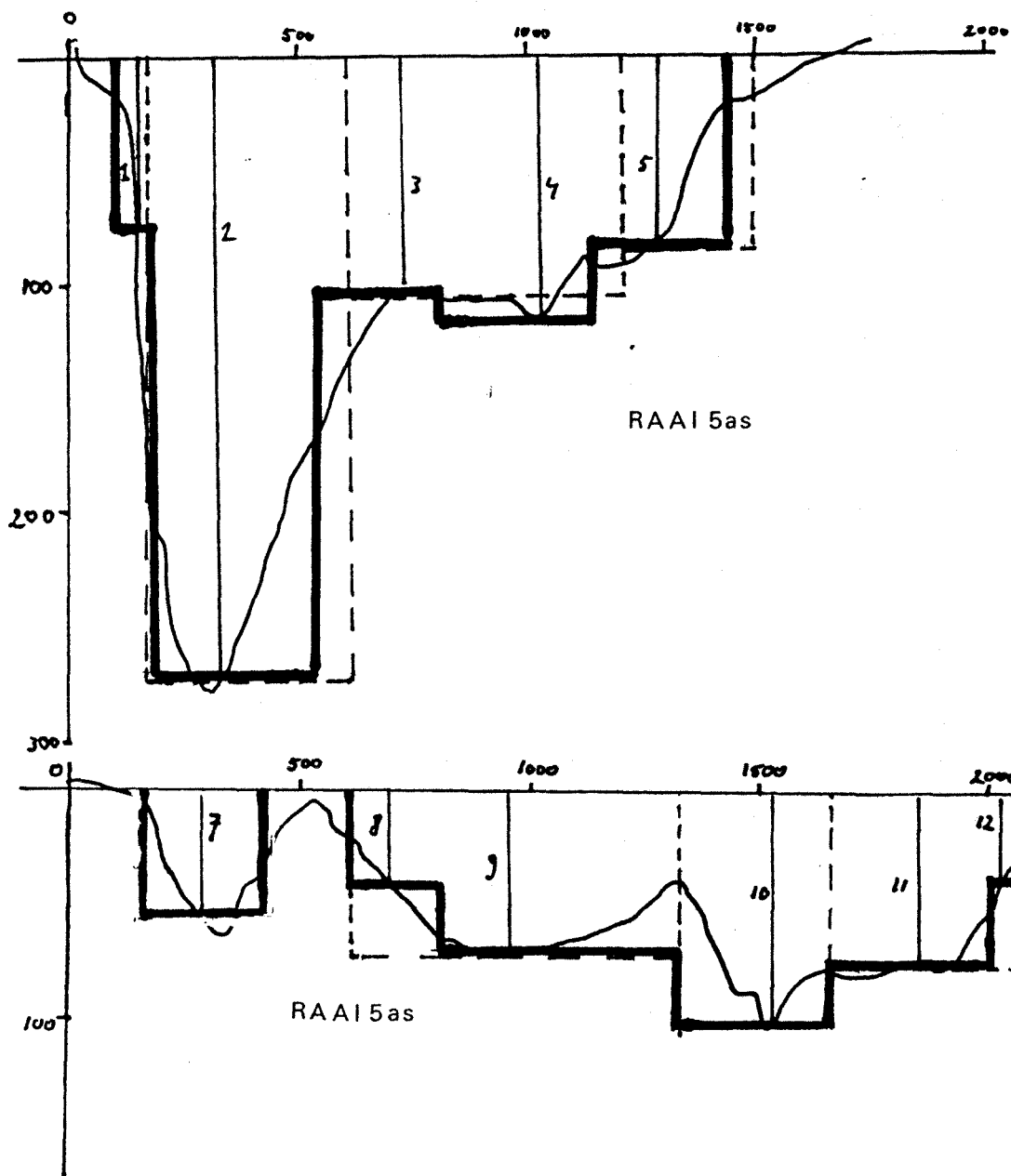


Afstand in m. t.o.v. NULPUNT

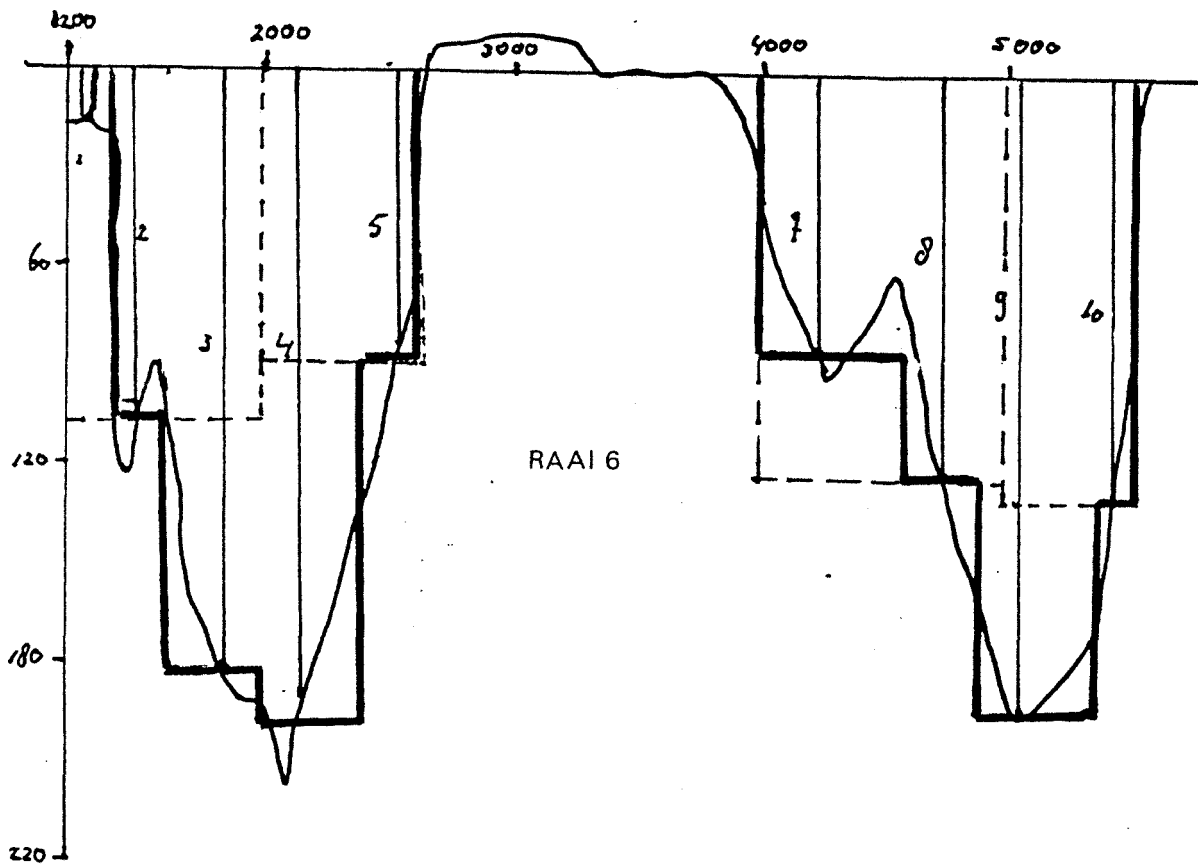


