

**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 hoogteraaien	32
Fig. 4.8	Grafische weergave hoogteraaien	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 projekt 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 geulensysteem 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 geulensysteem 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 en 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	halfij	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.

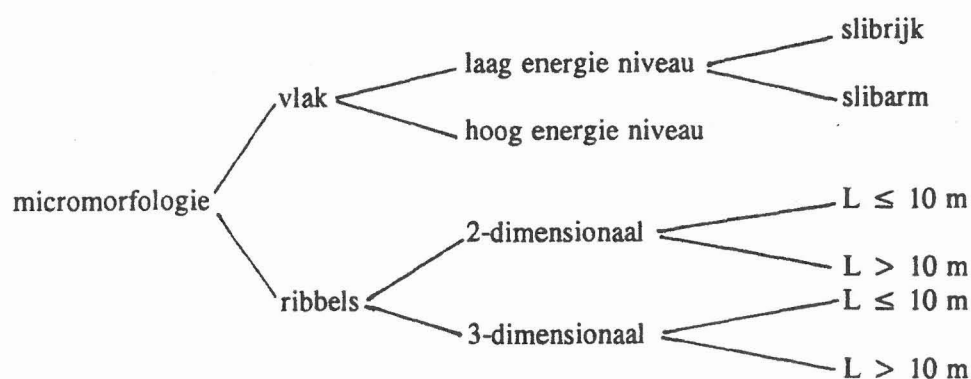


Fig. 2.1 Indeling van de micromorfologie in 7 eenheden

De hoofdindeling is gebaseerd op de aanwezigheid van ribbels. Deze hoofdindeling 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 bodemmonsters 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).

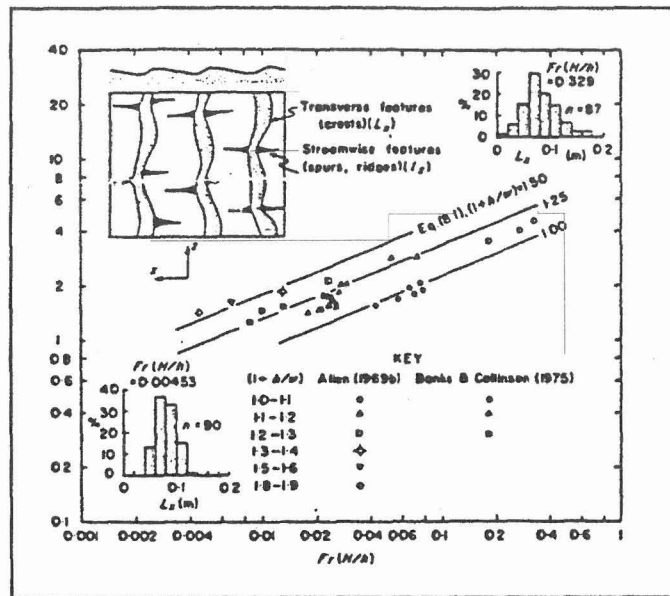


Fig. 2.2 Verband tussen de vorm van de ribbel en de relatieve ruwheid (Allen, 1984)
Data van Allen is gebaseerd op fijn zand (tot 250 μm), data van Banks en Collinson op medium zand (250 - 500 μm).

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.

