

750A

ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN
MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN
OP DE BEREIKBAARHEID VAN
DE JACHTHAVEN VAN
SCHIERMONNIKOOG

M. van Doorne



ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN
MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN OP
DE BEREIKBAARHEID VAN DE
JACHTHAVEN VAN
SCHIERMONNIKOOG

door: M. van Doorne

Technische Universiteit Delft
faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

Delft, november 1988.

Voorwoord

In 1986 is contact gelegd tussen de gemeente Schiermonnikoog en de vakgroep Waterbouwkunde van de faculteit der Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Het ging hierbij om de mogelijkheid de door de gemeente gesignaleerde problemen met de jachthaven van het eiland nader te laten onderzoeken.

Het gevolg was dat in november 1987 gestart werd met een onderzoek in de vorm van een afstudeerproject. In dit verslag worden de resultaten hiervan samengevat.

De begeleiding van het afstudeerproject werd verzorgd door dr.ir. J van de Graaff, die ik zeer erkentelijk ben voor z'n inspanningen ten behoeve van het onderzoek.

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding.....	1
2.	Samenvatting.....	2
3.	Probleemanalyse.....	4
3.1	Probleemstelling.....	4
3.2	Doelstelling.....	4
3.3	Uitgangspunten.....	5
3.4	Randvoorwaarden.....	5
4.	Geschiedenis Westpunt.....	6
5.	Situatieschets.....	8
5.1	Inleiding.....	8
5.2	De Haven.....	8
5.3	Het Geulensstelsel.....	9
5.4	Het Rif.....	10
6.	Inleiding Onderzoek.....	11
7.	Overzichtsdoorsneden.....	12
7.1	Vastleggen van de Doorsneden.....	12
7.2	Bespreking Resultaat.....	12
8.	Verplaatsing van het Rif.....	15
8.1	Verplaatsing G.H.W.- en N.A.P.lijn.....	15
8.2	Bespreking Resultaat.....	16
8.3	Detail N.A.P.-lijn.....	18
8.4	Bespreking Resultaat N.A.P.-lijn Detail.....	18
9.	Kombergingsbeschouwing.....	20
9.1	Inleiding Komberging.....	20
9.2	Het Kombergingsoppervlak.....	24
9.2.1	Vastleggen Gebiedsbegrenzungen.....	24
9.2.2	Oppervlakteberekening.....	25
9.2.3	Bespreking Resultaat.....	25
9.3	Het Kombergingsvolume.....	27
9.3.1	Berekening Kombergingsvolume.....	27
9.3.2	Bespreking Resultaat.....	27
9.4	Het Geul-doorstroomoppervlak.....	29
9.4.1	Plaatsbepaling Doorsneden.....	29
9.4.2	Berekening Doorstroomoppervlak.....	29
9.4.3	Bespreking Resultaat.....	30
9.5	De Stroomsnelheden.....	35
9.5.1	Berekening Gem. Karakteristieke Stroomsnelheid.....	35

9.5.2	Bespreking Resultaat Gem. Karak. Stroomsnelheid.....	35
9.5.3	Gemiddelde Stroomsnelheid bij Verschillende Waterstanden.....	36
9.5.4	Bestreking Resultaat snelheidsberekening.....	39
9.6	De Aanzanding van het Stroomgebied.....	42
9.6.1	Inleiding.....	42
9.6.2	Sedimentatie-berekening.....	42
9.6.3	Bespreking Resultaat.....	44
9.6.4	Aanslibbing van de haven.....	45
10.	Conclusies	47
11.	Toekomstverwachting.....	50
11.1	Inleiding.....	50
11.2	Verwachtingen.....	50
12.	Enkele aanbevelingen.....	53
	Literatuur	

BIJLAGEN: zie apart deel.

1. Inleiding

Dit afstudeerverslag handelt over de levensvatbaarheid van de jachthaven van Schiermonnikoog op de huidige lokatie. De jachthaven ligt aan de zuidwest-zijde van het eiland en is per boot te bereiken via de Piebe; een kleine geul die grotendeels droogvalt bij Laagwater. Enkele veranderingen in het gebied rond de haven doen vermoeden dat de bereikbaarheid van de haven mogelijk in gevaar zal komen.

In dit onderzoek zal dan ook worden nagegaan of de jachthaven inderdaad wordt bedreigd.

Het is hiervoor allereerst nodig inzicht te krijgen in de veranderingen in het gebied, het stroomgebied van de Piebe.

Vervolgens zal worden onderzocht of de veranderingen in het gebied met elkaar in verband te brengen zijn door na te gaan of het gebied beschouwd kan worden als een systeem, waarbinnen tussen de veranderingen een vaste relatie bestaat. Tevens zal worden getracht de oorzaken van de veranderingen op te sporen.

Mocht blijken dat het stroomgebied van de Piebe opgevat kan worden als een systeem met vaste relaties tussen de veranderingen dan kan, wanneer de oorzaken hiervan bekend zijn, een redelijke uitspraak worden gedaan over de verdere ontwikkeling van het gebied en de toekomstige positie van de jachthaven hierin.

Blijkt dat de veranderingen niet teruggevoerd kunnen worden op een duidelijke samenhang, dan zal getracht worden uit het verloop van de veranderingen, en de oorzaken hiervan, aan te geven met welke verdere veranderingen van het gebied rekening moet worden gehouden en hoe de bereikbaarheid van de jachthaven hierdoor zal worden beïnvloed.

Tevens zullen, wanneer de positie van de haven gevaar loopt, enkele mogelijkheden worden onderzocht om de situatie te verbeteren.

2. Samenvatting

Omdat de gemeente enkele veranderingen signaleerde in het stroomgebied van de Piebe, de kleine grotendeels droogvallende geul die rond het tijdstip van Hoogwater gevolgd moet worden om de jachthaven te bereiken, is onderzoek gedaan naar de morfologische processen in het stroomgebied van de Piebe. Dit onderzoek had tot doel na te gaan in hoeverre de morfologische processen de bereikbaarheid, en daarmee de levensvatbaarheid, van de jachthaven in de toekomst zullen beïnvloeden.

Uit een eerste verkenning van het stroomgebied en de geul bleek dat deze sinds 1955 sterk zijn veranderd; het stroomgebied en de geul zijn kleiner en ondieper geworden.

Vervolgens is onderzocht of de veranderingen van de geul en het stroomgebied met elkaar in verband gebracht konden worden door het vergelijken van de veranderingen van het kombergingsvolume met die van het doorstroomoppervlak van de geul, en of deze veranderingen wijzen op het streven naar een constante gemiddelde snelheid in de geul. Hiervoor moest het stroomgebied worden afgebakend en zijn het kombergingsoppervlak, het kombergingsvolume en het doorstroomoppervlak van de geul bepaald. Het bleek dat deze alle drie zeer sterk zijn afgenomen in de loop der tijd.

De berekening van de gemiddelde stroomsnelheden maakte duidelijk dat deze sinds 1955 zijn toegenomen hetgeen overeen komt met de sterkere afname van het doorstroomoppervlak in verhouding met de afname van het kombergingsvolume.

Uitgaande van het kombergingsvolume is een berekening gemaakt van de sedimentatie van het stroomgebied. Deze bleek in de beschouwde periode een praktisch constant verloop te hebben van $\approx 67000 \text{ m}^3/\text{jaar}$

Deze sedimentatie zal het kombergingsvolume verder doen afnemen en daarmee zal ook de geul verder verkleinen.

Voor de jachthaven betekent dit dat de bereikbaarheid de komende jaren zal verslechteren hetgeen als eerste

merkbaar zal zijn aan de afnemende diepte voor de kop van de haven.

Hoelang de processen zullen voortduren is niet te zeggen. De huidige snelheid van de veranderingen maakt duidelijk dat de komende vijf tot tien jaar de situatie hoogst waarschijnlijk verder zal verslechteren. Over de situatie op de langere termijn is geen duidelijkheid te geven.

3. Probleemanalyse

3.1 Probleemstelling

De jachthaven van Schiermonnikoog is voor het eiland van groot economisch belang omdat deze op loopafstand van het dorp ligt waardoor de havenbezoekers gemakkelijk het dorp kunnen bezoeken. Hierdoor vormen zij voor het dorp voor een belangrijke bron van inkomsten. Vandaar dat de gemeente de staat van onderhoud en het voorzieningen-niveau van de haven op een hoger peil wil brengen.

Begin 1987 is hier reeds mee begonnen door een uitbreiding van de havenkom, een nieuwe haveninrichting en een verbetering van de sanitaire voorzieningen. Een verdere modernisering zal uiteraard gepaard gaan met nieuwe investeringen en hogere onderhoudskosten.

Voordat hiertoe wordt overgegaan wil de gemeente graag een duidelijker beeld hebben van een aantal mogelijke bedreigingen van de haven.

Ten eerste is dat de feitelijke constatering dat de zandplaat, het Rif, aan de zuid-westkant van het eiland zich aan de wadkant in oostelijke richting uitbreidt, dus richting jachthaven.

Voorts bestaat er de indruk dat het omliggende wad aanslibt.

Daarnaast is er het jaarlijks baggeren om de havenkom op diepte te houden.

Voor de langere termijnplanning van de jachthaven is het van belang te weten of de bovengenoemde factoren het voortbestaan van de jachthaven op de huidige lokatie in gevaar zullen brengen.

3.2 Doelstelling

Dit onderzoek zal zich richten op de gedragingen van het stroomgebied van de Piebe. Dit stroomgebied bestaat uit de oostzijde van het Rif, de geul de Piebe en het omliggende wad. Getracht zal worden de gedragingen hiervan in

kaart te brengen en te verklaren zodat een voorspelling kan worden gedaan omtrent de levensvatbaarheid van de jachthaven op de huidige lokatie.

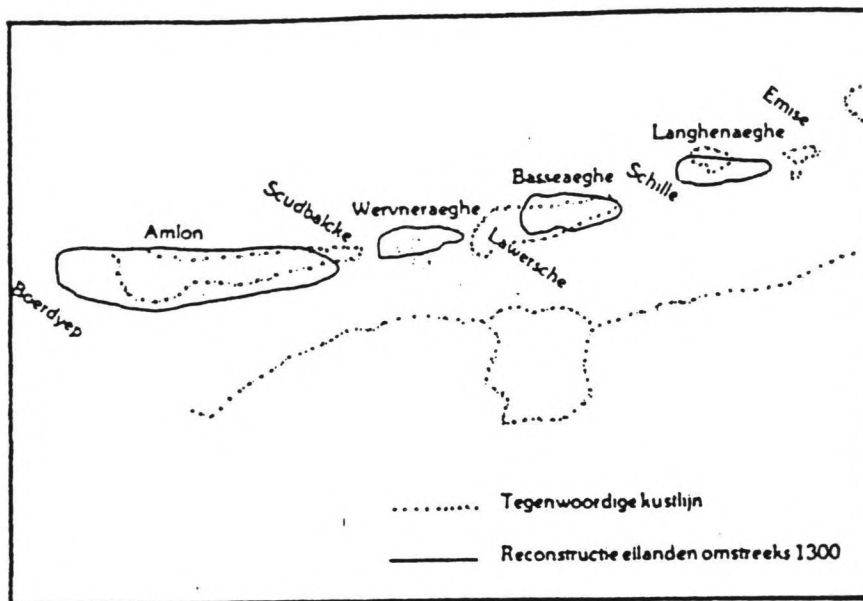
3.3 Uitgangspunten

De Piebe en het omliggende wad ter plaatse van de jachthaven van Schiermonnikoog maken deel uit van het gehele kombergingsgebied van het Friesche Zeegat. Dit betekent dat er een onderlinge samenhang bestaat tussen de gebiedsdelen; veranderingen in het ene deel zullen gevolgen hebben voor de andere gebiedsdelen.

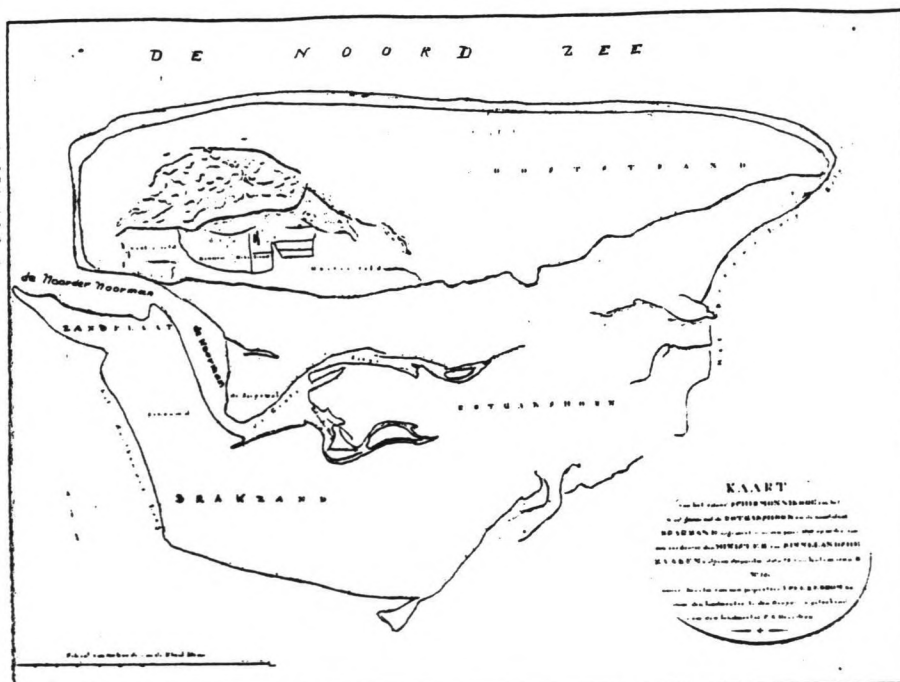
Het kader van deze studie laat echter niet toe het gehele kombergingsgebied bij het onderzoek te betrekken. Er is dan ook gekozen om de gedragingen van het in de doelstelling genoemde gebied voorop te stellen in het onderzoek. Uiteraard zal bij de verklaring van de gedragingen wel rekening worden gehouden met de processen en veranderingen in het totale gebied.