Afstand in m. t.o.v. NULPUNT

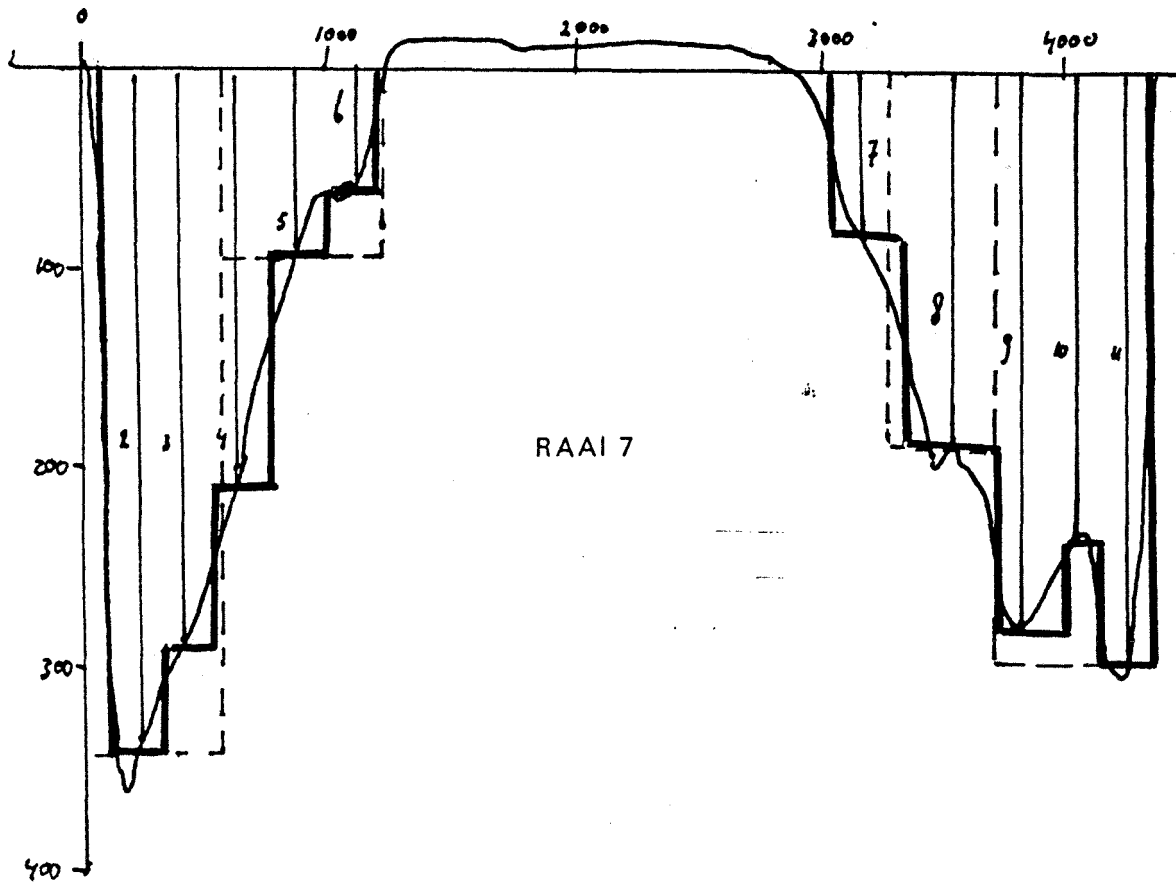
diepte in dm. t.o.v. N.A.P.