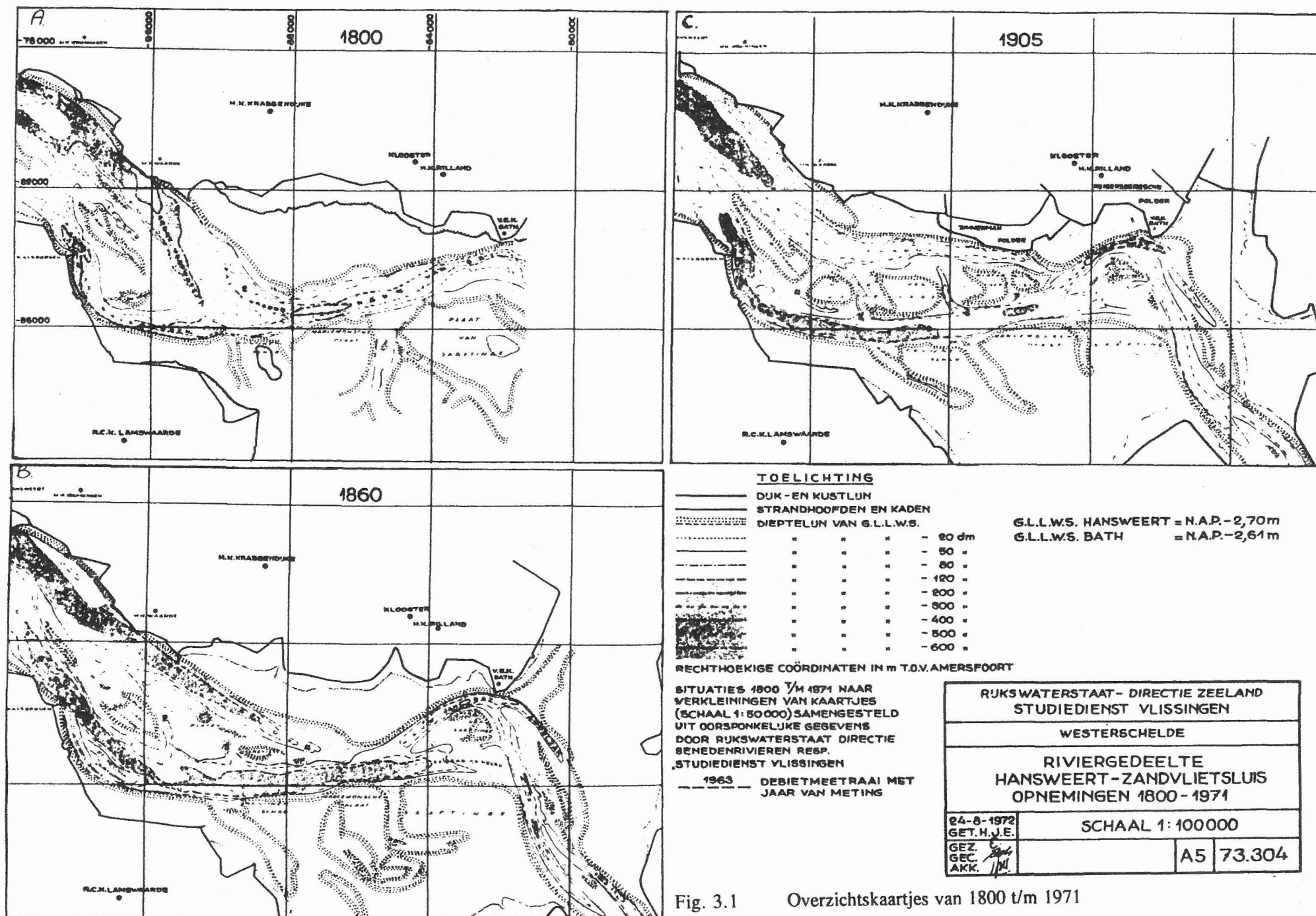


Fig. 3.1

Overzichtskaartjes van 1800 t/m 1971

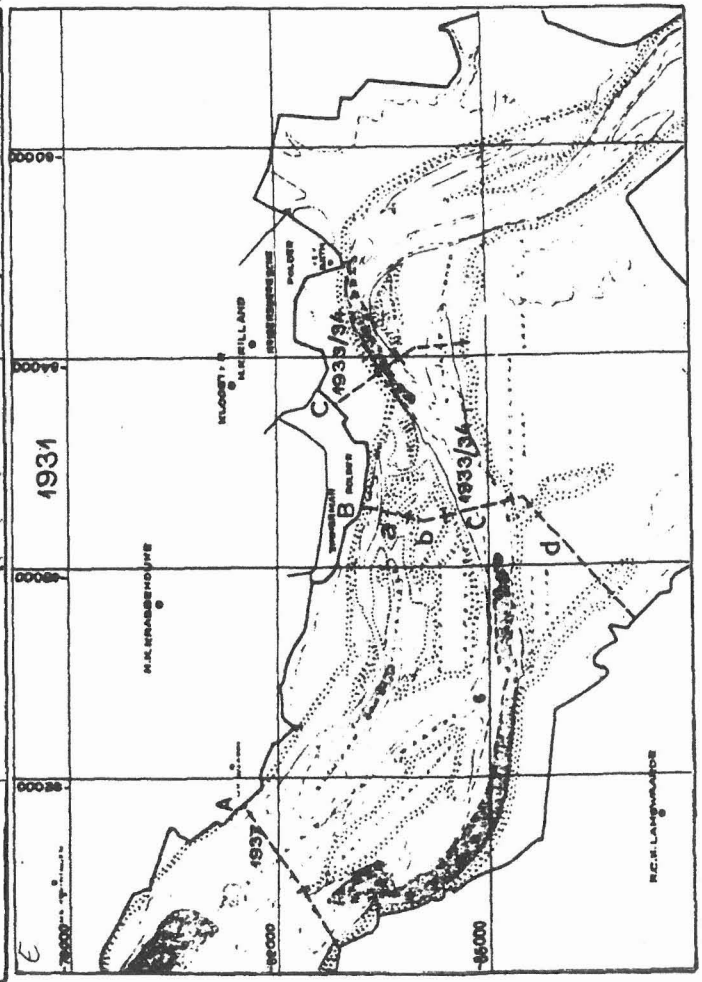
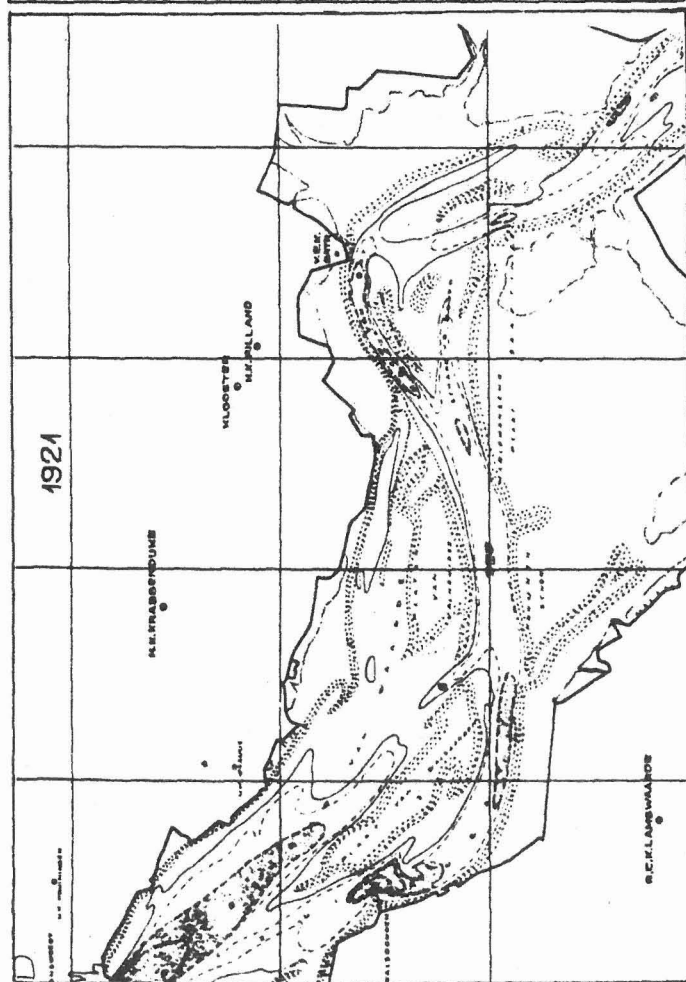
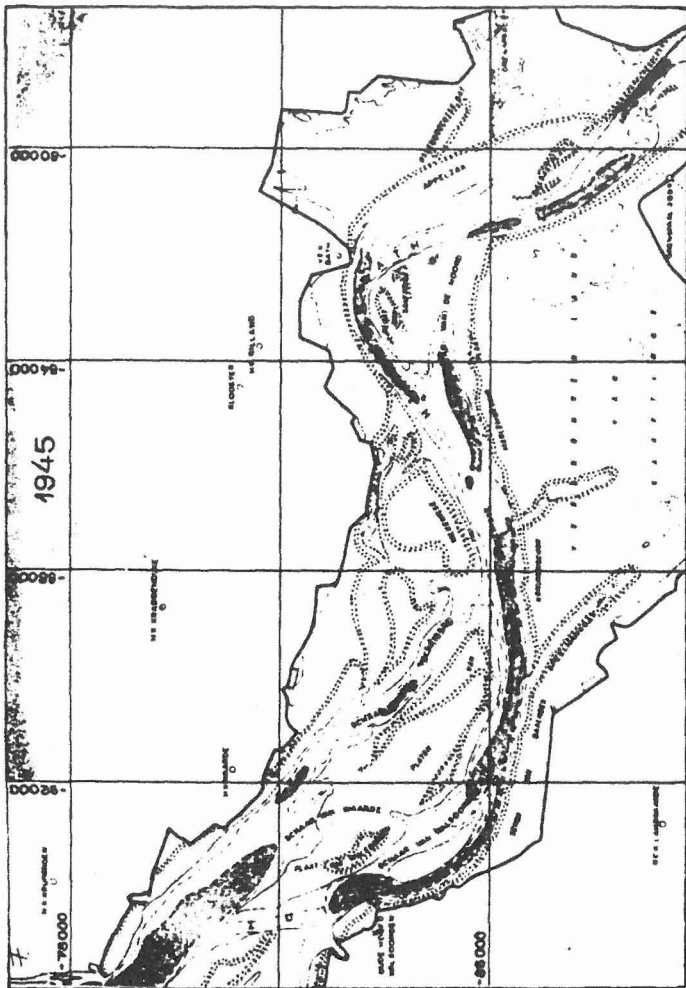