3.4 Randvoorwaarden

Het onderzoek zal moeten geschieden met resultaten van metingen die voorhanden zijn, daar de beschikbare financiële middelen niet toereikend zijn voor het verrichten van verdere uitgebreide metingen in het betreffende gebied.



Figuur 1:
Ligging van de eilanden
omstreeks 1300.



Kaart van Den Berger uit 1809.

Figuur 2:
Ligging van de geulen en platen
omstreeks 1809.

4. Geschiedenis Westpunt

(Samenvatting van Reitsma en Bakker, 1986)

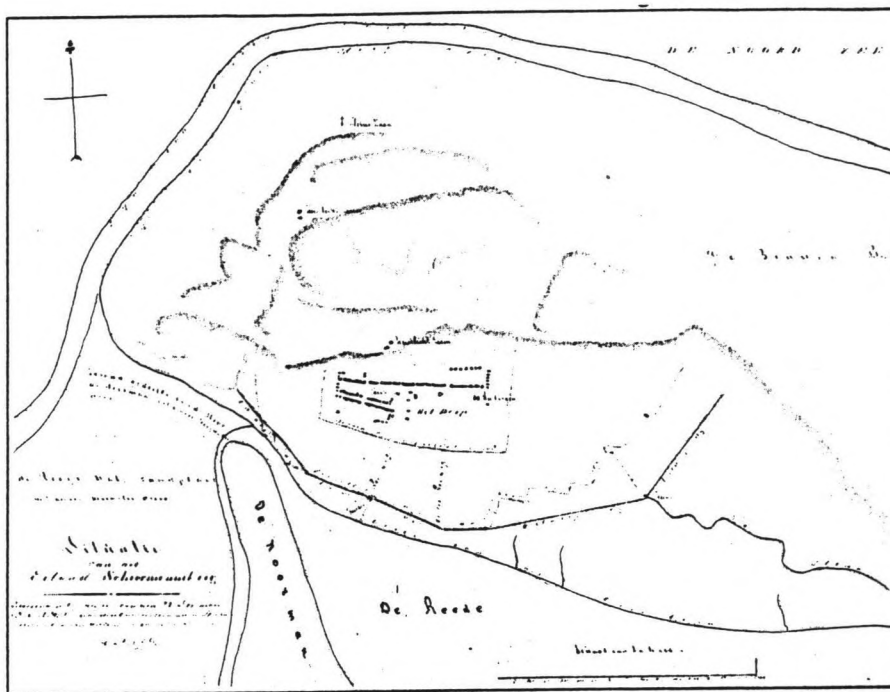
Schiermonnikoog heeft zijn naam te danken aan de grijze monniken van de Cisterciënzer orde (schier= grijs, oog= eiland).

Toch zijn deze monniken hoogst waarschijnlijk niet de eerste bewoners van het eiland geweest gezien de oudere naam Werveroog (Wervneraeghe of Warveroe) welke voorkomt in een geschrift uit ca. 1300.

De aanduidingen hierin omtrent de ligging van het eiland en de resultaten van meer recente grondboringen, verricht voor de aanleg van de afsluitdijk van de Lauwerszee, doen sterk vermoeden dat de westpunt van het eiland Werveroog rond 1300 5 à 6 kilometer westelijk van de huidige westpunt lag. (zie figuur 1)

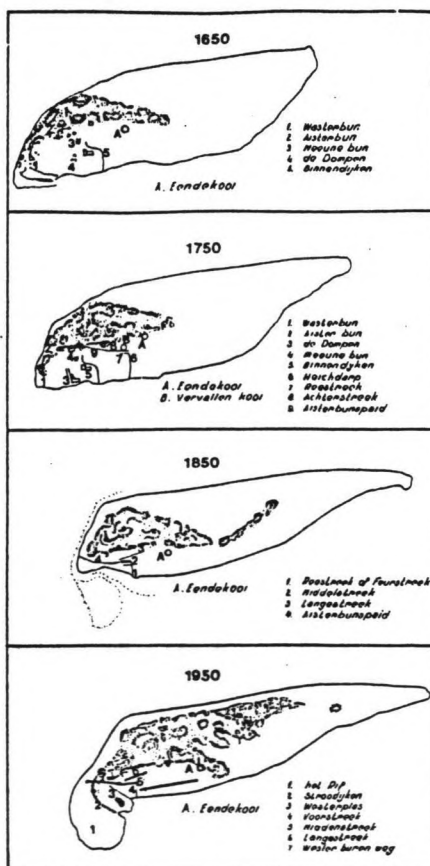
Een doorbraak van het wantij van Werveroog in de eerste helft van de veertiende eeuw is zeer waarschijnlijk de aanleiding geweest tot het verplaatsen van de westpunt van het eiland. Door deze doorbraak veranderde het kombergingsgebied van het zeegat tussen Amlon (nu Ameland) en Werveroog. De natuur ging op zoek naar een nieuw evenwicht met een uitbreiding van het zeegat naar het oosten, hetgeen Werveroog veel landverlies opleverde. De afslag van de westpunt bedroeg gemiddeld 10 à 15 meter per jaar in de periode van ca. 1350 tot ca. 1560. Van ca. 1560 tot 1920 is de westpunt van het eiland gemiddeld 7 meter per jaar naar het oosten verschoven. (zie figuur 4)

Deze verplaatsing van de westpunt van Schiermonnikoog verliep niet geleidelijk maar schoksgewijs. Dit heeft te maken met het periodiek verhelen van zandplaten aan de kust van zowel de binnen- als buitendelta. Deze delta's, bestaande uit zandplaten doorsneden door stroomgeulen, zijn ontstaan door de eb- en vloedstroming die grote hoeveelheden materiaal door het zeegat transporteren. Omdat de eb- en vloedstroming een resultante heeft in oostelijke richting "wandelen" de zandplaten ook in oostelijke richting. Vlak voor het verhelen vindt eerst



Figuur 3

Kaart van Bolten uit 1856. De Noorder Noorman is inmiddels verzand. Het ontwerp-tracé voor de nieuwe dijk, die in 1860 aangelegd zou worden is al aangegeven. Deze dijk zou veel zuid-oostelijker aansluiten bij de Kooiduinen en daarmee een veel groter deel van de kwelder inpolderen



Figuur 4

Samenvatting van de verplaatsing van Schiermonnikoog sedert 1650 met verschillende in de tekst genoemde aanduidingen. De kaartjes zijn in de juiste positie ten opzichte van elkaar getekend, zodat de lezer met een liniaal de plaats van vroegere aanduidingen op het huidige eiland kan projecteren

uitschuring plaats van de resterende geul tussen zandbank en kust, dan wel andere bank. Dit gaat gepaard met zandverlies van de kust en/of bank.

Door afsluitingen en bedijkingen in het Lauwerszeegebied werd het kombergingsgebied, en dus de eb- en vloedstroming kleiner, waardoor bezinking van grof materiaal zorgde voor het naar elkaar toe schuiven van de binnen- en buitendelta. Het gevolg hiervan was dat de Noorder Noorman vlak onder de zuid-westpunt van het eiland kwam te lopen en veel stukken duin en kwelder verloren deed gaan. (zie figuur 2)

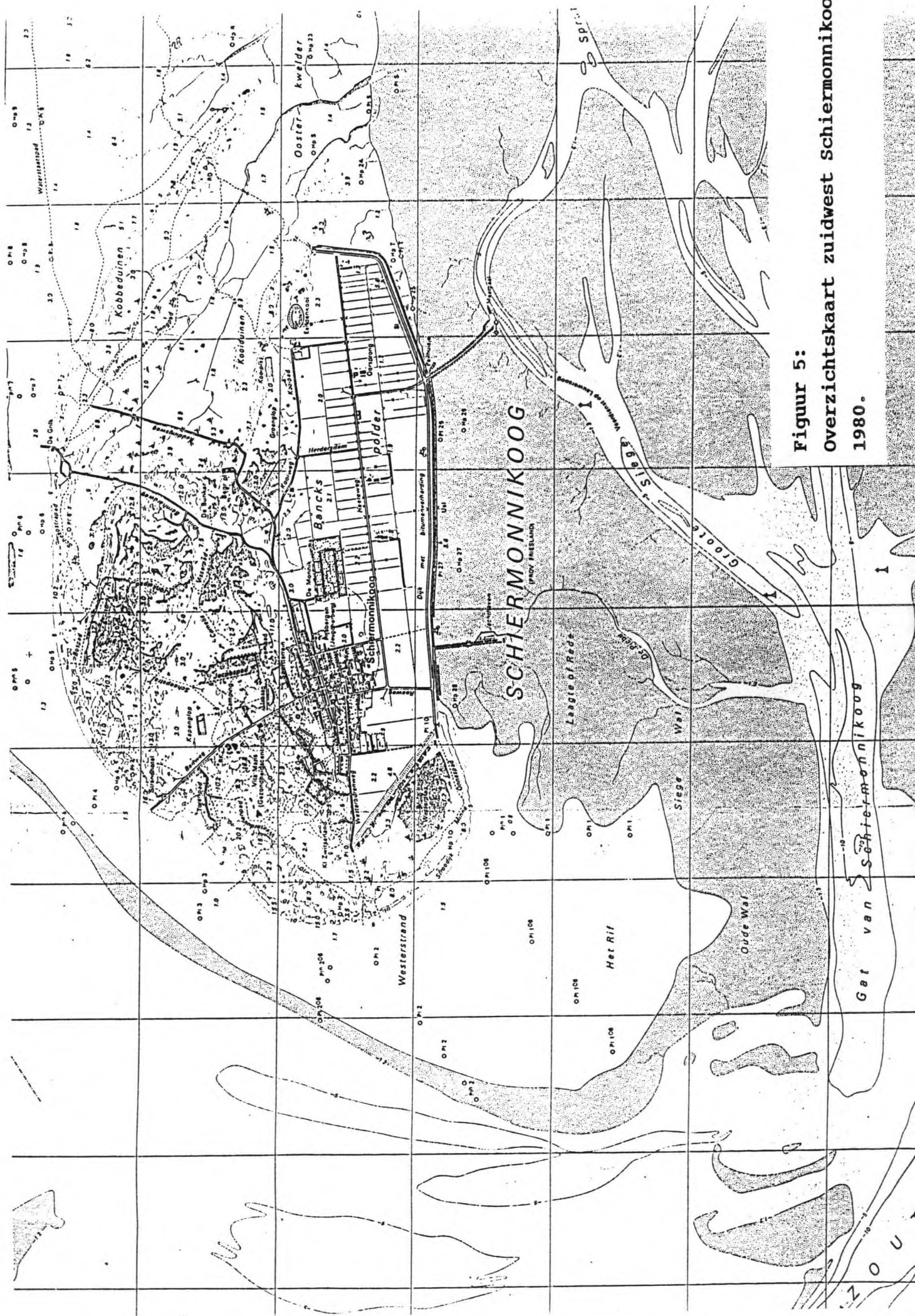
Verhelen van zandplaten heeft de Noorder Noorman echter doen verzanden en zo ontstond het huidige Rif in de jaren 1825-1840. (zie figuur 3) Nadien zijn nog enkele platen met het Rif verheeld welke gezamenlijk voldoende zand leverden om een stuifdijk tot ontwikkeling te brengen met als basis materiaal stroo. Achter deze z.g. Stroodijken ontstond zo een beschut gebied dat opslibde; de latere Westerkwelder. De kwelder is in 1963 afgedamd waardoor deze niet meer in verbinding stond met het wad hetgeen de geboorte van de Westerplas betekende.

De totale afsluiting van de Lauwerszee in 1969 betekende opnieuw een belangrijke vermindering van het kombergingsoppervlak en het kombergingsvolume wat gevolgen moest hebben voor het gebied en het zeegat.

Eén daarvan was een snelle verondieping van de Zoutkamperlaag die de voedende geul van de Lauwerszee was.

De reactie van de oostelijke buitendelta is op het ogenblik goed waarneembaar. Voor de westpunt van Schiermonnikoog zijn enkele zandbanken in snel tempo aangegroeid tot platen die reeds een niveau van N.A.P. + 1 m. hebben bereikt.

Ook aan de westkant van het Rif zijn geulen en banken zich aan het aanpassen aan de nieuwe omstandigheden. De snelheid van deze processen is echter zodanig klein dat nu, 19 jaar na de afsluiting, nog lang geen sprake is van een nieuwe evenwichtssituatie.



Figuur 5:
Overzichtskaart zuidwest Schiermonnikoog
1980.

5. Situatieschets

5.1 Inleiding

Schiermonnikoog is bereikbaar per veer vanuit Lauwersoog, een tochtje van ca. drie kwartier dat eindigt aan de nieuwe aanlegsteiger daterend uit 1962. Vóór die tijd kwam men aan bij een westelijk gelegen veerdam, in de luwte van het Rif. De geul daar naar toe viel echter droog bij laagwater en was dermate klein dat voor een betere bereikbaarheid van het eiland de bouw van de nieuwe aanlegsteiger noodzakelijk was. De lokatie hiervoor werd zo gekozen dat de veerschepen gebruik kunnen maken van de Groote Siege welke niet droogvalt. Toch blijkt ook in de Groote Siege af en toe enig baggerwerk nodig te zijn om het veer onbelemmerd door de geul te kunnen laten varen.

Aldus bleef de oude veerdam ongebruikt achter en werden plannen gemaakt om er een jachthaven aan te leggen. De plannen werden gerealiseerd en sinds 1971 bezit het eiland een jachthaven ten behoeve van de recreatievaart en boten van de eilandbewoners. (zie Figuur 5)

5.2 De Haven

De jachthaven ligt tegen de oostzijde van de oude veerdam. Naast de veerdam heeft de havenkom als begrenzingen een vaste steiger aan de noordzijde en een rijdsdam aan de oostzijde.

De vaste steiger is aangelegd bij de vergroting van de havenkom in 1987. Bij deze vergroting is het komoppervlak door een lengte-uitbreiding met de helft vergroot tot ca. 14.000 m² en is de toegangsgeul versmald. Tevens is de haveninrichting veranderd en zijn in de kom nieuwe drijvende steigers aangelegd.

In de winterperiode worden de drijvende steigers verwijderd om schade te voorkomen en de kom vrij te maken voor

Figuur 6: De jachthaven.



het jaarlijks baggerwerk.