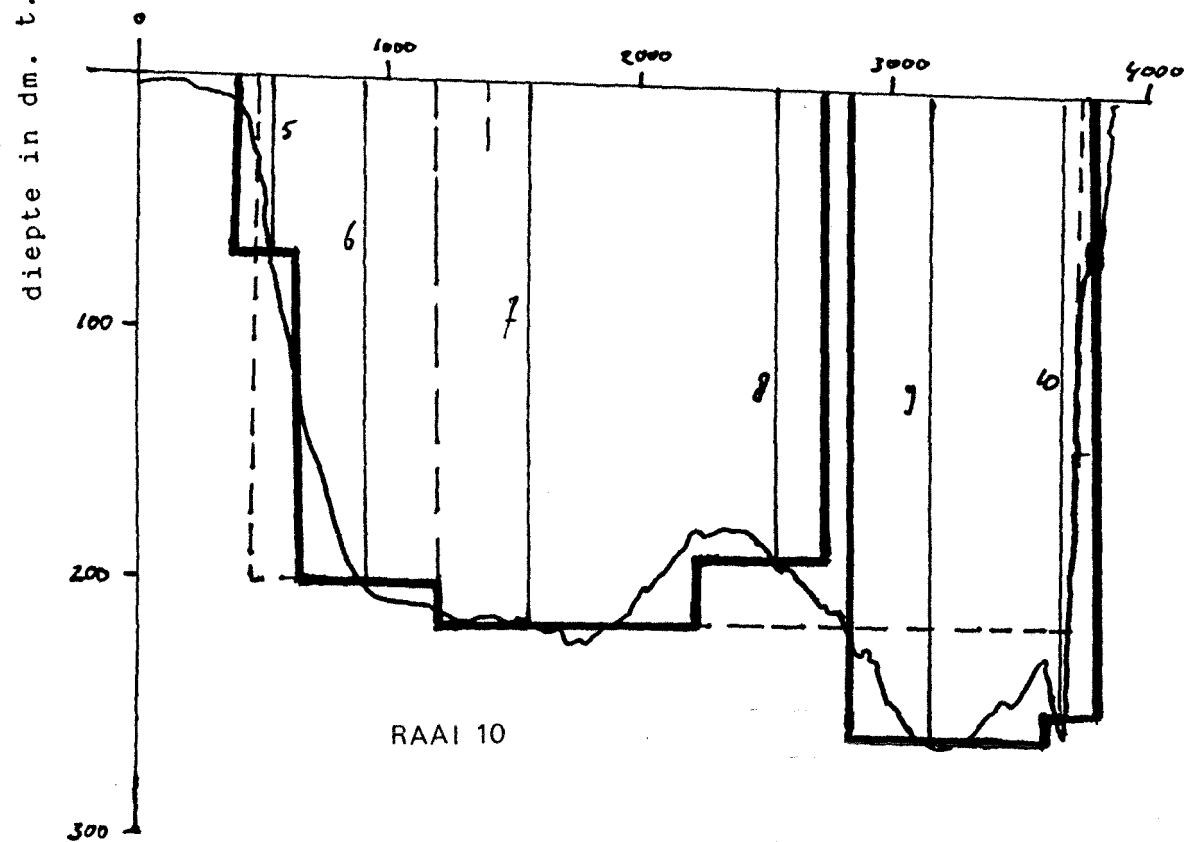