Fig. 3.1: vervolg,

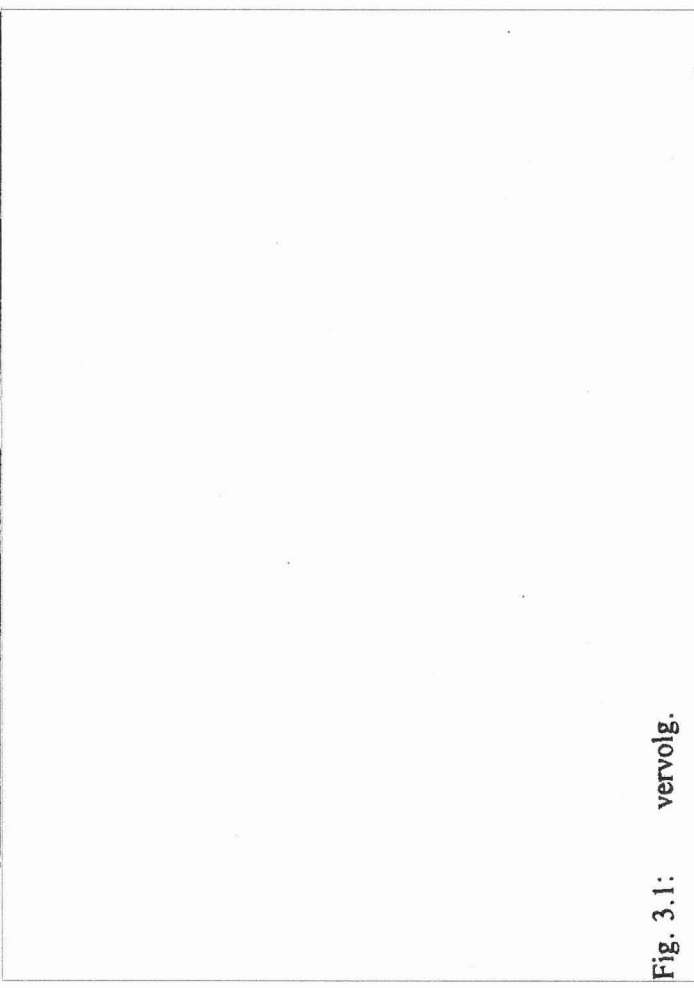
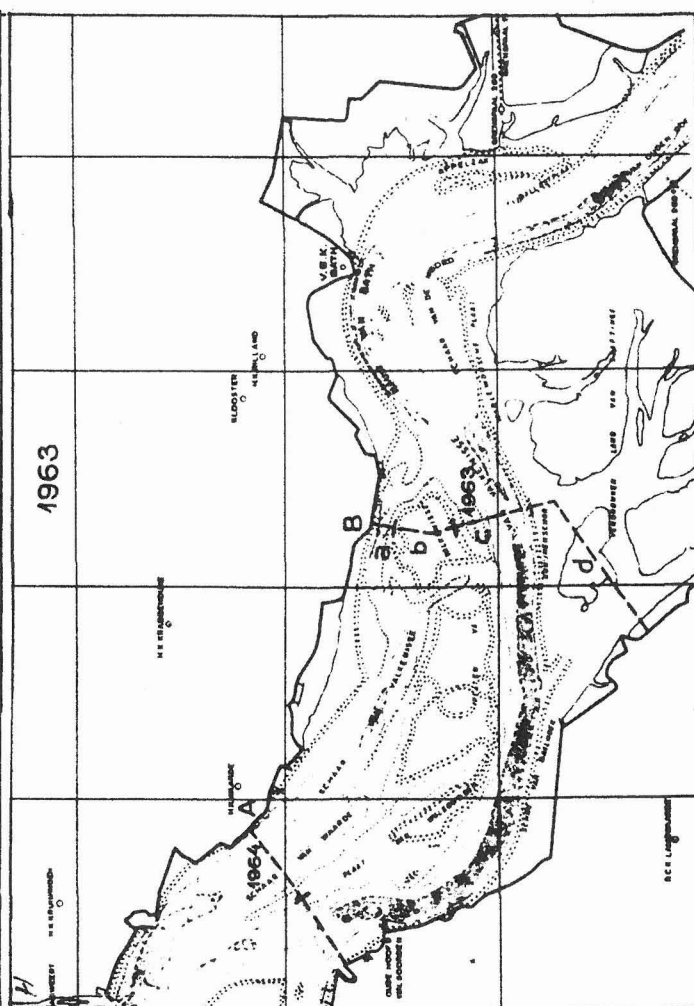
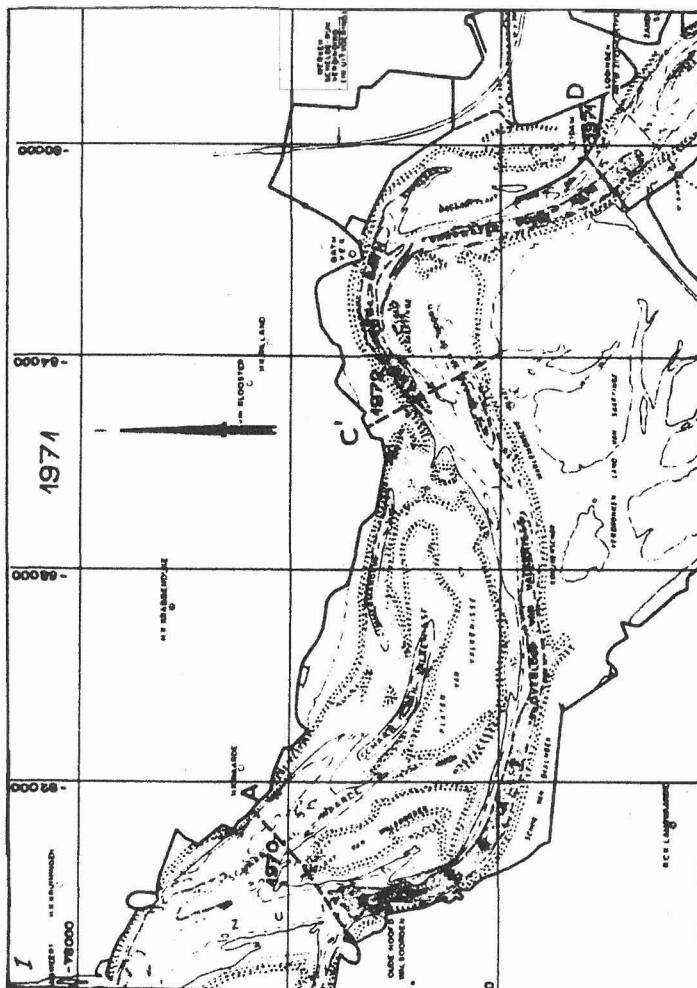
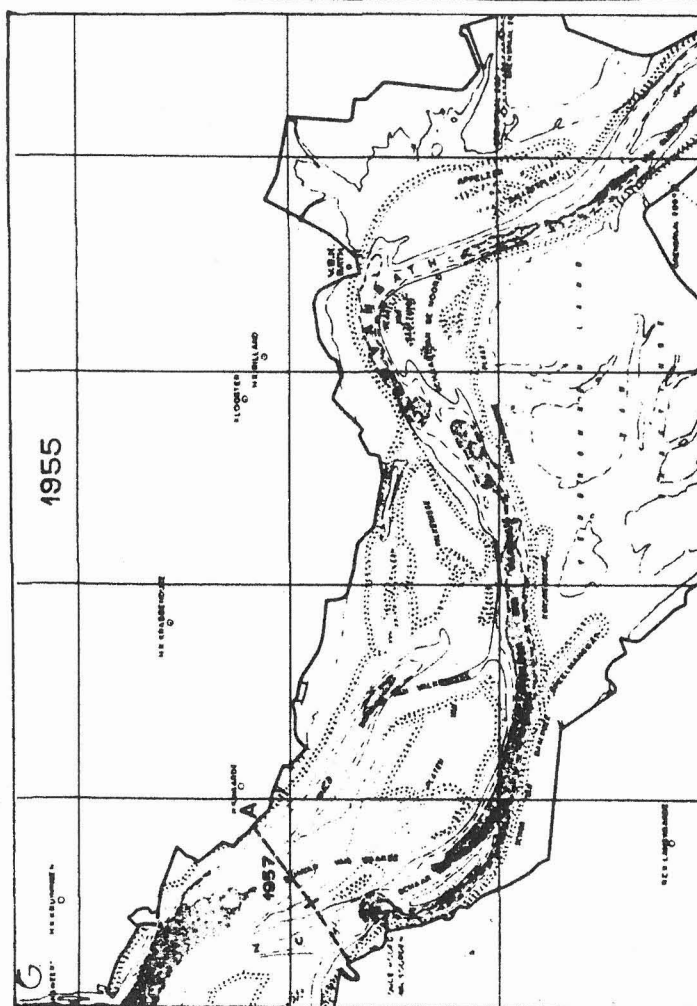


Fig. 3.1: vervolg.

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 onderhoudsbaggerwerk 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 stortlokaties.

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

DREMPEL	1905 1900	1901 1900	1902 1900	1903	1904	1905	1906	1908	1907	1909	1908	1907	1906	1905	1904	1903	1902	1901	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	DREMPEL
BORSSELE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BORSSELE	
PUT V. TERNEUZEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PUT V. TERNEUZEN	
BAARLAND	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	3.3	0.8	1.8	2.5	<0.1	2.8	1.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BAARLAND	
OVERLOOP HANSWEERT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OVERLOOP HANSWEERT		
HANSWEERT	3.8	3.5	6.7	1.0	1.1	0.6	0.8	0.7	0.5	0.4	0.8	0.6	3.3	2.1	1.9	3.8	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	1.8	1.3	0.3	0.8	1.9	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OVERLOOP VALKENISSE		
VALKENISSE	7.4	0.8	0.4	1.2	1.5	1.4	1.3	1.8	0.8	1.3	1.3	0.8	0.7	0.4	1.5	2.1	1.8	2.7	2.5	3.0	3.1	3.8	3.8	3.3	2.4	1.8	2.5	2.5	2.1	2.2	-	-	-	-	-	-	-	VALKENISSE		
BATH	22.0	8.0	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	2.9	2.8	3.0	1.5	2.2	2.2	1.8	1.4	2.1	5.4	3.8	-	-	-	-	-	-	-	BATH		
VAARW. BOVEN BATH	1.7	2.6	0.2	0.1	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VAARW. BOVEN BATH		
TOTAAL (+/-) NEDERLAND	40.8	18.8	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	13.8	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	1905 1900	1901 1900	1902 1900	1903	1904	1905	1906	1908	1907	1909	1908	1907	1906	1905	1904	1903	1902	1901	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	STORTPLAATS
SPUKERPL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SPUKERPL
VL. SCH. EVERINGEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VL. SCH. EVERINGEN
EB. SCH. EVERINGEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EB. SCH. EVERINGEN
RUG VAN BAARLAND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RUG VAN BAARLAND
GAT VAN OSSENISSE	<0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	GAT VAN OSSENISSE
MOLENPLAAT	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MOLENPLAAT
PLAAT V. OSSENISSE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PLAAT V. OSSENISSE
SCHAAR V. WAARDE	4.1	-	7.9	1.3	2.0	1.8	2.4	1.2	0.5	0.9	0.9	0.1	1.8	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	-	-	-	-	-	-	SCHAAR V. WAARDE	
WALSPOORDEN	1.8	-	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	WALSPOORDEN
ZIMMERMAN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZIMMERMAN
BOEI 83 (BAALHOEK)	-	-	<0.1	2.2	0.3	-	-	1.1	1.7	2.8	2.0	1.4	1.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BOEI 83 (BAALHOEK)
KONINGENSCOR	5.0	3.3	9.7	-	-	-	0.5	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KONINGENSCOR
PLAAT V. VALKENISSE	-	-	2.3	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PLAAT V. VALKENISSE
SCHAAR V. VALKENISSE	4.0	4.1	<0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SCHAAR V. VALKENISSE
SCHAAR V.D. NOORD	9.4	5.4	10.7	<0.1	1.9	3.4	2.7	0.8	-	<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	0.8	1.4	0.6	-	-	-	-	-	-	SCHAAR V.D. NOORD	
APPELZAK	0.5	3.3	4.7	0.7	0.5	-	-	0.1	0.4	1.9	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DIV. STORTPLAATSEN
TOTAAL (+/-) NEDERLAND	45.7	18.2	35.7	4.7	5.5	5.0	5.8	3.8	2.6	4.9	3.5	5.4	4.8	5.4	5.6	7.0	9.4	10.8	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 verdronken 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.