Dit baggerwerk bestaat uit het op diepte brengen van de kom tot ca. N.A.P. -2 m. zodat schepen bij laagwater (ca. N.A.P. -1.2 m.) niet zullen droogvallen. De baggerspecie bestaat uit zand, slib en klei waarbij de klei afkomstig is uit het achterste gedeelte van de kom. Deze specie wordt sinds de uitbreiding opgespoten achter de haven, langs de veerdam om een recreatieveld aan te leggen.

De rijdsdam bestaat uit een dubbele palenrij waartussen, naast rijshout, een kunststof doek is aangebracht. Bij hoogwater komen de koppen van de palen nog net boven water uit. Aan de buitenzijde van de rijdsdam ligt het wad op een hoogte van enkele decimeters onder de bovenrand van het kunststof doek.

De kop van de oude veerdam was vroeger de aanlegplaats van het veer en wordt nu gebruikt als aanlegplaats voor schepen die vanwege hun grootte de haven niet binnen kunnen lopen. (zie Figuur 6)

De staat van onderhoud van zowel deze kop als van de rijdsdam is slecht.

5.3 Het Geulenstelsel

Om de jachthaven van Schiermonnikoog te bereiken per boot moet men vanaf de Zoutkamperlaag via het Gat van Schiermonnikoog de Piebe invaren. Op de Zoutkamperlaag komen twee geulen uit; de Groote Siege die de verbinding vormt met de nieuwe aanlegsteiger en de Piebe die zoals gezegd naar de jachthaven loopt.

De Piebe loopt door tot op het wad en valt bij laagwater gedeeltelijk droog. Hierdoor is de jachthaven alleen bij hoogwater bereikbaar voor schepen met een diepgang tot maximaal 1.20 meter. Het gebied dat gevoed wordt door de Piebe ligt tussen de Groote Siege en het Rif. De relatief hooggelegen Laagte of Rede zorgt ervoor dat enkele prielen al westelijk van de oude veerdam samenkomen bij de kop van de dam zodat reeds daar sprake is van een



Figuur 7: Luchtfoto Schiermonnikoog.

geul, zij het een zeer kleine.

5.4 Het Rif

Het Rif is gelegen tegen de zuid-westzijde van het eiland en is ontstaan door het verhelen van een aantal zandbanken. Bij gemiddeld hoogwater ligt het gedeeltelijk onderwater. Het Rif bestaat uit fijn zand waar de wind een goede grip op heeft waardoor het gemakkelijk stuift.

(zie Figuur 7)

6. Inleiding Onderzoek

Om de gedragingen van het gebied rond de jachthaven in kaart te brengen is een aantal methoden gehanteerd. Bij de meeste wordt gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van lodingskaarten; kaarten met de resultaten van dieptepeilingen in het betreffende gebied. Omdat we geïnteresseerd zijn in de eventuele veranderingen in de loop der tijd zijn lodingskaarten uit verschillende jaren gebruikt.

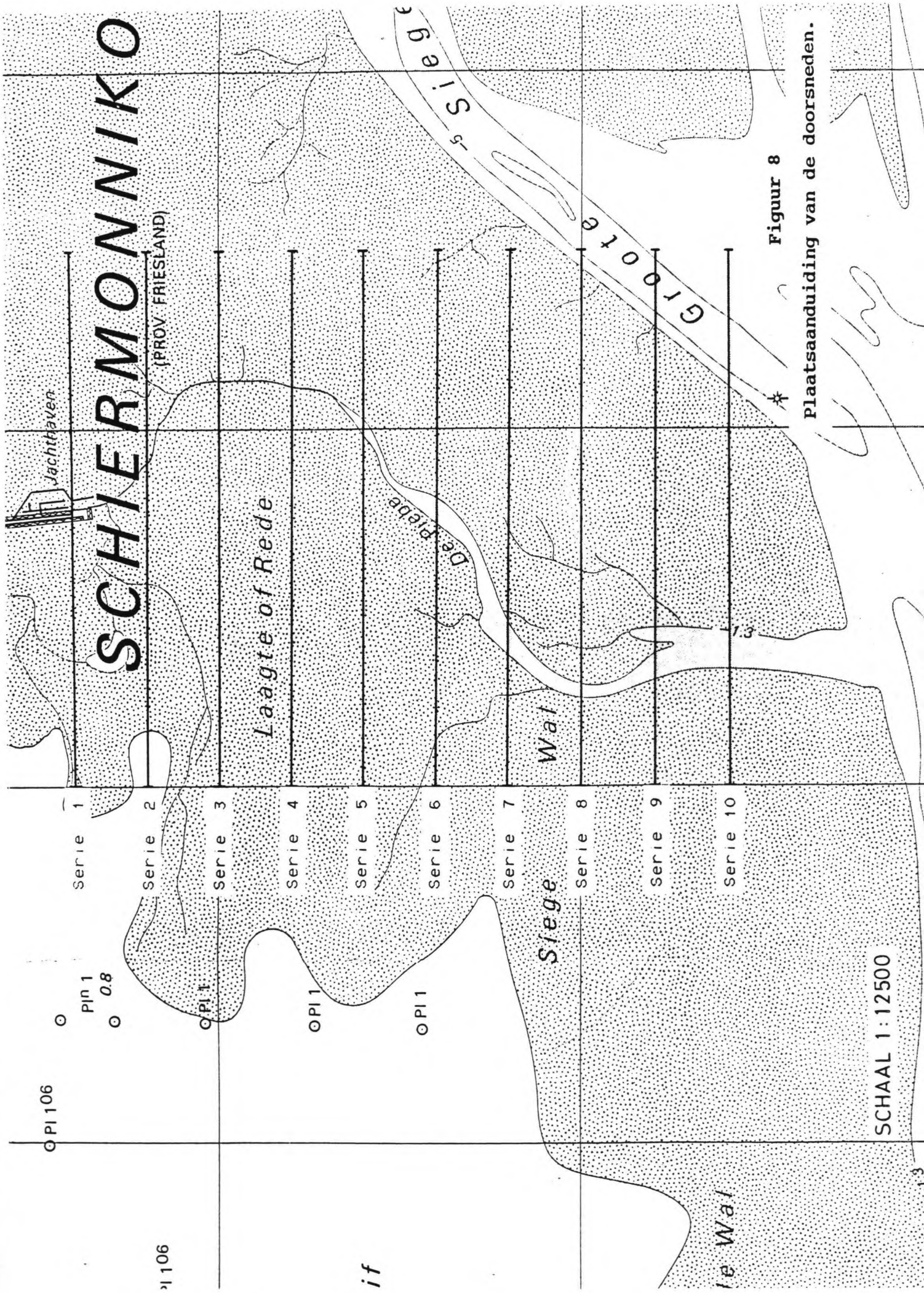
De jaren waarin gelood is hebben geen regelmaat. Deze onregelmatigheid, het feit dat de lodingen niet elk jaar even ver in het gebied zijn doorgezet en een verschil in dichtheid van de meetpunten maakten het niet mogelijk bij alle methoden dezelfde lodingen te gebruiken.

In de hierna volgende hoofdstukken worden de methoden uiteén gezet en de resultaten besproken. De resultaten zelf bestaan vaak uit overzichten en grafieken die gezien hun omvang en de overzichtelijkheid van het rapport veelal in de bijlagen zijn ondergebracht.

Bij een aantal onderzoeksmethoden speelt het G.H.W.- en G.L.W.-niveau een rol. De niveau's die hiervoor gehanteerd worden zijn afkomstig van de lodingskaarten:

	G.H.W.	G.L.W.
1955	+ 1,0	- 1,4
1960	+ 1,0	- 1,4
1974	+ 0,86	- 1,275
1982	+ 0,85	- 1,2

Niveau's in meters t.o.v. N.A.P.



Figuur 8

Plaatsaanduiding van de doorsneden.

7. Overzichtsdoorsneden

7.1 Vastleggen van de Doorsneden

Teneinde een eerste indruk te krijgen van het gebied en de eventuele veranderingen hierin, zijn enkele karakteristieke doorsneden gemaakt. De plaatsen van deze doorsneden zijn zo gekozen dat de Piebe er geheel in valt. In Figuur 8 zijn de plaatsen en de nummering van de doorsneden aangegeven. Het rooster van 10 doorsneden is overgebracht op de lodingskaarten uit 1955 tot en met 1987 met een tijdstap van gemiddeld 5 jaar, bij elkaar 8 metingen.

De 10 series doorsneden, elk bestaande uit 8 metingen in de diverse jaren, zijn per serie op grafiekpapier uitgezet waardoor een overzicht ontstond van de veranderingen van elke doorsnede in de tijd.

Bijlage 1 geeft de resultaten weer.

7.2 Bespreking Resultaat

Het eerste dat opvalt in de resultaten uit bijlage 1 is het grote verschil in de series 1 en 2 tussen de jaren 1960 en 1966. De verklaring hiervoor is dat in 1963 een put is gezogen 250 m. westelijk van de kop van de oude veerdam, waarmee voorzien kon worden in de zandbehoefte voor de afsluiting van de Westerkwelder. De series 1 en 2 doorsnijden deze put welke door z'n diepte en de schaal van de tekeningen niet geheel aangegeven kon worden. In 1980 zijn de laatste sporen van de put verdwenen; hij is geheel verzand.

In serie 7 is aan de rechterzijde van de doorsnede een bodemdaling te zien. Dit is het begin van het stroomgebied van de Groote Siege welke in de series 8, 9 en 10 duidelijk zichtbaar is. De Piebe is in vergelijking met de Groote Siege maar een zeer klein geultje, zeker in het gebied voor de jachthaven waar het niet veel meer is dan een verdieping van het wad met een halve meter.

De resultaten geven wat betreft de gedragingen van de rand van het Rif, geul en wad een aantal opmerkelijke zaken te zien.

Serie 1 : Duidelijke verstoring van het profiel door de put. De geul is nog niet te herkennen in de doorsnede.

Serie 2 : Eveneens een verstoring door de put. De geul tekent zich nog niet duidelijk af.

Serie 3 : Aan de Rif-zijde een sterke uitbreiding in de tijd van het oppervlak boven N.A.P.. De geul is te herkennen in de doorsnede. Deze is echter zeer ondiep.

Serie 4 : Uitbreiding van gebied boven N.A.P. aan de Rif-zijde. Aanzanding van het wad oostelijk van de geul. Geul duidelijk herkenbaar.

Serie 5 : Uitbreiding van gebied boven N.A.P. aan de Rif-zijde. Aanzanding van het wad. Geul wordt ondieper in de tijd.

Serie 6 : Uitbreiding van gebied boven N.A.P. aan de Rif-zijde. Aanzanding van het wad. Geul wordt ondieper en smaller in de tijd.

Serie 7 : Aanzanding van het wad. Geul blijft op diepte.

Serie 8 : Sterke aanzanding van het wad. Geul wordt smaller en dieper en verplaatst zich in westelijke richting.

Serie 9 : Zie Serie 8.

Serie 10: Sterke aanzanding van het wad. Geul wordt smaller en dieper in de tijd.

Uit de verschillende series komt duidelijk naar voren dat het gebied sterk is veranderd in de loop der tijd. Aanzanding van het wad blijkt in alle series plaats te vinden, doch niet overal even sterk. Deze aanzanding gaat gepaard met het steeds herkenbaarder worden van een geul in het gebied. In '55 lag het gehele gebied dieper ten opzichte van '87 en was van een uitgesproken geul

nog nauwelijks sprake, in de loop der tijd is door het ophogen van het wad wel een duidelijke geul ontstaan die qua omvang nog steeds verandert.



Figuur 9

Plaatsaanduiding van de radialen.

8. Verplaatsing van het Rif

8.1 Verplaatsing G.H.W.- en N.A.P.-lijn

In het vorige hoofdstuk is reeds gebleken dat de oostzijde van het Rif aan enige verplaatsing onderhevig is. Om een meer compleet beeld te krijgen van de veranderingen van het Rif zal in dit hoofdstuk gekeken worden naar de verplaatsingen van twee lijnen; de G.H.W.-lijn en de N.A.P.-lijn.

Hiertoe is op het Rif een punt gekozen van waaruit radialen zijn getrokken. Het punt is zodanig gekozen dat de G.H.W- en de N.A.P.-lijn zoveel mogelijk loodrecht worden doorsneden. Vervolgens is dit punt en zijn de radialen op de lodingskaarten over gebracht (zie figuur 9). Door nu per radiaal de afstand tot de G.H.W- en N.A.P.-lijn op te meten en dit voor lodingskaarten uit verschillende jaren te herhalen en te plotten, is de positie van de lijnen in de tijd na te gaan. Er doet zich hierbij echter een complicatie voor. Het gemiddeld hoogwater is sinds 1955, deels door de afsluiting van de Lauwerszee, 15 centimeter gedaald tot N.A.P. +0.85 m. De hoogwaterlijnen liggen zodoende niet allemaal op het zelfde niveau waardoor, bij direct gebruik voor de meting, een fout zou worden gemaakt. Om dit te voorkomen is het G.H.W.-niveau van 1987 aangehouden, mede omdat in de jaren met een hoger G.H.W.-niveau de metingen in ieder geval ook tot het G.H.W.-niveau van 1987 zijn doorgezet. Wordt er in dit hoofdstuk gesproken over "de G.H.W.-lijn", dan staat dit voor de lijn op het G.H.W.-niveau van 1987 (N.A.P. + 0,85 m.).