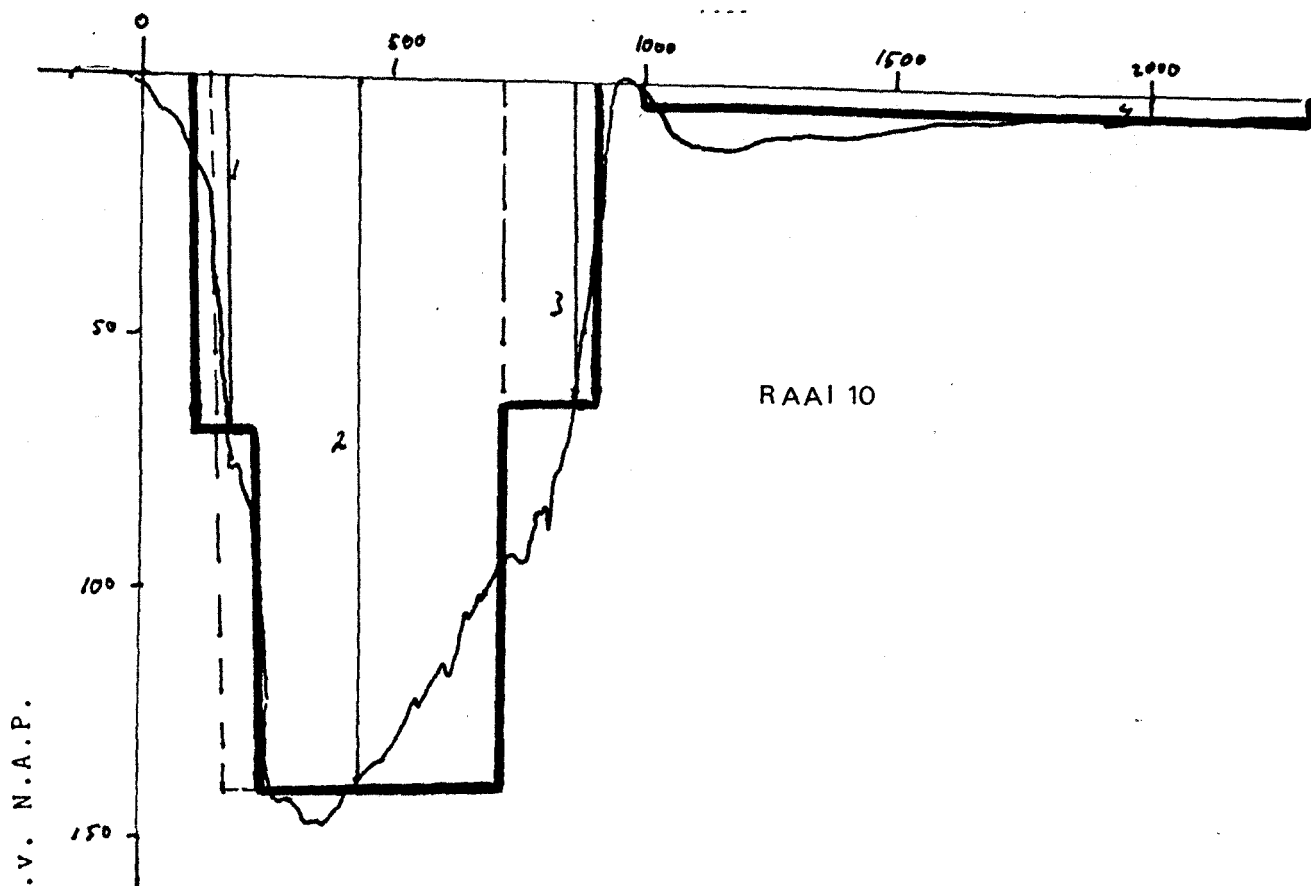
Afstand in m. t.o.v. NULPUNT