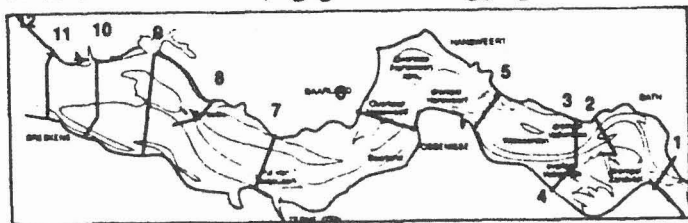


Fig. 4.2 Ligging van de debietraaien (Beleidsplan Westerschelde, 1989)

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 het
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.

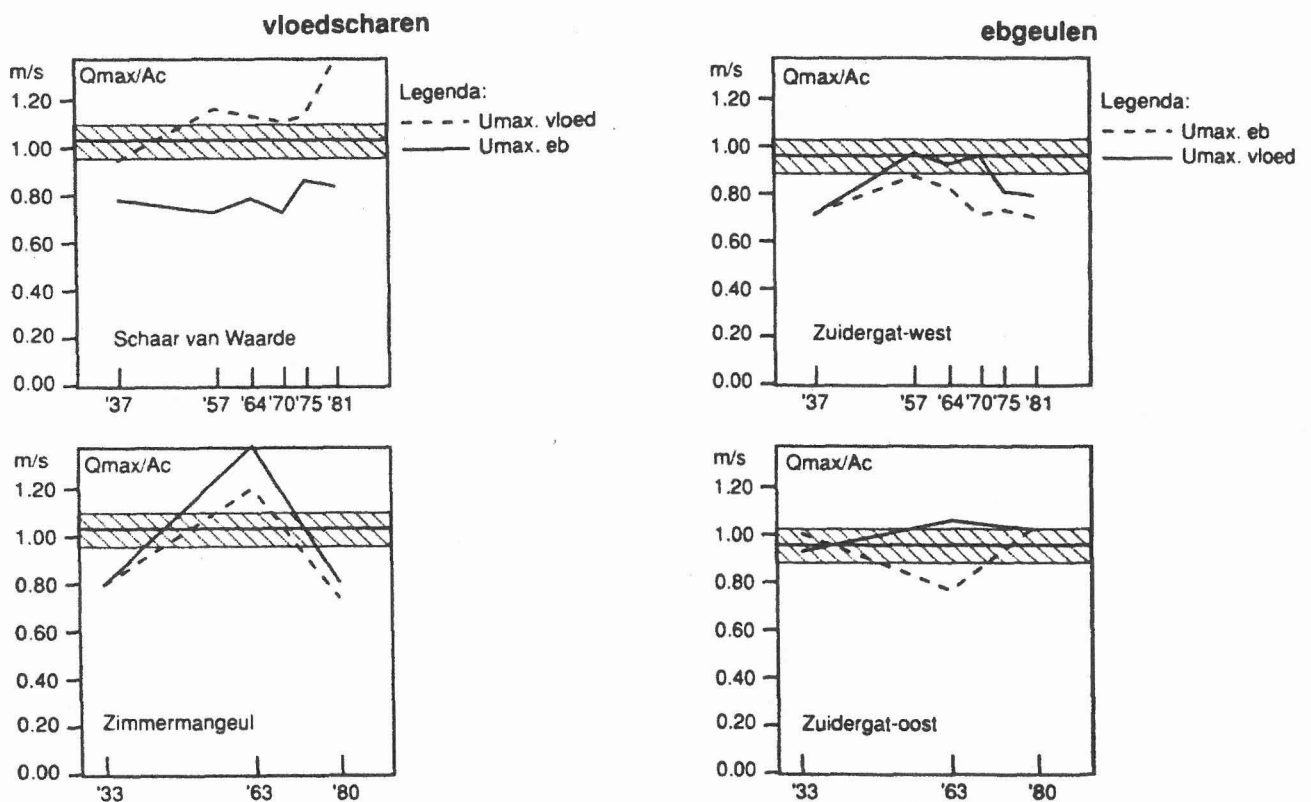


Fig. 4.3 Meerjarig verloop van de maximale stroomsnelheden in eb- en vloedgeulen (Beleidsplan Westerschelde, 1989)

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 doorstroomoppervlakten 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, echolodgingen, 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 echolodgingen 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 plaatopperlakken voor de verschillende jaren niet direct met elkaar worden vergeleken. De waterstanden zijn per opname vermeld in tabel 2.1.