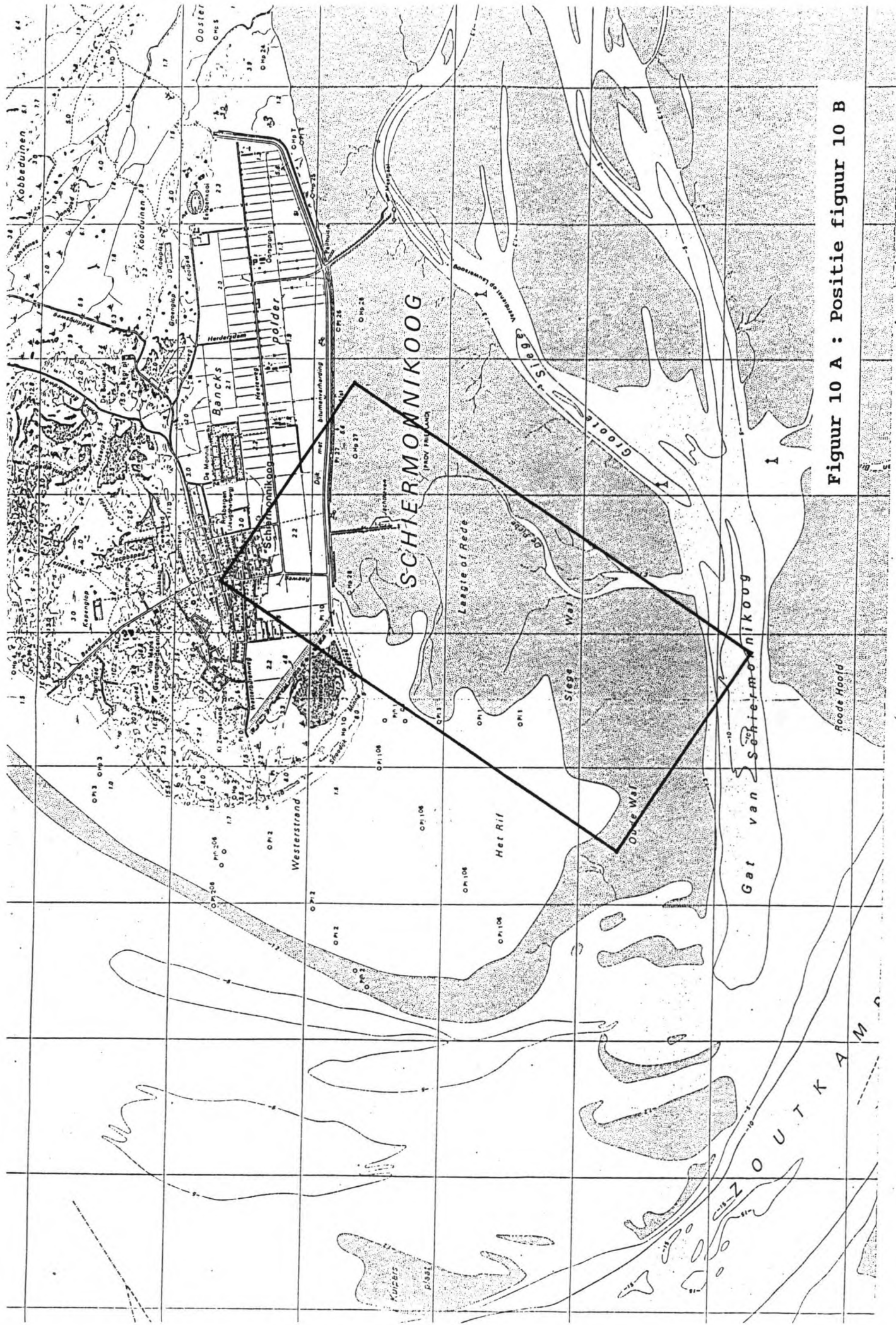
Per radiaal zijn de afstanden van het vaste punt tot de G.H.W.- resp. de N.A.P.-lijn uitgezet in een grafiek. Deze grafieken bevinden zich in Bijlage 2 .

Langs radiaal 5 waren geen punten beschikbaar voor het uitzetten van de verplaatsing van de N.A.P.-lijn zodat hiervan geen resultaten kunnen worden gegeven.

8.2 Bespreking Resultaat

Alvorens de resultaten van de metingen met elkaar te vergelijken zal eerst per radiaal een korte beschrijving worden gegeven van het gevonden resultaat. Hierbij gaat het niet om de veranderingen per meetpunt, maar is getracht de trends aan te geven. "Vooruitgang" staat hierbij voor een grotere punt--lijn afstand hetgeen een uitbreiding van het Rif betekent voor het gebied boven het niveau van de betreffende lijn, langs de radiaal.

- Radiaal nr. 0 * N.A.P. : vooruitgang
G.H.W. : tot '66 veranderlijk
na '66 zeer sterke
vooruitgang
- 1 * N.A.P. : lichte vooruitgang
G.H.W. : tot '70 achteruitgang
na '74 zeer sterke
vooruitgang
- 2 * N.A.P. : vooruitgang
G.H.W. : veranderlijk met zeer sterke
voor- en achteruitgang
- 3 * N.A.P. : tot '66 sterke vooruitgang
na '66 sterke achteruitgang
G.H.W. : vooruitgang
- 4 * N.A.P. : tot '70 achteruitgang
na '70 vooruitgang
G.H.W. : sterke vooruitgang
- 5 * N.A.P. : --
G.H.W. : zeer sterke vooruitgang
- 6 * N.A.P. : tot '70 lichte achteruitgang
na '72 lichte vooruitgang
G.H.W. : tot '66 zeer sterke
vooruitgang
na '70 sterke achteruitgang
- 7 * N.A.P. : tot '66 zeer sterke
achteruitgang
na '73 zeer sterke
vooruitgang



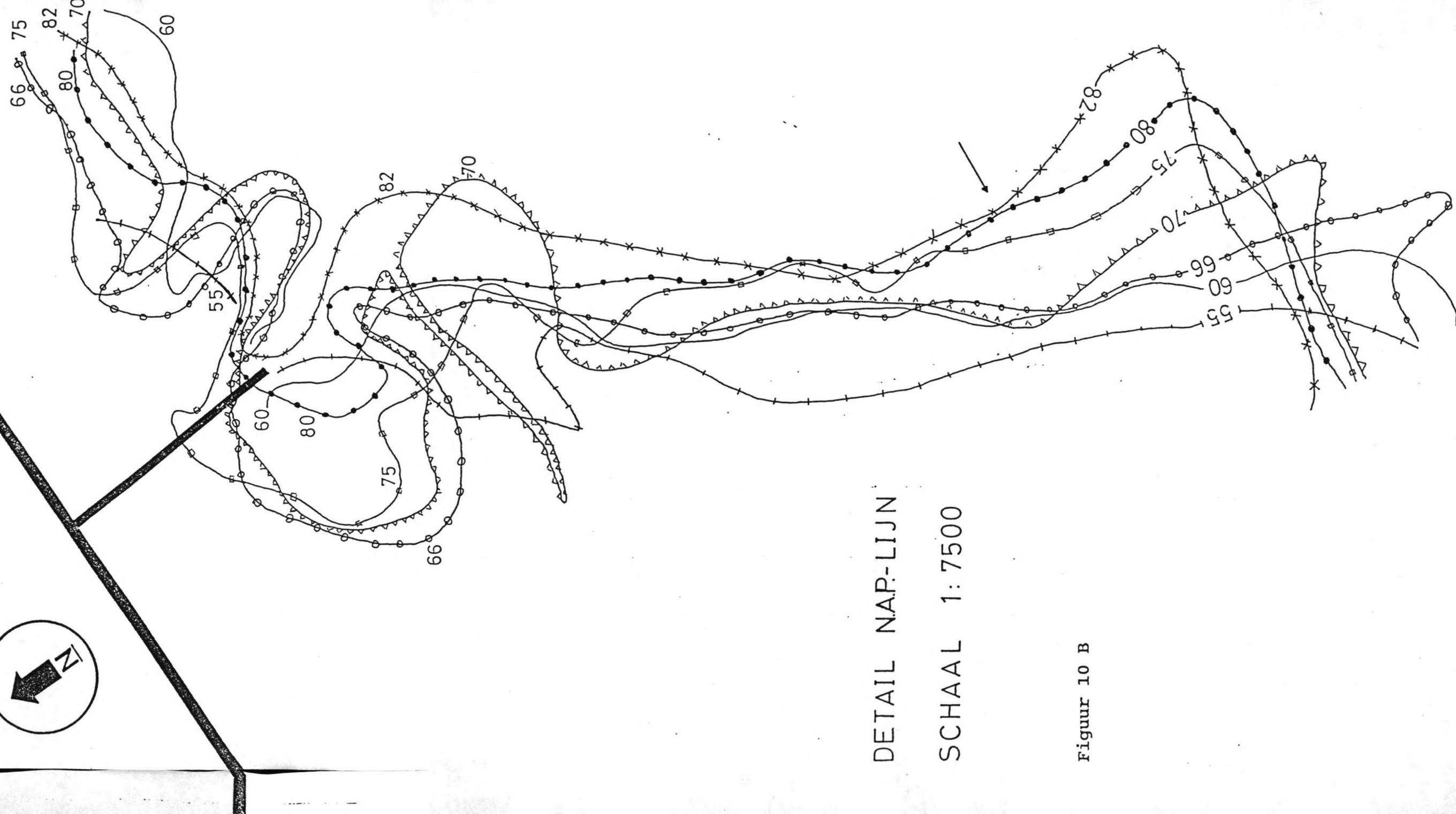
Figuur 10 A : Positie figuur 10 B

G.H.W. : tot '66 lichte achteruitgang
na '66 sterke vooruitgang
8 * N.A.P. : tot '60 achteruitgang
van '60 tot '81 sterke
achteruitgang
na '81 achteruitgang
G.H.W. : tot '66 zeer sterke
achteruitgang
na '66 zeer sterke
vooruitgang

zeer sterke achter-/vooruitgang= gem. 30 - 40 m/j.
sterke achter-/vooruitgang= gem. 20 - 30 m/j.
achter-/vooruitgang= gem. 10 - 20 m/j.
lichte achter-/vooruitgang= gem. 0 - 10 m/j.

Wanneer de verplaatsingen van de N.A.P.- en G.H.W.-lijn,
en de snelheden hiervan, met elkaar vergeleken worden,
kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De G.H.W-lijn verplaatst zich sneller dan de N.A.P.-lijn.
- Langs de radialen 0, 1 en 2 groeit het Rif aan.
De snelheid van de verplaatsing van de G.H.W.-lijn is hier groter dan die van de N.A.P.-lijn waardoor het gebied tussen de twee lijnen steiler is geworden.
- Langs de andere radialen geldt dat de verplaatsingen van de N.A.P.-lijn een vooruitgangs en een achteruitgangs tijdvak hebben.
- Slechts langs de radialen 2 en 3 is de resulterende verplaatsing in het beschouwde tijdvak een achteruitgang van de N.A.P.-lijn.
- Alleen de verplaatsing van de G.H.W.-lijn langs de radialen 6 en 7 hebben een achteruitgangs tijdvak doch de resulterende verplaatsing is een vooruitgang waardoor ten opzichte van '55 het gebied tussen de twee lijnen ook hier steiler is geworden.



DETAIL NAP-LIJN

SCHAAL 1:7500

Figuur 10 B

- Met uitzondering van radiaal 6 is de trend van de laatste jaren een vooruitgang van de G.H.W.-lijn.
- Als er een verandering van de trend optreedt dan is dat tussen de jaren '66 en '70.
- De beide lijnen verplaatsen zich met relatief hoge snelheid.

8.3 Detail N.A.P.-lijn

Het overzicht van het verloop van de N.A.P.- en G.H.W.-lijn uit paragraaf 8.2 geeft niet voldoende zicht op de situatie aan de oostzijde van het Rif terwijl dat deel voor de situatie van de jachthaven erg interessant is. Daarom is voor dat deel de gehele N.A.P.-lijn uit verschillende jaren overgenomen uit de lodingskaarten en samengevoegd in figuur 10 A/B .

8.4 Bespreking Resultaat N.A.P.-lijn Detail

De zuid-oostzijde van het Rif is zich duidelijk aan het uitbreiden. Kennelijk is er een resulterende westelijke stroming die zand meevoert waarna het in de luwte van het Rif wordt afgezet. Dit is goed zichtbaar aan de verplaatsing van de uitstulping van de N.A.P.-lijn aldaar. Deze uitstulping "wandelt" het stroomgebied van de Piebe in en brengt doordoor een grote hoeveelheid zand het gebied binnen.

Ter hoogte van de pijl (zie figuur 10 B) ligt de N.A.P.-lijn nu zeer dicht bij de Piebe. Dit is de plaats waar de Piebe een scherpe bocht vertoont en een steile ingesleten oever heeft (zie serie 8 van de overzichtsdoorsneden uit bijlage 1).