diepte in dm. t.o.v. N.A.P.

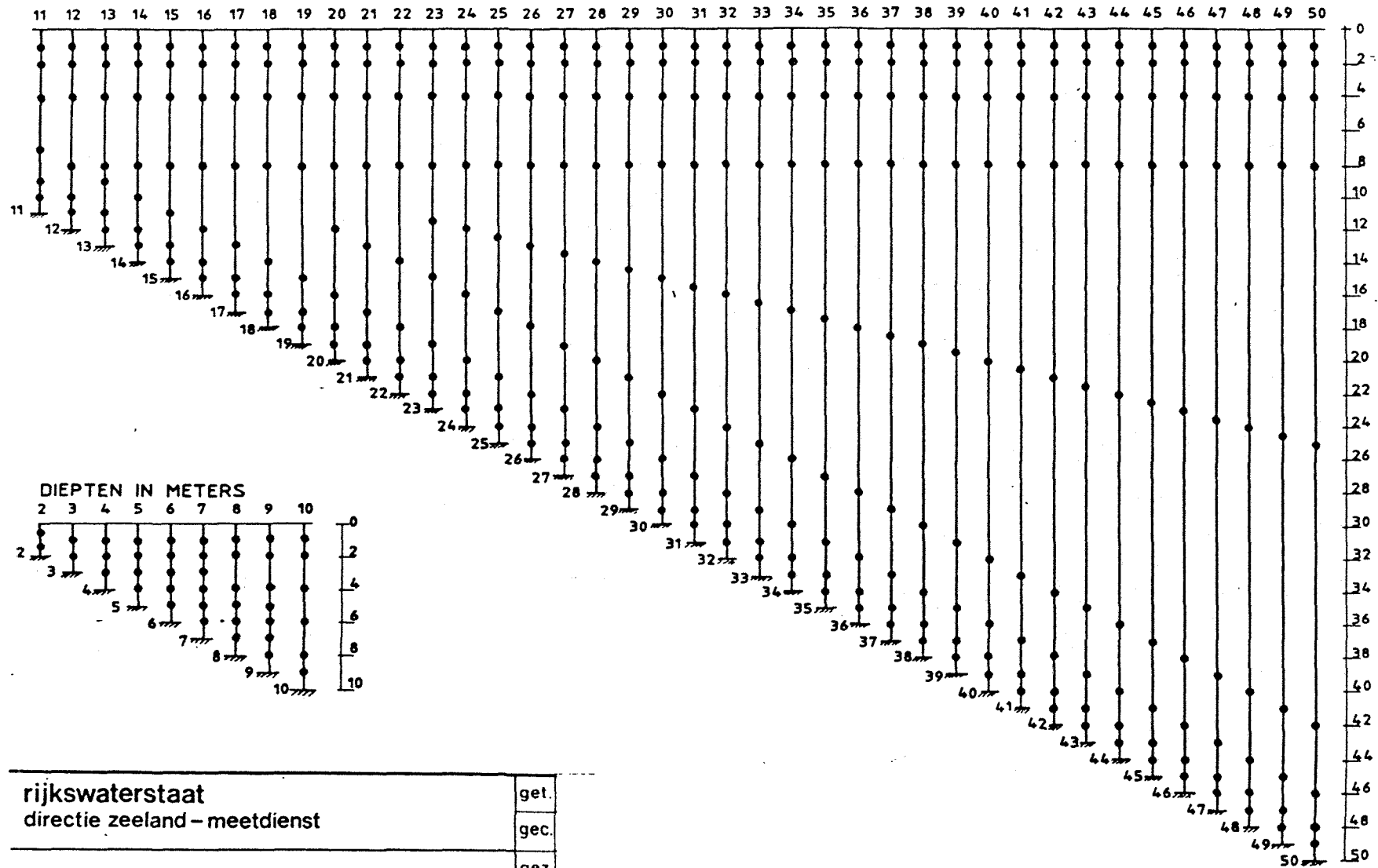


Afstand in m. t.o.v. NULPUNT

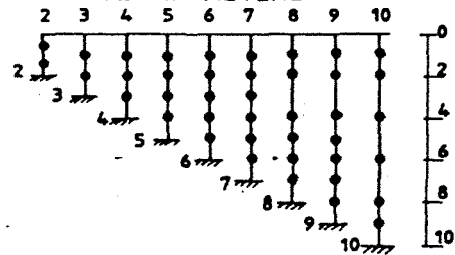


BIJLAGE III

DIEPTEN IN METERS



DIEPTEN IN METERS

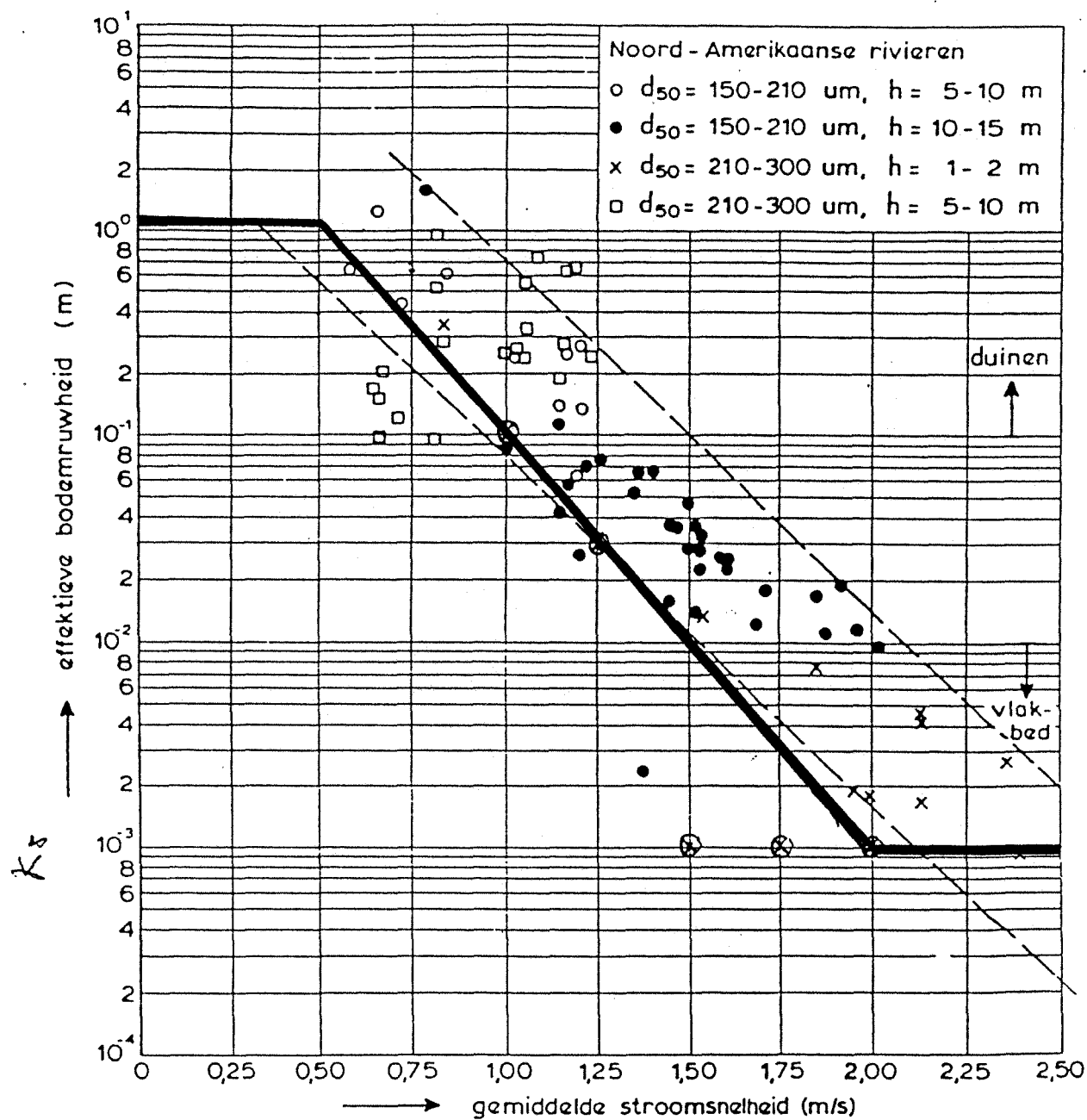


rijkswaterstaat
directie zeeland - meetdienst

ELMAR DIEPTESCHEMA
● MEETNIVEAU

get.
gec.
gez.
akk.

BIJLAGE IV



⊗ aanname onderzoek rapport M 2127

— aanname bij berekeningen in deze nota
 $K_s = 10e^{-46u}$

EFFEKTIEVE BODEMRUWHEID ALS FUNKTIE
 VAN STROOMSNELHEID

NOTA ZL.07.0002

uit: R 2142

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig 0°

De evenwichtsstroomsnelheid, U^e , is een belangrijke parameter. Is de maximale stroomsnelheid in een geul, tijdens eb of vloed, gelijk aan deze evenwichtsstroomsnelheid, dan is het doorstroomprofiel van de geul "in evenwicht" met het maximale eb- respectievelijk vloeddebiet. Als