*zijn deze kaarten basekeken met de
opnamen van Soerwaa?*

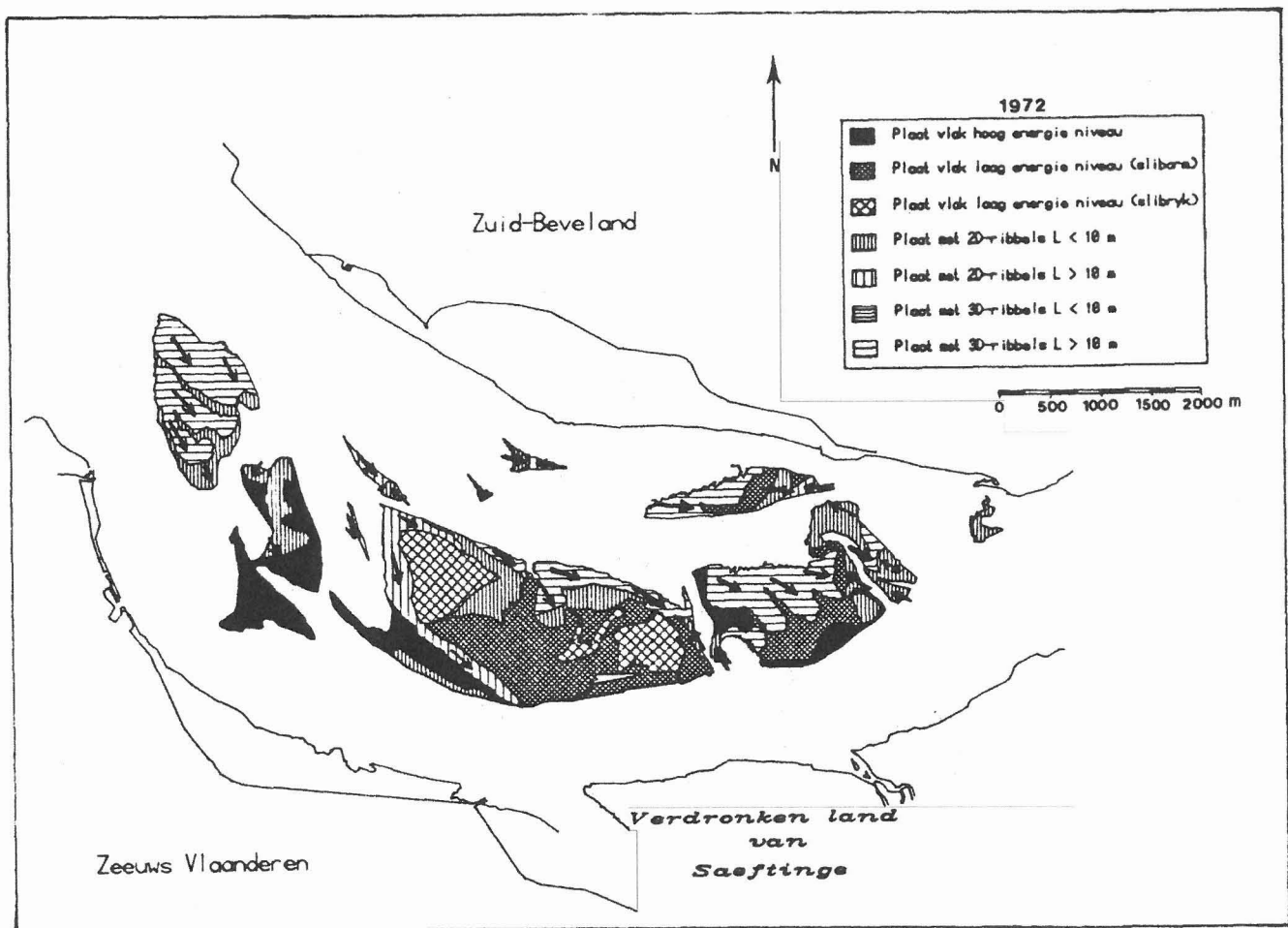


Fig. 4.4 Micromorfologische opnamen

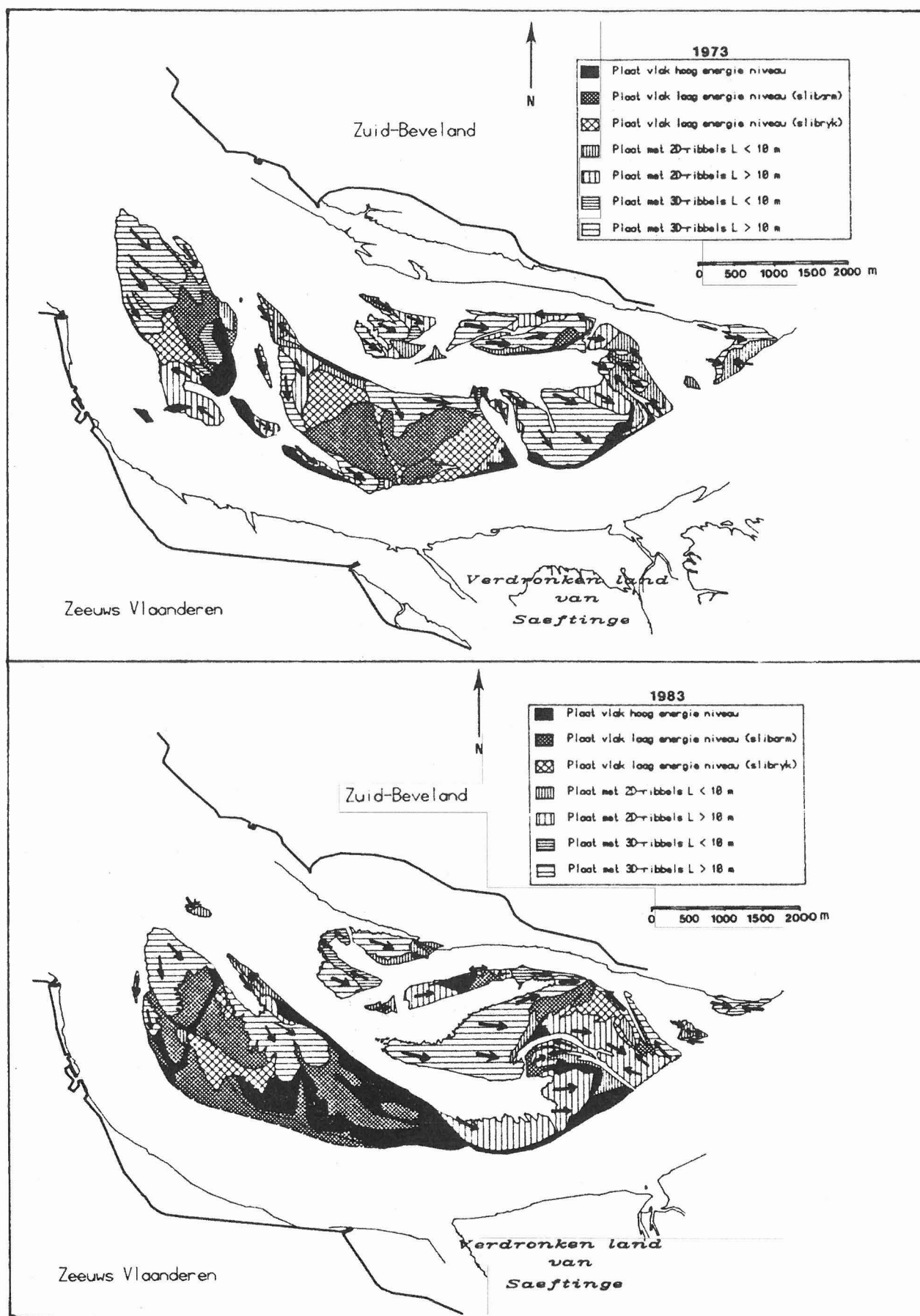


Fig. 4.4 Micromorfologische opnamen

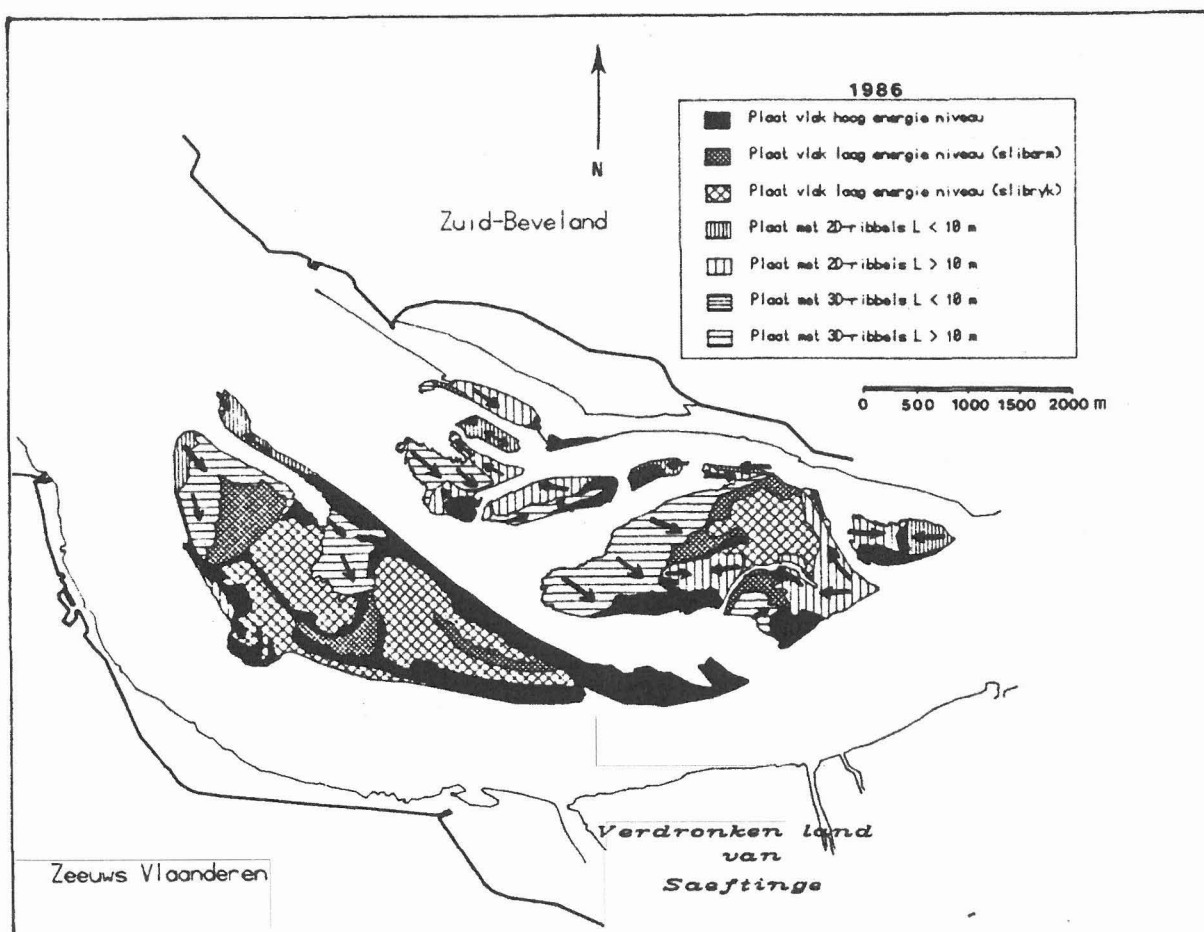


Fig. 4.4: vervolg.