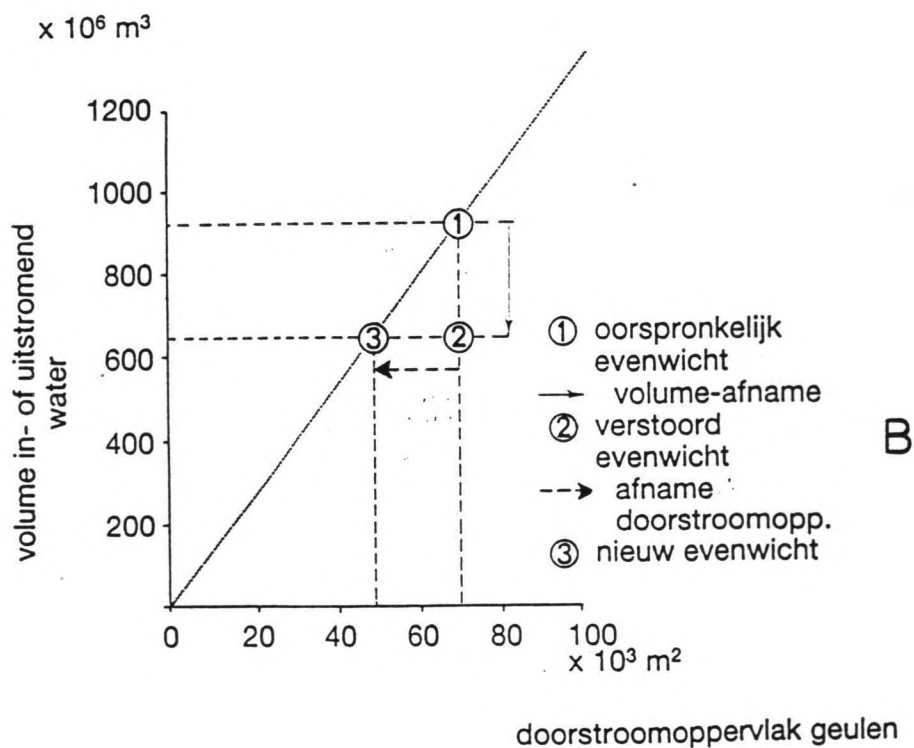
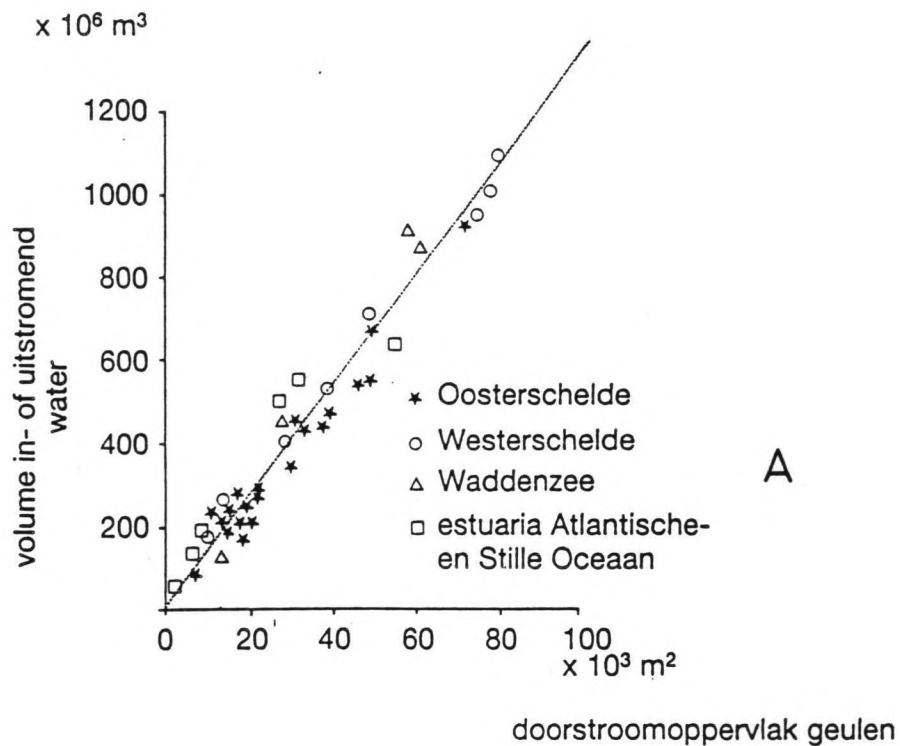
Langs de gehele oostzijde van het Rif is de N.A.P.-lijn opgeschoven richting Piebe.

In het noordelijke deel van het gebied is duidelijk de invloed van de zandwinningsput (uit 1963) waarneembaar. De lijn uit 1960 is ten opzichte van die uit 1955

verplaatst richting geul. In 1966 is de situatie geheel anders; de lijn volgt de contouren van de put en zuidelijk hiervan gaat de lijn achteruit. De lijn uit 1970 laat wat betreft de putcontouren een verwacht beeld zien; de put slibt dicht en de contouren komen naar binnen te liggen.

Het gebied zuidelijk van de put is door de ingreep duidelijk veranderd. Het lijkt erop dat een klein geultje vanaf het Rif een soort mini delta heeft gevormd welke echter in 1975 al weer geheel verdwenen lijkt te zijn. Waarschijnlijk is het zand van de mini delta in de put terecht gekomen. De put is in 1980 bijna niet meer te onderscheiden en zuidelijk ervan rukt de N.A.P.-lijn al weer op.

Wat betreft de ingang van de jachthaven is het duidelijk dat deze steeds meer door de N.A.P.-lijn wordt ingesloten.



Figuur 11 Evenwichtsrelatie tussen getijvolume en doorstroomoppervlak en zijn betekenis voor het effect van de afname van het getijvolume.

9. Kombergingsbeschouwing

9.1 Inleiding Komberging

Een bekken waarin de waterbeweging afhankelijk is van het getij wordt een getijbekken genoemd. Bij vloed stroomt water het bekken in en bij eb stroomt gemiddeld dezelfde hoeveelheid water weer naar buiten. Door de stroming van het water wordt slib en zand vervoerd. Slib hoofdzakelijk door transport in suspensie (zwevende deeltjes) en zand zowel in suspensie als langs de bodem.

De grootte van de stroomsnelheid heeft invloed op de grootte van het transport. Bij een stroomsnelheid gelijk aan nul zal geen transport plaatsvinden terwijl bij een toenemende snelheid de transportcapaciteit groter wordt waardoor meer, en grotere, deeltjes in beweging worden gebracht.

Daarnaast zal bij een afnemende stroomsnelheid het water steeds minder in staat zijn bodemdeeltjes te transporteren, te beginnen bij de grovere fracties. Door deze afnemende transportcapaciteit zullen de deeltjes, die niet meer door het water kunnen worden meegenomen, op de bodem achterblijven dan wel bezinken.

Het water dat per getij het bekken vult en ledigt, stroomt toe en af via de geul(en). De omvang van het doorstroomoppervlak van deze geul(en) blijkt in de praktijk gerelateerd te zijn aan het getijvolume dat de geulen te verwerken krijgen. Voor een aantal getijbekkens is deze relatie uitgezet in figuur 11 A. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de bepaling van het doorstroomoppervlak van de geulen van M.S.L. (Mean Sea Level) wordt uitgegaan. Er is een duidelijke relatie te zien. Omdat het om een lineaire relatie gaat, kan er een soort van gemiddelde karakteristieke stroomsnelheid worden berekend. De grootte hiervan kan bepaald worden door een punt op de betreffende lijn te kiezen, het getijvolume te delen door het bijbehorende doorstroomoppervlak en te delen door de tijdsduur van één getij:

Punt op de lijn:

$$\begin{aligned}V &= 1000 * 10^6 \text{ m}^3 \\ \text{Opp.} &= 73 * 10^3 \text{ m}^2 \\ 1 \text{ getij} &= 6 \text{ uur, } 25 \text{ min} = 23100 \text{ sec.} \\ v_{\text{gem.karak.}} &= \frac{V}{\text{Opp.} * \text{tijd}} = 0,6 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Het feit dat deze gemiddelde karakteristieke snelheid van 0,6 m/s de relatie vormt tussen het getijvolume en het doorstroomoppervlak van de geulen voor de verschillende getijbekkens, geeft aan dat we deze bekkens kunnen benaderen als systemen. In deze systemen past het doorstroomoppervlak van de geulen zich zodanig aan het getijvolume aan dat de gemiddelde stroomsnelheid per getij de waarde 0,6 m/s bereikt, de soort evenwichts-snelheid. Veranderingen in de grootte van het getijvolume zullen dan ook tot gevolg hebben dat het doorstroomprofiel van de geulen mee verandert. Hoe deze aanpassing verloopt is als volgt duidelijk te maken. Wordt in een systeem dat in evenwicht is volgens de bovengenoemde relatie het getijvolume verkleind door b.v. het gedeeltelijk afsluiten van het kombergingsgebied, dan zullen de stroomsnelheden afnemen. Hierdoor zal de transportcapaciteit van de stroming verminderen zodat de geul zal verkleinen door sedimentatie. Het verkleinen van het doorstroomoppervlak veroorzaakt weer een vergroting van de stroomsnelheden. De sedimentatie van de geul gaat door totdat de eerder genoemde karakteristieke stroomsnelheid weer de waarde 0,6 m/s heeft bereikt en het doorstroomoppervlak van de geul in evenwicht is met de nieuwe grootte van het getijvolume. Omgekeerd zullen bij een vergroting van het getijvolume de stroomsnelheden, en dus ook de transportcapaciteit, toenemen waardoor de geul zal eroderen en het doorstroomoppervlak wordt vergroot. Door deze vergroting nemen de stroomsnelheden weer af, samen met de transportcapaciteit. Dit proces gaat door totdat de karakteristieke stroomsnelheid weer de oude waarde heeft

bereikt en het doorstroomoppervlak van de geul zich heeft aangepast aan het nieuwe getijvolume waardoor er weer sprake is van evenwicht.

In figuur 11 B is weergegeven hoe de aanpassing van het doorstroomoppervlak verloopt bij een afnemend getijvolume.

Omdat er per getij gemiddeld evenveel water in als uit het getijbekken stroomt en er sprake is van een aan- en afvoer van sediment onder invloed van de getijbeweging, bevinden de systemen van figuur 11 zich in een dynamisch evenwicht.

Is éénmaal bekend dat een getijbekken opgevat kan worden als een systeem dat streeft naar een evenwicht van de karakteristieke stroomsnelheid per getij, dan is het mogelijk inzicht te krijgen in de gevolgen van een verkleining van het getijvolume voor de doorstroomoppervlakte van de geul(en), en omgekeerd. Het is dus van belang te weten of in een getijbekken een bovenbeschreven relatie bestaat.

In de navolgende paragrafen zal worden nagegaan of er in het geval van de Piebe ook sprake is van een systeem met een evenwicht van de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheid en, of veranderingen van het getijvolume en het doorstroomoppervlak van de geul terug te voeren zijn op het streven naar een evenwicht.

Hiertoe zal allereerst het stroomgebied van de Piebe vastgelegd moeten worden waarbij speciale aandacht nodig is voor de keuze van de oostelijke begrenzing; de scheiding van de stroomgebieden van de Piebe en de Groote Siege. Ook in het stroomgebied zullen enkele begrenzingen worden aangebracht die het gebied in drie deelgebieden opsplitsen.

Vervolgens zal de oppervlakte van het stroomgebied worden berekend en het verloop hiervan in de tijd worden uitgezet en besproken. Met deze resultaten en de gegevens van de lodingen zal het kombergingsvolume (= getijvolume) worden bepaald.

De gegevens over het doorstroomoppervlak van de geul worden verkregen uit doorsneden van de Piebe. Of er sprake is van een duidelijke relatie tussen het kombergingsvolume en het doorstroomoppervlak zal blijken bij de bepaling van de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheden. Bij de systemen uit figuur 11 is sprake van grote bekkens en diepe geulen waarbij, voor het bepalen van het doorstroomoppervlak, gewoonlijk van M.S.L. wordt uitgegaan. Omdat de Piebe slechts een zeer kleine geul is, die grotendeels droogvalt bij G.L.W., is uitgegaan van het G.H.W.-niveau bij de bepaling van het doorstroomoppervlak. In paragraaf 9.5 zal, naast de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheid, via een berekening, ook een schatting worden gemaakt van de werkelijk optredende gemiddelde stroomsnelheid bij verschillende waterstanden.

Om niet alleen een indruk te krijgen van het gehele gebied, maar ook van delen hiervan, zullen de bovengenoemde gegevens worden bepaald van het gehele stroomgebied, maar ook van de drie deelgebieden.

Tenslotte zal een berekening worden gemaakt van de sedimentatie, dan wel erosie, die in de loop der jaren heeft plaatsgevonden in het stroomgebied van de Piebe.

Omdat maar een beperkt aantal lodingskaarten voor dit doel bruikbaar bleek te zijn kon slechts een complete beschouwing worden opgezet van de jaren 1955, '66, '74 en '82. Daarnaast zullen niettemin ook de beschikbare gegevens uit de andere jaren zoveel mogelijk worden benut en meegenomen in de resultaten.

9.2 Het Kombergingsoppervlak

9.2.1 Vastleggen Gebiedsbegrenzungen.

Het gebied dat door de Piebe wordt gevoed, zal moeten worden vastgelegd door middel van het aanbrengen van begrenzingen.

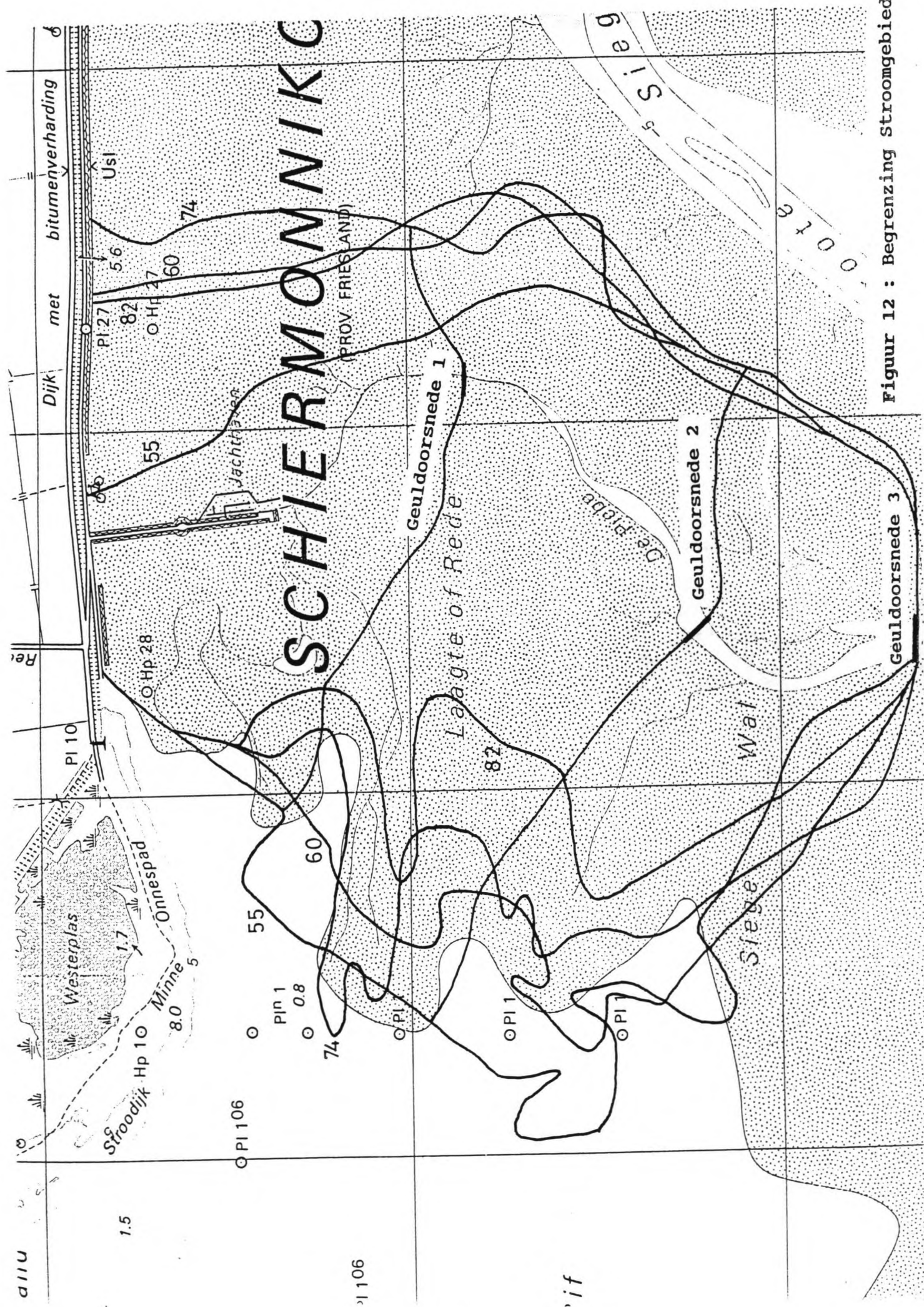
Aan de westelijke kant van het gebied wordt als begrenzing de G.H.W.-lijn aangenomen gelegen op het Rif. Deze lijn komt slechts op een aantal kaarten voor en vormt de genoemde beperking in het aantal verschillende jaren. De noordelijke begrenzing ligt het duidelijkste vast door de aanwezigheid van de dijk.