de optredende maximale stroomsnelheid beneden deze evenwichtswaarde ligt, betekent dit dat de geul te ruim is voor het optredende maximale debiet en onderhevig zal zijn aan netto sedimentatie. Is de maximale stroomsnelheid hoger dan deze waarde, dan is de geul te nauw en zal per saldo erosie optreden. Deze aanzandings- of verruimingsprocessen zullen voortduren totdat een evenwichtssituatie bereikt is tussen het doorstroomprofiel en het maximale debiet.

Voor de vloedgeulen in de Westerschelde is uit debietmetingen de volgende regressie afgeleid tussen maximaal debiet, $Q_{\max}$ en het doorstroomprofiel, A_c , bij evenwicht :

$$Q_{\max} = 1,08 \cdot A_c - 1330 \quad (1)$$

De maximale stroomsnelheden in de eb- of vloedfase, $U_{\max}$, kunnen berekend worden uit de vergelijking :

$$U_{\max} = Q_{\max} / A_c \quad (2)$$

De maximale stroomsnelheid voor de evenwichtsligging kan vervolgens afgeleid worden door de leden van vergelijking (1) te delen door A_c :

$$U^e = 1,08 - 1330 / A_c \quad (3)$$

Voor de ebgeulen kan de vergelijking voor de evenwichtsstroomsnelheid op dezelfde wijze worden afgeleid uit de basisvergelijking :

$$Q_{\max} = 0,96 \cdot A_c - 4118 \quad (4)$$

De maximale stroomsnelheid in een geul wordt bepaald uit metingen van het maximale debiet en het uit lodingen berekende doorstroomprofiel. De uitkomst kan vervolgens vergeleken worden met de evenwichtsstroomsnelheid om te bepalen of de geul in evenwicht verkeert, te ruim is, of te nauw.

Onderstaande tabel geeft de variabelen met hun dimensies.

Variabele	Omschrijving	Dimensie
A_c	Oppervlakte doorstroomprofiel	m^2
$Q_{\max}$	Maximale eb- c.q. vloeddebiet	m^3/s
$U_{\max}$	Maximale eb- of vloedstroomsnelheid	m/s
U^e	Evenwichtsstroomsnelheid	m/s