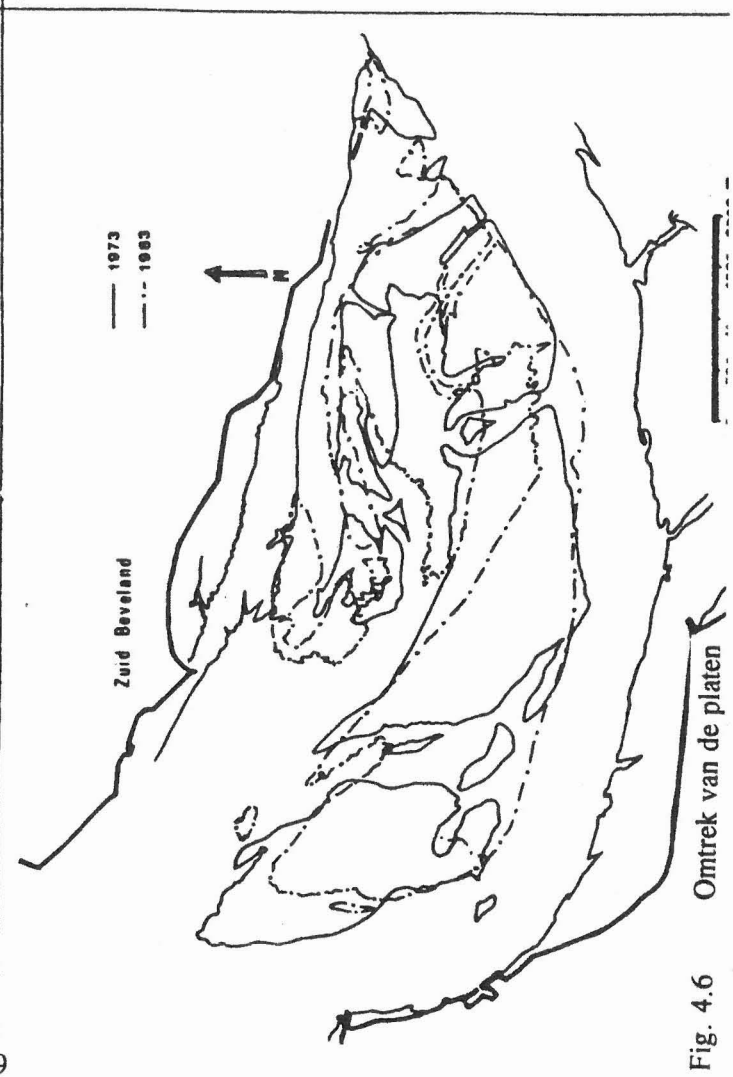
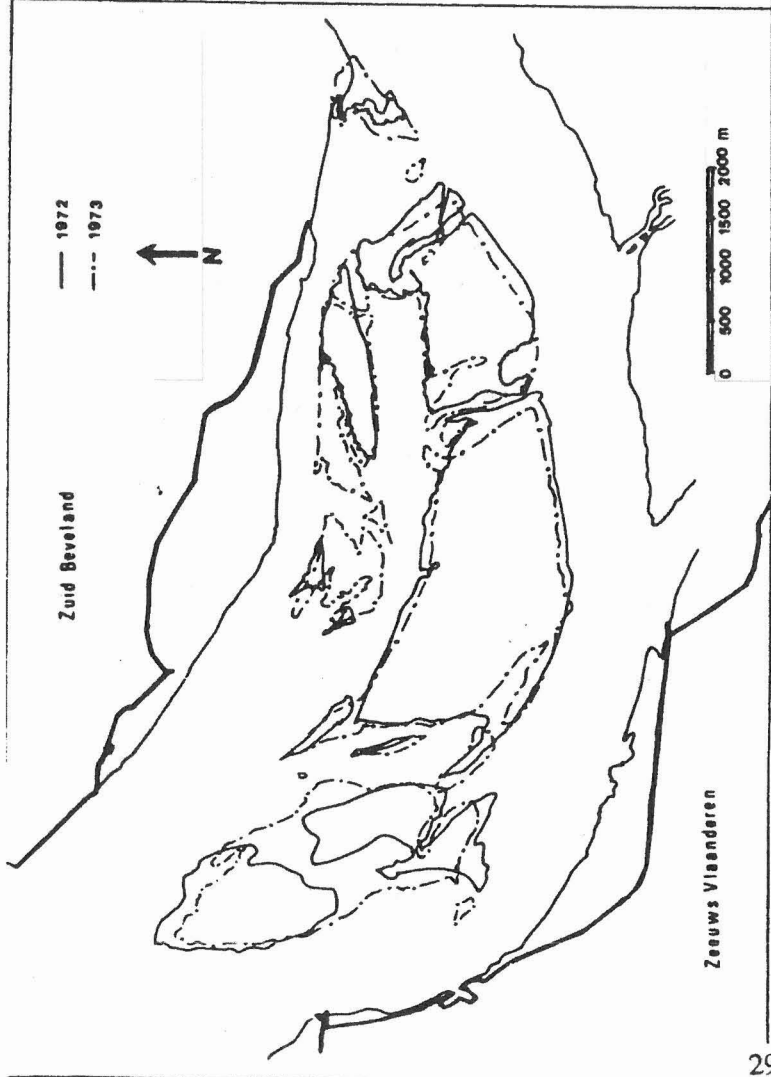
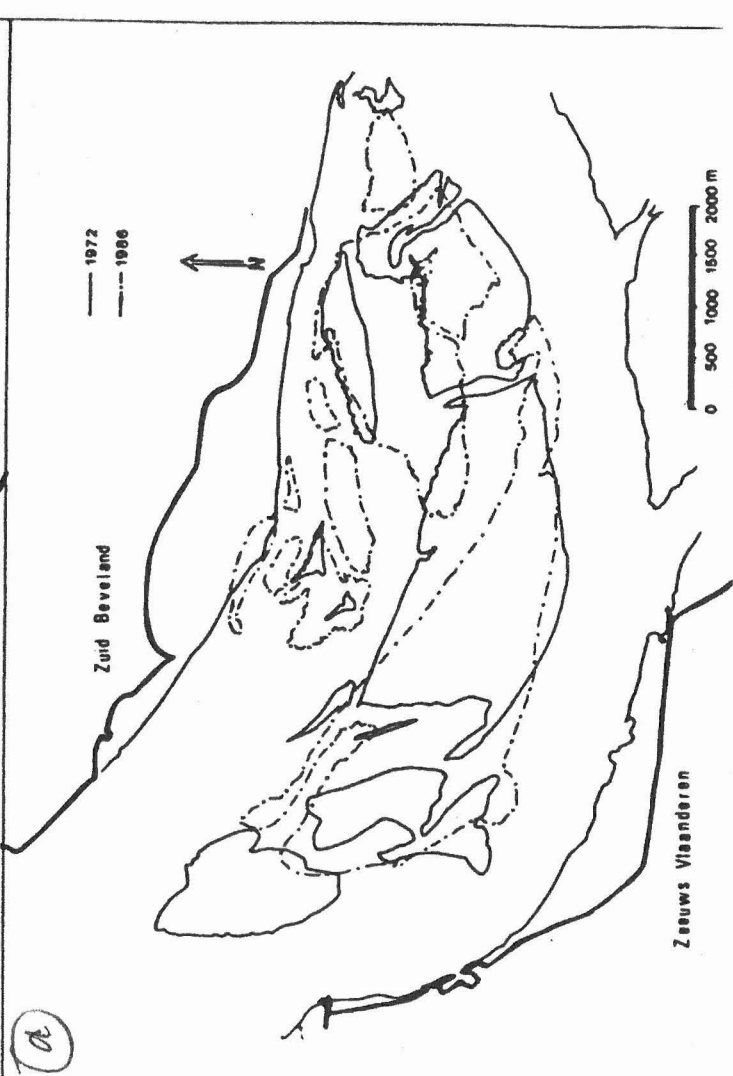
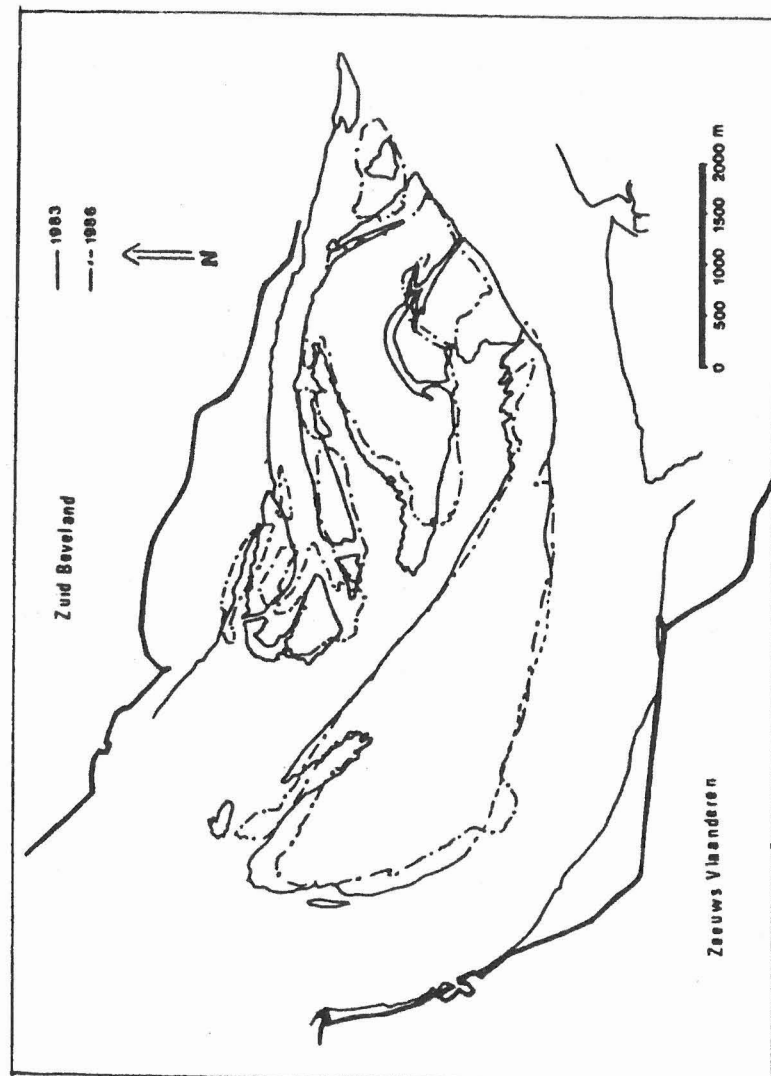