Om de oostelijke begrenzing aan te kunnen brengen moet bedacht worden dat oostelijk van de Piebe de Groote Siege ligt en dus een scheiding moet worden aangebracht op het tussenliggende wad. In de overzichtsdoorsneden is te zien dat dit gebied niet geheel vlak is en door op de lodingskaarten tussen de twee geulen dieptelijnen te tekenen kan een scheidingslijn worden aangebracht over de hoogst gelegen delen tussen de twee geulen.

De laatste begrenzing vormt de monding van de Piebe. Hiervoor is de vernauwing aan het einde van de geul gekozen. Het laagwaterbed aldaar bleek in de loop der jaren weinig van plaats te verschillen. Uitgaande van een vast punt in dit bed is loodrecht op de dieptelijnen een begrenzing aangebracht, doorlopend tot resp. de G.H.W.-lijn van het Rif en de scheidingslijn tussen Piebe/Groote Siege.

Het aldus omschreven stroomgebied van de Piebe is niet elk jaar gelijk omdat processen in het gebied en daarbuiten de begrenzingen kunnen verplaatsen.

In het gebied zijn nog twee grenzen aangebracht zodat het in drie delen is gesplitst. Deze grenzen zijn net als de mondings begrenzing getrokken vanuit een vast punt in de geul, loodrecht op de dieptelijnen naar de zijbegrenzungen. De plaats van beide doorsneden en de



begrenzungen van het stroomgebied zijn in figuur 12 weergegeven.

9.2.2 Oppervlakteberekening

Voor de jaren 1955, '66, '74 en '82 zijn de begrenzungen op de lodingskaarten aangebracht, inclusief de deelbegrenzungen. Vervolgens is met behulp van een planimeter de oppervlakte van de gebiedsdelen bepaald. Om een overzicht te krijgen van de verhouding tussen de oppervlakten van de gebiedsdelen met een verschillende diepte is de oppervlaktemeting opgebouwd uit delen, gemeten tussen enkele dieptelijnen. Hiervoor zijn de volgende diepte begrenzungen gebruikt:

G.L.W. tot N.A.P. -10 dm.
N.A.P. -10 dm. tot N.A.P. - 5 dm.
N.A.P. - 5 dm. tot N.A.P.
N.A.P. tot N.A.P. + 5 dm.
N.A.P. + 5 dm. tot G.H.W.

De resultaten van de oppervlaktemeting zijn in Bijlage 3 samengevat. Hierin zijn ook de resultaten van enkele tussenliggende jaren opgenomen. Deze konden wegens ontbrekende dieptepeilingen niet worden aangevuld tot de oppervlakte van het totale gebied.

9.2.3 Bespreking Resultaat

Het geringe aandeel van het oppervlak beneden G.L.W. ten opzichte van het totale oppervlak geeft duidelijk aan dat het grootste deel van het stroomgebied bij laagwater droogvalt. Dit oppervlak beneden laagwater vertoont qua grootte wel relatief veel variatie in de tijd. Het verschil hierin tussen de jaren 1955 en 1960 laat zich moeilijk verklaren. Daarentegen is voor het verschil tussen de jaren 1960 en 1966 wel een verklaring te geven.

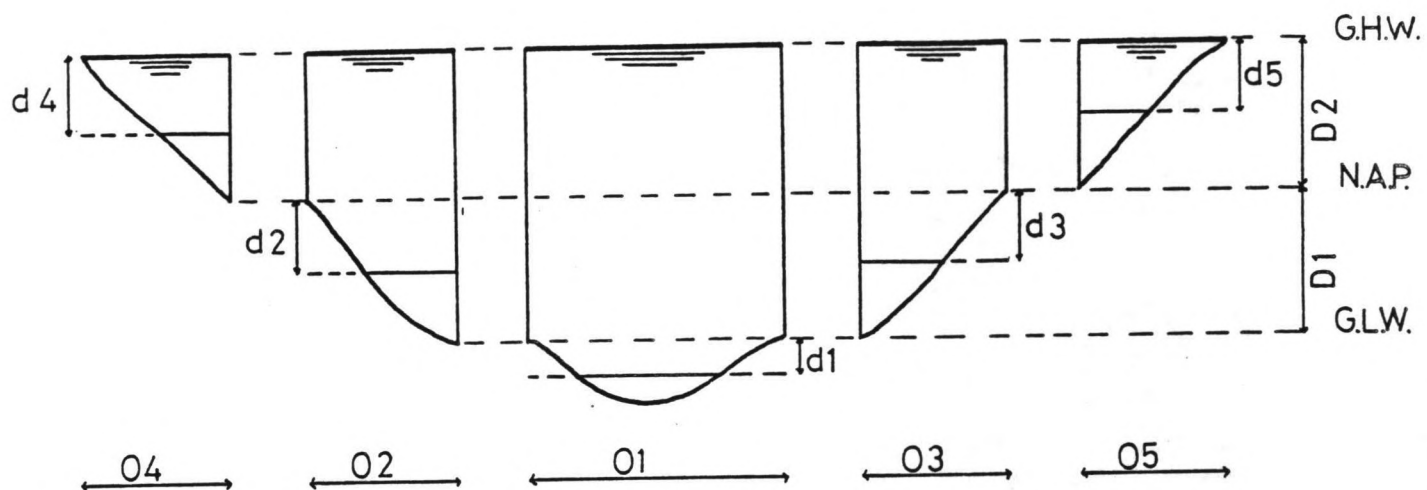
In 1963 is de zandwinningsput gezogen die dieper was dan het G.L.W.-niveau en dus een vergroting van het oppervlak beneden dit niveau betekende. Deze volume-vergroting zorgde voor een sterkere stroming van de geul naar de put en omgekeerd waardoor uitschuring van het tussengelegen gebied plaatsvond. Dit is herkenbaar aan de pieken in de lijnen die behoren bij de N.A.P. -1.0 m. en N.A.P. -0.5 m. dieptelijnen.

Uit de detailopnames van de N.A.P.-lijn blijkt dat de put is gezogen op een plaats die hoger dan N.A.P. lag en dus een vergroting van het oppervlak beneden dit niveau veroorzaakte.

De invloed van de put op het gebied neemt door het verzanden met de jaren af. Uit de resultaten blijkt echter dat de vermindering van het oppervlak ook na het verzanden van de put doorgaat. Gezien de resultaten van de overzichtsdoorsneden is deze verdere vermindering te wijten aan het versmallen van de geul en de verhoging van het wad.

De oppervlakte van het gebied boven N.A.P. is, met uitzondering van de jaren 1955 en 1960, onderhevig aan een sterke vermindering. Deze vermindering komt voort uit een uitbreiding van het Rif richting de geul enerzijds en het verschil in G.H.W. niveau anderzijds. Vanwege dit laatste kan er voor het vergelijken van dit oppervlak beter gekeken worden naar het verloop van de N.A.P. +0.5 m. lijn ten opzichte van de N.A.P.-lijn. Het feit dat deze lijnen na 1970 redelijk parallel lopen en het gebied beneden N.A.P. duidelijk verkleint, benadrukt nogmaals dat het stroomgebied van de Piebe kleiner wordt, hetgeen hoofdzakelijk ten koste gaat van de delen beneden het N.A.P. -0.5 m. niveau.

Figuur 13 : Schematisatie Volumeberekening



d_1 = gemiddelde diepte lager dan G.L.W.

d_2/d_3 = gemiddelde diepte tussen G.L.W. en N.A.P.

d_4/d_5 = gemiddelde diepte tussen N.A.P. en G.H.W.

$$V_{glw} = d_1 * O_1$$

$$V_{nap} = V_{glw} + D_1 * O_1 + d_2 * O_2 + d_3 * O_3$$

$$V_{ghw} = V_{nap} + D_2 * O_1 + D_2 * O_2 + D_2 * O_3 + d_4 * O_4 + d_5 * O_5$$

9.3 Het Kombergingsvolume

9.3.1 Berekening Kombergingsvolume

Voor de berekening van het watervolume dat het gebied in en uit stroomt is gebruik gemaakt van de resultaten van de oppervlakteberekening. Het totale kombergingsvolume is net als de berekening van het gebiedsoppervlak bepaald door een optelling te maken van, in dit geval, de volumes tussen de verschillende dieptelijnen. Hierdoor ontstaat een goed beeld van de hoeveelheid water die er bij een bepaalde waterstand in het gebied aanwezig is, hetgeen gebruikt zal worden bij het leggen van een relatie tussen dit volume en het doorstroomoppervlak van de geul. De trapsgewijze berekening begint bij het bepalen van het watervolume dat in het gebied aanwezig blijft bij G.L.W. en eindigt bij het totale kombergingsvolume van het gebied. In de berekening wordt van het tussen twee dieptelijnen gelegen gebied de gemiddelde diepte bepaald ten opzichte van de bovenste diepteliijn. Deze gemiddelde diepte, vermenigvuldigd met het oppervlak, geeft het volume van de watermassa boven de bodem, tot het niveau van de bovenste diepteliijn. Hoe de berekening verder verloopt is te zien in figuur 13. Er wordt geen rekening gehouden met uittredend water bij droog vallende platen.

De resultaten van de berekening zijn te vinden in bijlage 4.

9.3.2 Bespreking Resultaat

De afnemende grootte van het stroomgebied deed reeds vermoeden dat het bijbehorende kombergingsvolume ook in grootte zou afnemen. Dit vermoeden blijkt juist te zijn gezien de resultaten. Met uitzondering van 1966 is het kombergingsvolume sinds 1955 sterk afgenomen. Het feit dat 1966 afwijkt is wederom te wijten aan de zandwin-

ningsput uit 1963 en de invloed ervan op het gebied. Door het snelle verzanden van de put is de invloed ervan op het kombergingsvolume in 1974 reeds te verwaarlozen. In deelgebied 1 is de invloed in 1974 nog wel merkbaar. Dit komt door het uitschuren van het gebiedsdeel door het water dat van en naar de put stroomde. Afgezien van de invloed van de put is het duidelijk dat het totale kombergingsvolume in de loop der jaren sterk is afgenomen.

Uit de resultaten blijkt het watervolume tussen N.A.P. +.5 m. en G.H.W. zeer sterk te zijn afgenomen. Dit is echter voor een deel te wijten aan de afname van het G.H.W. niveau. Omdat hier het gehele getijvolume van de verschillende jaren van belang is voor de relatie tussen het volume en het doorstroomoppervlak van de geul hoeft dit niet te worden gecorrigeerd.

De resultaten uit 1987 laten een toename zien van het volume onder N.A.P. niveau hetgeen toch enigszins de afnemende trend doorbreekt. Het ontbreken van gegevens uit 1987 over het gebied boven N.A.P. maakte het helaas niet mogelijk om te zien of het volume boven N.A.P. ook toegenomen is waardoor alleen gesteld kan worden dat, gezien het gelijk gebleven oppervlak, de gemiddelde diepte is toegenomen ten opzichte van 1982.

9.4 Het Geul-doorstroomoppervlak.

9.4.1 Plaatsbepaling Doorsneden

Nu de resultaten van de volumeberekening bekend zijn en een duidelijke vermindering van het kombergingsvolume geconstateerd is zal in deze paragraaf gekeken worden of het doorstroomprofiel van de geul zich heeft aangepast aan deze verandering.

Hiertoe zijn dwarsdoorsneden van de geul gemaakt langs de twee grenzen tussen de gebiedsdelen en één langs de zuidelijke gebiedsbegrenzing. (zie figuur 12) Deze zullen resp. geuldoorsnede 1, 2 en 3 worden genoemd. Omdat deelgebied 1 gevoed wordt met water dat door geuldoorsnede 1 wordt aan- en afgevoerd moeten deze aan elkaar worden gerelateerd. Evenzo verwerkt geuldoorsnede 2 het water van de deelgebieden 1 en 2 zodat deze aan het volume van beide deelgebieden moet worden gerelateerd. Tenslotte stroomt het water van het gehele gebied door doorsnede 3 zodat deze doorsnede vergeleken dient te worden met het totale volume van de drie deelgebieden samen.

Omdat de begrenzingen de dieptelijnen loodrecht snijden en de doorsneden deze volgen, geven de geuldoorsneden de juiste breedte van de geul weer, hetgeen niet altijd het geval was in de overzichtsdoorsneden die in hoofdstuk 7 ter sprake kwamen.

9.4.2 Berekening Doorstroomoppervlak

De jaren waarvoor doorsneden zijn gemaakt zijn: 1955, 1960, 1974 en 1982. Dit omdat van deze jaren het totale kombergingsvolume berekend kon worden. Daarnaast zijn ook de gegevens over 1987 verwerkt om de laatste ontwikkelingen mee te kunnen nemen.

Het doorstroomoppervlak is berekend bij verschillende waterstanden tot het niveau van G.H.W.

De doorsneden zijn uitgezet ten opzichte van N.A.P. en zijn doorgezet tot de zij-begrenzingsen van het gebied. De doorsneden en de bijbehorende doorstroomoppervlaktes zijn in bijlage 5 weergegeven.

9.4.3 Bespreking Resultaat

Wanneer we de geuldoorsneden bekijken zien we dat, vanwege het doorzetten van de doorsneden tot de begrenzingen aan de oost-zijde en het G.H.W.-niveau aan de west-zijde, de doorsneden meer stroomgebiedsdoorsneden dan geuldoorsneden zijn. Toch wordt hier gesproken van een geuldoorsnede omdat vooral in '55 sprake is van een zeer breed en relatief diep doorstroomoppervlak. In de jongere jaren is duidelijker een geul te onderscheiden in de stroomvoerende doorsnede. Bij opkomend water zal eerst de geul en daarna het gehele wad, tot een niveau van hoogwater, stroomvoerend worden.

Bij de verdere bespreking van de resultaten zullen de doorstroomoppervlaktes van de drie geuldoorsneden o.a. worden vergeleken met de volumes van de watermassa's die er door moeten worden aan- en afgevoerd. Deze volumes en de verdeling ervan per waterstand zijn in paragraaf 9.3 berekend en zijn te vinden in Bijlage 4 .

Geuldoorsnede 1:

Omdat geuldoorsnede 1 vrij ver in het stroomgebied ligt, wordt door de doorsnede nog relatief weinig water getransporteerd. In de doorsneden is daarom nog geen echte geul te onderscheiden. Wat opvalt is dat de hoogteverschillen in de doorsnede zeer gering zijn, iets dat voor het gehele gebiedsdeel geldt. Door z'n hoogteligging valt dit gebied en ook de geuldoorsnede droog bij G.L.W.. Qua doorstroomoppervlak hebben de doorsneden uit '60 en '82 éénerzijds en '74 en '87 ander-

zijds veel met elkaar gemeen. De eerste twee jaren geven een zeer vlakke en ondiepe doorsnede te zien terwijl er zich bij de laatste twee zich iets meer van een geultje aftekent, in de vorm van een verdieping van het laagst gelegen deel met ongeveer een halve meter. Dit laatste levert een groter doorstroomoppervlak beneden het N.A.P.-niveau.

De verschillen in doorstroomoppervlakte boven het niveau van N.A.P. -0.5 m. zijn hoofdzakelijk te wijten aan het veranderen van de G.H.W.-stand in de loop der jaren.

Een vergelijk van de doorstroomoppervlaktes uit de verschillende jaren met de bijbehorende watervolume's leert dat ook dan de jaren '60 en '82 veel gelijkenis vertonen. Beide jaren hebben een praktisch gelijke volume- en geuloppervlakteverdeling tot N.A.P.-niveau. Het volume boven N.A.P. is in '82 beduidend kleiner dan in '60, hetgeen ook voor het doorstroomoppervlak geldt.

Dat het geuloppervlak in '74 ten opzichte van '60 is toegenomen voor het niveau tot N.A.P. +0.5 m. is ook terug te vinden in de volumeverdeling van de twee jaren. Kennelijk is de invloed van de '63 gezogen put op het totale volume van '74 voor deelgebied 1 nog niet te verwaarlozen. Het is duidelijk dat door deze put het gebied is uitgeschuurd en het extra volume een grotere geuldoorsnede heeft bewerkstelligd.

Het feit dat het doorstroomoppervlak uit '87 groter is dan die uit '82 is minder goed te verklaren. Het volume is in '87 namelijk niet zodanig vergroot dat de, toch sterke, toename van het doorstroomoppervlak hiervan alleen het gevolg kan zijn.

Toch kan gesteld worden dat, wat betreft geuldoorsnede 1, het doorstroomoppervlak en het

volume van het bijbehorende deelgebied elkaar qua grootte goed volgen.

Geuldoorsnede 2:

Deze geul ligt beduidend minder ver in het stroomgebied en krijgt hierdoor meer water te verwerken. Uit de doorsneden blijkt dat er hier wel sprake is van een geul die, door z'n diepte, bij G.L.W. niet geheel droogvalt. Tevens is het duidelijk dat het doorstroomoppervlak sterk is afgenomen in de loop der tijd. Het wad is ondieper geworden waarin zich een geul heeft weten te handhaven.

In '55 en '60 is het gehele wad ter plaatse van de doorsnede nog relatief diep en dit over een grote breedte. Van '60 tot '74 is het wad echter opgehoogd en is hierin een geul ontstaan. Hierdoor is het doorstroomoppervlak onder G.L.W.-niveau groter geworden en het oppervlak beneden N.A.P. verkleind. Na '74 wordt de geul niet alleen minder diep maar ook smaller. In '82 is het wad naast de geul enkele decimeters dieper geworden ten opzichte van '82 waardoor de doorstroomoppervlak onder N.A.P. hoger uitvalt door een toename ervan tussen het N.A.P. -0.5 m. en N.A.P.-niveau. Beschouwen we naast de samenstelling van de doorstroomoppervlakte de verdeling van het volume van de watermassa dat per gemiddeld tij de doorsnede passeert dan valt op dat beide elkaar goed volgen; de afname van de doorstroomoppervlakte loopt gelijk met de afname van het volume. Er zijn echter een tweetal uitzonderingen op deze afname.

Tussen de jaren '55 en '60 is sprake van een toename van het volume boven N.A.P. terwijl de

doorstroomoppervlakte niet toe- maar afgenomen is.

De tweede uitzondering is de toename van het volume onder N.A.P. in '87 ten opzichte van '82. Deze toename wordt echter wel gevolgd door de doorstroomoppervlakte, welke ook toeneemt.

Ondanks de twee uitzonderingen blijkt uit de geuldoorsneden dat het doorstroomoppervlak in de loop der jaren sterk is afgenomen hetgeen een aanpassing is aan het afgenomen getij-volume.

Geuldoorsnede 3:

De tekeningen van geuldoorsnede 3 laten bijna hetzelfde beeld zien als die van doorsnede 2. Wederom blijkt dat het doorstroomoppervlak in de loop der jaren zeer sterk in verkleind. Ook hier valt de grootte en diepte van de doorsnede uit '55 op. In '60 is de doorsnede minder diep geworden, inclusief het laagst gelegen deel van de geul. Deze ophoging van het gebied blijkt zich in '74 te hebben doorgezet waarbij de geul niet alleen minder diep maar ook smaller is geworden. In '82 is de geul ten opzichte van '74 weer in diepte toegenomen doch het omliggende wad is verder opgehoogd. Na '82 zet de verdieping van de geul zich door hetgeen te zien is in de doorsnede van '87. Tevens valt op dat het naast de geul gelegen wad zich enigszins verdiept heeft waardoor het doorstroomoppervlak onder N.A.P.-niveau weer is toegenomen.

Het doorstroomprofiel neemt net als het volume van het totale stroomgebied duidelijk af. Ook hier zijn echter twee uitzonderingen te constateren op de afname.

Ten eerste is daar de toename van het volume tussen de jaren '55 en '60 boven N.A.P. terwijl het doorstroomoppervlak boven dat niveau een afname laat zien.

De tweede uitzondering op de afname is het verschil tussen de jaren '82 en '87. In '87 is het volume groter dan in '82. Hier volgt het doorstroomoppervlak deze vergroting echter wel door eveneens toe te nemen.

Uit de bespreking van de resultaten blijkt dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de grootte van het watervolume bij een bepaalde waterstand en het bijbehorende doorstroomoppervlak. Het is hierbij met name opvallend hoeveel zij beide zijn afgenomen in de beschouwde periode (in '82 is het doorstroomoppervlak onder N.A.P. ten opzichte van '55 met ongeveer 70 % gereduceerd). De uitzonderingen op deze afname zijn, wanneer we de grote lijn bekijken, slechts gering.

			1 - 2 =		$3 / (4 * 21600) =$
	1 Tot.Vol. *103 m3	2 GLW.Vol. *103 m3	3 Getijvol. *103 m3	4 Geulopp. tov GHW m2	5 Gem.Snelh. m/s
1955	3760	124	3636	2775	0,061
1960	3812	27	3785	2096	0,084
1974	3024	65	2959	1403	0,098
1982	2205	34	2171	1130	0,089

TABEL 1: BEREKENING GEM. KARAKTERISTIEKE SNELHEID

9.5 De Stroomsnelheden

9.5.1 Berekening Gem. Karakteristieke Stroomsnelheid

De gegevens die nodig zijn voor de bepaling van de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheid per getij zijn reeds berekend. In paragraaf 9.3 is het totale watervolume van het gebied berekend, inclusief het watervolume dat bij G.L.W. in het gebied achterblijft. Deze laatste hoeveelheid behoort niet tot het getijvolume. Dat is immers het watervolume dat per getij het gebied in- en uitstroomt. Het G.L.W.-volume zal dus van het totale volume moeten worden afgetrokken.

De oppervlakte van het doorstroomprofiel van de Piebe is berekend in paragraaf 9.4 . Hiervan zullen de resultaten van geuldoorsnede 3 gebruikt worden bij de berekening.

Het is gezien de gegevens slechts mogelijk de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheid te berekenen voor de jaren '55, '60, '74 en '82.

De berekening is uitgevoerd en weergegeven in tabelvorm, zie tabel 1. Tevens is het verloop van de gem. karak. snelheden in de tijd weergegeven in bijlage 6.

9.5.2 Bespreking Resultaat Gem. Karak. Stroomsnelheid

De uitkomsten van de berekening van de gemiddelde karakteristieke stroomsnelheden over één getijperiode voor de Piebe zijn, qua grootte, niet te vergelijken zijn met die van de grotere systemen omdat er uitgegaan is van een ander niveau bij het gebruikte doorstroomoppervlak (bij Piebe G.H.W. ; in Fig.11 M.S.L.). Morfologisch zeggen zij ook niet zoveel omdat zij lager liggen dan die van begin van beweging van de bodemdeeltjes.

De aldus berekende snelheden blijken in de verschillende jaren overigens niet aan elkaar gelijk te zijn, waarbij vooral 1955 afwijkt van de andere jaren. Door deze

verschillen en het feit dat slechts vier jaren konden worden betrokken bij de berekening is het bijna niet mogelijk iets te zeggen over een (eventuele) evenwichtssnelheid.

De snelheden in de jaren '60, '74, en '82 liggen redelijk dicht bij elkaar, zeker gezien de grote veranderingen in zowel het getijvolume als het doorstroomoppervlak. Dat er vanaf '55 een stijging van de snelheden is te zien geeft aan dat het doorstroomoppervlak van de geul sterker is afgenomen dan het kombergingsvolume. Het is daarom wel duidelijk dat het geulprofiel zich aan het veranderende getijvolume aanpast, maar uit de mate waarin dit gebeurt is geen evenwichtssnelheid te bepalen.

9.5.3 Gemiddelde Stroomsnelheid bij Verschillende Waterstanden

De in paragraaf 9.5.1 gepresenteerde berekening van de gem. karak. stroomsnelheden heeft niet geleid tot een duidelijke relatie tussen het getijvolume en het doorstroomoppervlak van de Piebe. Een relatie als in fig. 11 gaat dan ook voor de Piebe niet op. Mede omdat voor een ander referentieniveau is gekozen bij de berekening van het doorstroomoppervlak van de geul (G.H.W. i.p.v. M.S.L.) is er eigenlijk geen sprake van een echte stroomsnelheid omdat er op het moment van Hoogwater feitelijk niets meer stroomt.

In deze paragraaf zal een andere methode worden besproken die meer inzicht kan geven in de gedragingen van de geul waarbij een schatting wordt gemaakt van de werkelijk optredende snelheden.

Hiervoor zal allereerst iets verder op de, in de grotere systemen voorkomende, relatie volgens fig. 11 worden ingegaan.

Zijn een geul en het bijbehorende watervolume met elkaar in evenwicht dan past hierbij een vaste waarde van de

gem. karakteristieke stroomsnelheid. Dit geldt voor het gehele gebied. Het totale kombergingsvolume bepaalt het doorstroomoppervlak van de geul aan het begin van het gebied. Dieper in het stroomgebied heeft de geuldoorsnede minder water te verwerken en zal z'n doorstroomoppervlak, in de evenwichtssituatie, hierop hebben afgestemd. Door het lineaire verband tussen het volume en het oppervlak zal ook in de geuldoorsnede die dieper in het stroomgebied ligt dezelfde karakteristieke stroomsnelheid optreden als die in de doorsnede aan het begin van het gebied. In de evenwichtssituatie zal dus in iedere geuldoorsnede, waar dan ook in het stroomgebied, dezelfde karakteristieke stroomsnelheid heersen. In principe geldt dit voor de systemen uit figuur 11.

Voor de Piebe is gebleken dat de gemid. karak. stroomsnelheid volgens fig. 11 niet toepasbaar is. Daarom zal in deze paragraaf getracht worden via een schatting van de werkelijk optredende stroomsnelheden meer inzicht te krijgen in de gedragingen van de geul, als reactie op het veranderende getijvolume.

Er zal een schatting worden gemaakt van de optredende snelheden bij verschillende waterstanden in de drie geuldoorsneden, zowel voor het vullen als ledigen van het gebied.

Mocht de Piebe zich hebben aangepast aan de veranderingen van het getijvolume dan is te verwachten dat de stroomsnelheden in de drie doorsneden nagenoeg gelijk zullen zijn. Tevens zouden de snelheden voor elke geul constant in de tijd moeten zijn bij een gelijke waterstand.

Om deze snelheden te schatten wordt wederom gebruik gemaakt van de gegevens over de samenstelling van het kombergingsvolume en het geuldoorstroomoppervlak uit resp. de paragrafen 9.3 en 9.4 . Deze bevatten ook de gegevens over de gebiedsdelen en de bijbehorende geuldoorsneden zodat tevens de snelheden in het stroomgebied berekend kunnen worden.