Fig. 4.6 Omtrek van de platen

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 hoogteraaen (fig. 4.7 en 4.8). Deze raaen zijn zo gekozen dat de dwarsraaen zoveel mogelijk loodrecht op de hoofdgeul liggen en de langsræaen zoveel mogelijk samenvallen met de lengterichting van de platen.

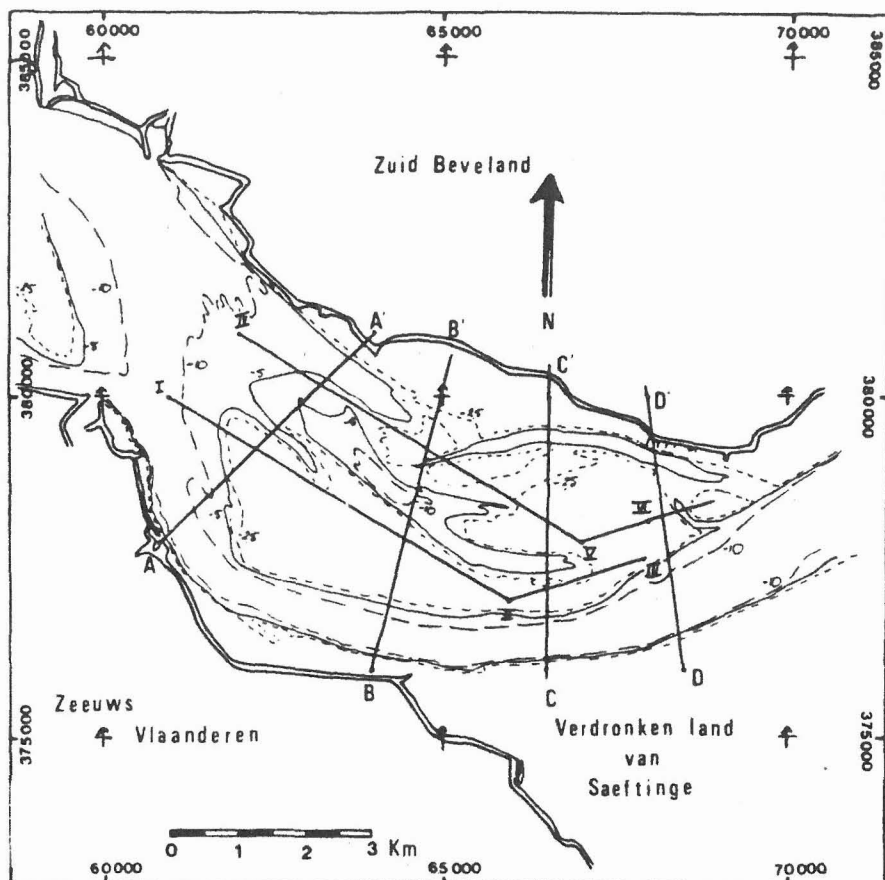


Fig. 4.7 Ligging van de hoogteraaien

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.

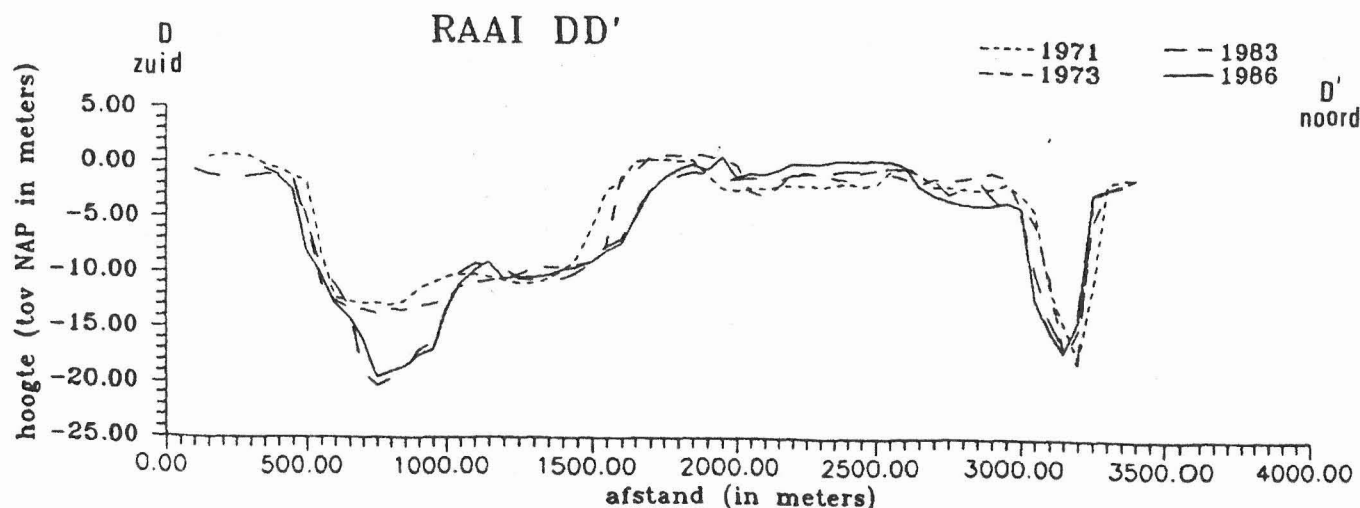
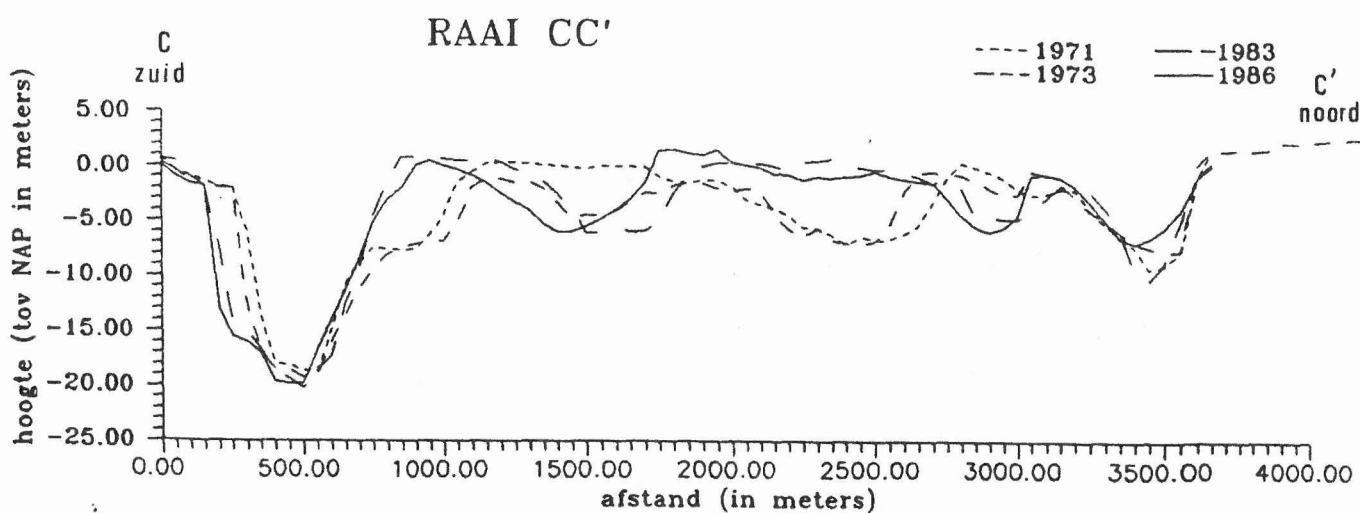
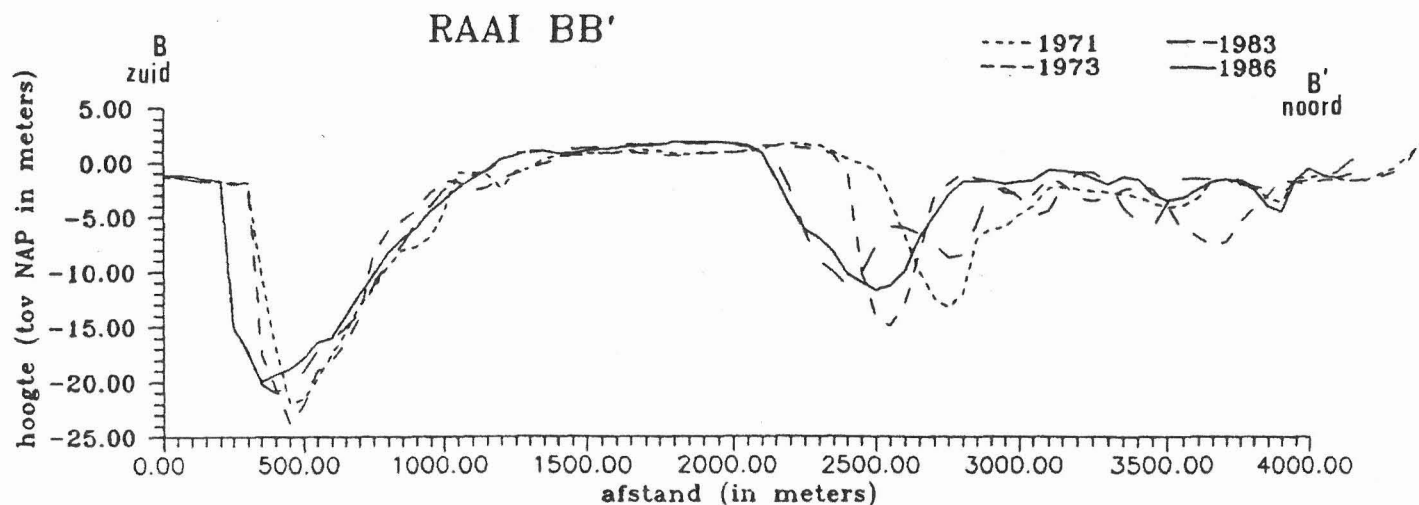
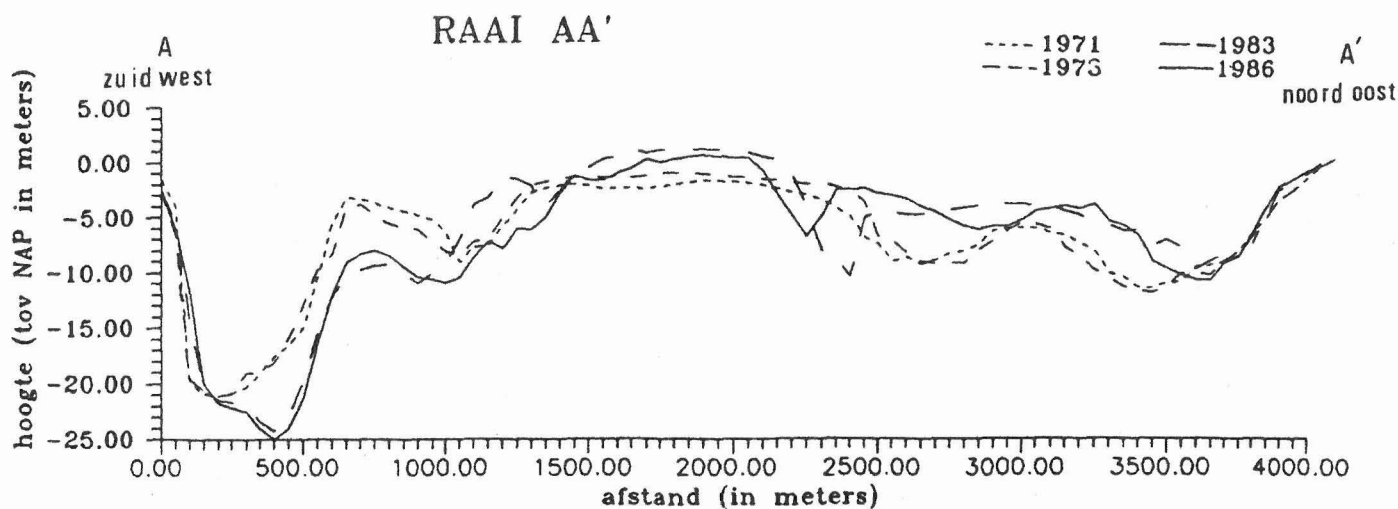


Fig. 4.8

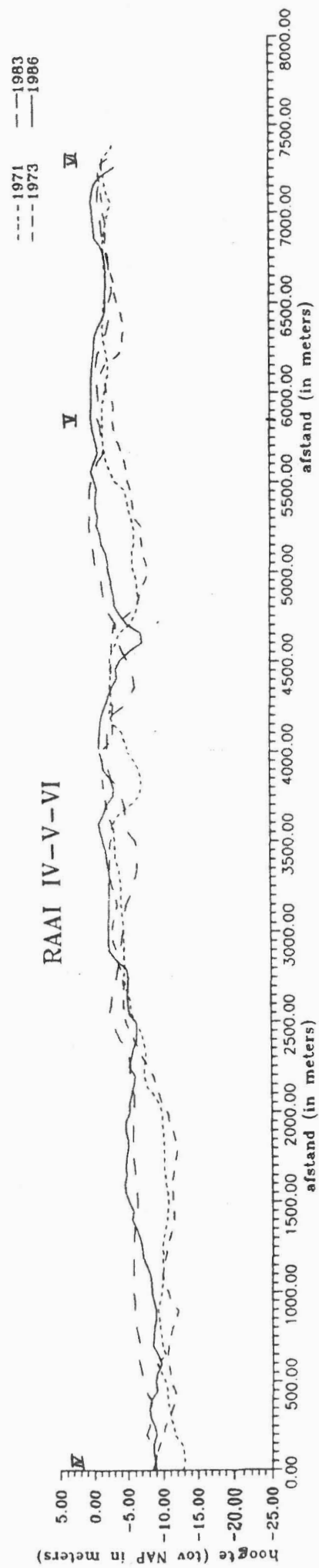
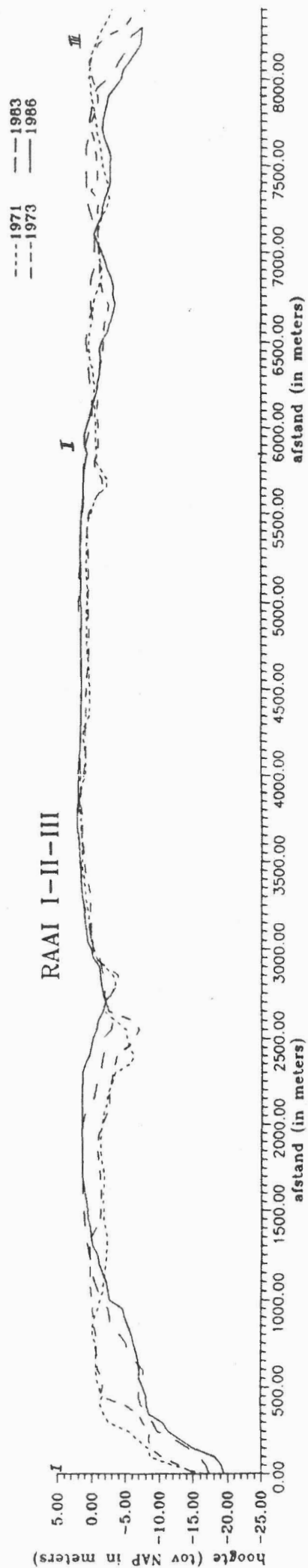


Fig. 4.8: vervolg.

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^2 . 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 ²)	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 Looft en van Malde, 1976). Veranderingen in getijverschil ten gevolge van de doottij/springtijcyclus 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.