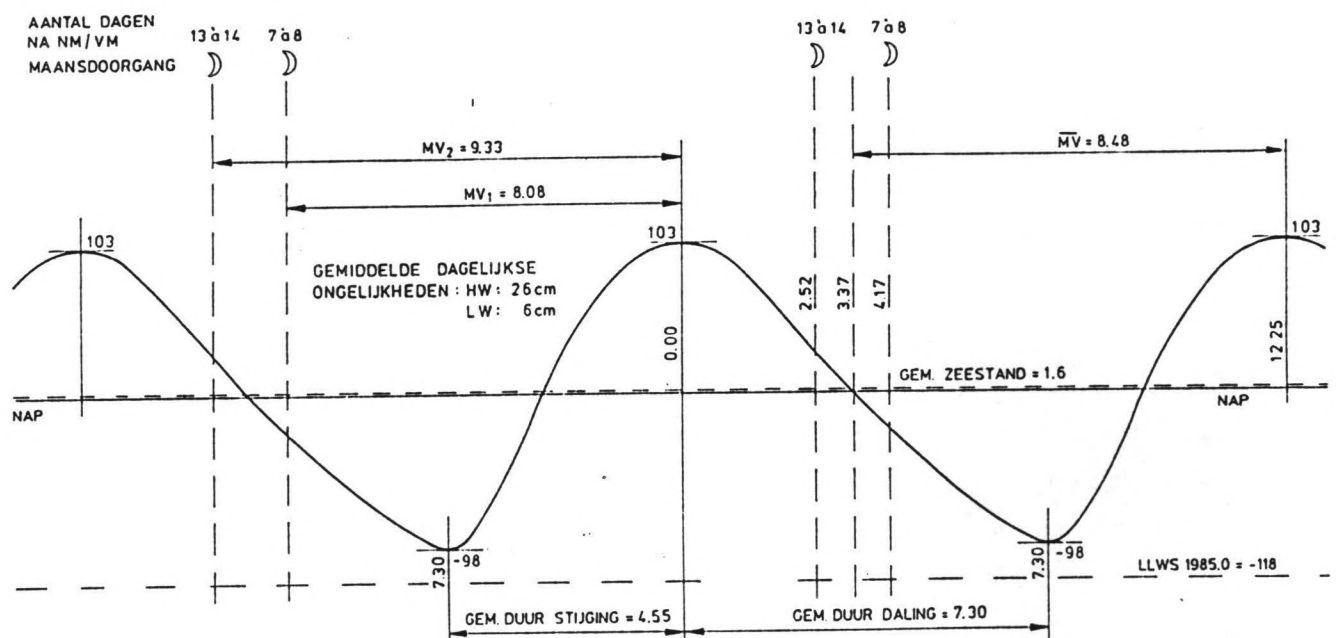


Fig.14 Gemiddelde getijkromme 81.0 te Harlingen

Naast de genoemde twee is nog een derde gegeven nodig, omdat de factor tijd bij de berekening moet worden betrokken. Deze is gevonden in de vorm van de getijkromme. Een getijkromme geeft het verloop weer van de waterstand in de tijd. Hieruit kan, door de waterstand te vervangen door het watervolume dat in het gebied aanwezig is bij die waterstand, een volumekromme worden samengesteld. De steilheid van een raaklijn aan deze kromme geeft het debiet aan. Door nu bij een bepaalde waterstand het debiet te delen door het stroomvoerende geuloppervlak wordt de gemiddelde stroomsnelheid gevonden, bij die waterstand.

In formulevorm:

gemiddelde stroomsnelheid:	$v_{\text{gem}} = Q / A$
steilheid raaklijn aan kromme:	$Q = dV / dt$
stroomvoerend geuloppervlak:	$A = f(t)$
volumekromme:	$V = f(t)$

Bij de berekening is aangenomen dat de verhangen in het stroomgebied van de Piebe klein zijn.

Er is gebruik gemaakt van de getijkromme van Harlingen welke is aangepast aan de gemiddelde waarden van het Hoog- en Laagwater te Schiermonnikoog. Deze getijkromme is afgebeeld in figuur 14. De volumekrommen zijn ondergebracht in Bijlage 6, overigens alleen die voor het vullen van het gebied. Voor het berekenen van de stroomsnelheden bij het ledigen van het gebied was het niet nodig wederom een volumekromme te tekenen omdat de verhouding tussen de steilheid van de raaklijnen aan de getijkromme van het vul- en ledigtraject dezelfde verhouding is als die tussen de stroomsnelheden bij het vullen en ledigen. Met deze verhoudingen zijn de snelheden van het ledigen afgeleid van die van het vullen van het gebied.

De berekening van de snelheden is uitgevoerd voor de volgende waterstanden (t.o.v. N.A.P.):

totale gebied: -1,0 / -0,5 / 0,0 / +0,5 meter

deelgebieden: -0,5 / 0,0 / +0,5 meter

Voor de deelgebieden was het door de geringe hoeveelheid water bij een waterstand van -1,0 meter onder N.A.P. niet altijd mogelijk een representatieve raaklijn aan de volumekromme te tekenen.

Uiteraard zijn de stroomsnelheden bij zowel G.H.W. als G.L.W. (de kenteringen) gelijk aan nul omdat geldt:
 $dV / dt = 0$.

De resultaten van de berekening zijn weergegeven in Tabel 2 A+B. Tevens zijn in bijlage 6 de snelheden per geul uitgezet als functie van de tijd en is voor de geulen 2 en 3 een schatting gemaakt van het snelheidsverloop over één getij.

9.5.4 Bespreking Resultaat Snelheidsberekening

Helaas is het aantal resultaten voor geuldoorsnede 1 zeer beperkt. Het was hierdoor niet mogelijk om van deze geuldoorsnede een verloop van de snelheden over één getij weer te geven. Het aantal resultaten is zo beperkt omdat deze doorsnede diep in het stroomgebied ligt en pas stroomvoerend wordt bij een waterstand rond N.A.P.. Uit de resultaten blijkt dat de snelheden in deze doorsnede niet veel van elkaar verschillen met uitzondering van die uit '74 bij een waterstand van N.A.P. -0,5 m., zowel bij vloed als bij eb. Deze uitzondering is te wijten aan de invloed van de zandwinningsput die het kombergingsvolume en het doorstroomoppervlak van de geul heeft vergroot. Na '74 zijn beide echter zeer sterk afgenomen waardoor alleen de snelheid uit '74 kon worden bepaald bij deze waterstand.

De stroomsnelheden in geuldoorsnede 2 zijn bij de waterstanden N.A.P. en N.A.P. +0,5 m. toegenomen in de tijd. Dit geldt ook voor die bij de waterstand N.A.P. -0,5 m. maar hierbij is wederom '74 een uitschieter. De verklaring hiervoor is dat in de periode '60 - '74 het kombergingsvolume van het gebied lager dan N.A.P. -0,5 m., dat

		Waterstanden t.o.v. N.A.P.			
		-1,0	-0,5	0,0	+0,5
1955	geul 1	-	-	-	-
	geul 2	-	0,158	0,189	0,089
	geul 3	-	0,262	0,346	0,136
1960	geul 1	-	-	0,301	0,242
	geul 2	0,233	0,261	0,294	0,225
	geul 3	0,354	0,328	0,395	0,231
1974	geul 1	-	0,647	0,286	0,161
	geul 2	-	1,116	0,300	0,199
	geul 3	0,255	0,882	0,562	0,288
1982	geul 1	-	-	0,224	0,181
	geul 2	0,064	0,335	0,331	0,258
	geul 3	0,026	0,693	0,555	0,350

TABEL 2A : GEMIDDELDE VLOEDSTROOM SNELHEDEN in M/S

bediend wordt via deze geul, gelijk gebleven is maar het doorstroomoppervlak met ca. 40% is afgenomen. De snelheden liggen in in deze doorsnede gemiddeld boven die in geuldoorsnede 1.

Geuldoorsnede 3 vertoont een aantal overéénkomsten met doorsnede 2 doch gemiddeld liggen de stroomsnelheden hoger. Ook hier is weer de relatief hoge snelheid in '74 te zien bij de waterstand N.A.P. -0,5 m.. Deze is echter in doorsnede 3 minder uitgesproken dan in doorsnede 2. De snelheden in doorsnede 3 zijn eveneens gemiddeld toegenomen in de tijd. Dat dit niet geldt bij een waterstand van N.A.P. -1,0 m. is te verklaren uit de sterke verkleining van de geul waardoor de steilheid van de raaklijn aan de volumekromme (het debiet) is afgenomen en er nauwelijks nog sprake is van enige stroming.

De resultaten van de via een berekening geschatte gemiddelde stroomsnelheden geven aan dat een vergelijk met de karakteristieke stroomsnelheden in de grote systemen niet opgaat. De karak. snelheden hebben, in de evenwichtssituatie (fig. 11), in ieder jaar eenzelfde waarde of vertonen een verloop naar een vaste waarde wanneer er zich een evenwicht aan het instellen is. De berekende gem. stroomsnelheden in de doorsneden van de Piebe vertonen echter een toename in de tijd waarbij geen verloop naar een vaste waarde is te constateren. Daarnaast zijn de karak. snelheden in verschillende geuldoorsneden in de grote systemen aan elkaar gelijk of vertonen een verloop naar een evenwichtswaarde terwijl in het geval van de Piebe de berekende gem. stroomsnelheden per geul verschillend zijn; zij nemen toe naarmate de doorsnede dieper in het stroomgebied ligt.

Omdat een vergelijking van de karak. stroomsnelheden met de gem. stroomsnelheden niet opgaat, en geen stabilisatie van de gem. str.snelheid op een vaste waarde is gevonden, is het niet mogelijk om uitgaande van de snelheden een vaste relatie aan te geven tussen het doorstroomoppervlak van de Piebe en het getijvolume. Toch kan, uit het verloop van de berekende gem. snel-

		Waterstanden t.o.v. N.A.P.			
		+0,5	0,0	-0,5	-1,0
1955	geul 1	-	-	-	-
	geul 2	0,067	0,090	0,069	-
	geul 3	0,102	0,165	0,115	-
1960	geul 1	0,181	0,144	-	-
	geul 2	0,169	0,140	0,115	0,155
	geul 3	0,173	0,188	0,144	0,238
1974	geul 1	0,121	0,136	0,284	-
	geul 2	0,149	0,143	0,490	-
	geul 3	0,216	0,268	0,387	0,169
1982	geul 1	0,136	0,107	-	-
	geul 2	0,193	0,158	0,147	0,042
	geul 3	0,262	0,265	0,304	0,017

TABEL 2B : GEMIDDELDE EBSTROOM SNELHEDEN in M/S

heden en de veranderingen van het doorstroomoppervlak en getijvolume, iets gezegd worden over de mogelijke gedragingen van de geul en het wad in de nabije toekomst.

In de waddenzee is sprake van een asymmetrie in het getij (vloeduur veelal korter dan ebduur) hetgeen gewoonlijk hogere vloed- dan ebsnelheden ten gevolge heeft. In de Piebe is deze asymmetrie ook aanwezig en zijn de vloodsnelheden gemiddeld 35% hoger dan de ebsnelheden. Dit verschil veroorzaakt onder normale omstandigheden een resulterend sedimenttransport richting de Waddenzeekust en de wantijen. Voor de Piebe betekent dit dat er een sedimentimport is via de geul. Over de beweging van het sediment kan nog het volgende worden opgemerkt.

De stroomsnelheid waarbij een bodemdeeltje erodeert ligt hoger dan die waarbij bezinking optreedt. Omdat de gem. stroomsnelheden in de Piebe landinwaards afnemen betekent dit dat het sediment langzaam naar binnen zigzagt totdat het bij vloed zover naar binnen is gekomen dat de lokale eb- en vloodsnelheden niet meer voldoende zijn om het te eroderen.

Het feit dat de stroomsnelheden in de Piebe gemiddeld zijn toegenomen zou kunnen wijzen op een sterkere afname van het doorstroomoppervlak dan die van het getijvolume. Dat dit inderdaad het geval is blijkt uit eerdere berekeningen; in de periode '55 - '82 nam het getijvolume af met 40%, tegen 60% afname van het doorstroomoppervlak. De grotere afname van het doorstroomopp. zou kunnen betekenen dat de geul nog steeds te groot is voor het getijvolume en in de beschouwde periode niet z'n achterstand heeft weten goed te maken en dus nog achter de feiten aan loopt. Dit zou betekenen dat de geul zich sinds '55 aan het aanpassen is en dus dat in '55 het doorstroomoppervlak al te groot was voor het getijvolume van toen. De vraag is dan hoe deze situatie is ontstaan. Waarschijnlijk speelt de ontwikkeling van het Rif hierbij een rol, doch met zekerheid is dit niet te zeggen.

9.6 De Aanzanding van het Stroomgebied

9.6.1 Inleiding

Alle onderzoeksresultaten tot nu toe wijzen in de richting van een verkleining en verondieping van het stroomgebied van de Piebe. De oorzaak hiervan is deels het verschil in G.H.W.-niveau tussen de jaren '55 en '82, maar het overgrote deel moet toch gezocht worden in de sedimentatie van het gebied. In deze paragraaf zal een berekening worden gemaakt om het verloop van deze sedimentatie tussen de genoemde jaren te kunnen vaststellen.

9.6.2 Sedimentatie-berekening

De berekening van de sedimentatie gaat uit van het principe dat het verschil in watervolume tussen twee jaren is veroorzaakt door erosie, dan wel sedimentatie. Hierbij geeft de grootte van het verschil aan hoeveel materiaal is geërodeerd, dan wel gesedimenteerd.

Er zijn echter een aantal voorwaarden waaraan voldaan dient te worden, wil deze vergelijking opgaan.

Ten eerste moeten de volumes zijn berekend ten opzichte van een gelijk niveau.

Daarnaast moeten de begrenzingen van het stroomgebied bestaan uit natuurlijke dan wel vastgelegde oevers of, wanneer er sprake is van een scheiding tussen twee wateren, uit een begrenzing die ieder jaar op dezelfde plaats gehouden wordt.

Ten derde moet rekening gehouden worden met eventuele menselijke ingrepen in het stroomgebied. Een volumevergroting door onttrekking van sediment is immers niet veroorzaakt door erosie. Evenzo is een zandsuppletie geen natuurlijke sedimentatie.

Om, uitgaande van de resultaten van de volumeberekening uit paragraaf 9.3, de sedimentatie van het stroomgebied

van de Piebe te berekenen, moeten we rekening houden met de drie genoemde voorwaarden.

De volumes uit paragraaf 9.3 zijn berekend tot het G.H.W.-niveau. Omdat dit niveau niet in elk jaar gelijk is, wordt niet aan de eerste voorwaarde voldaan en zullen deze gecorrigeerd moeten worden.

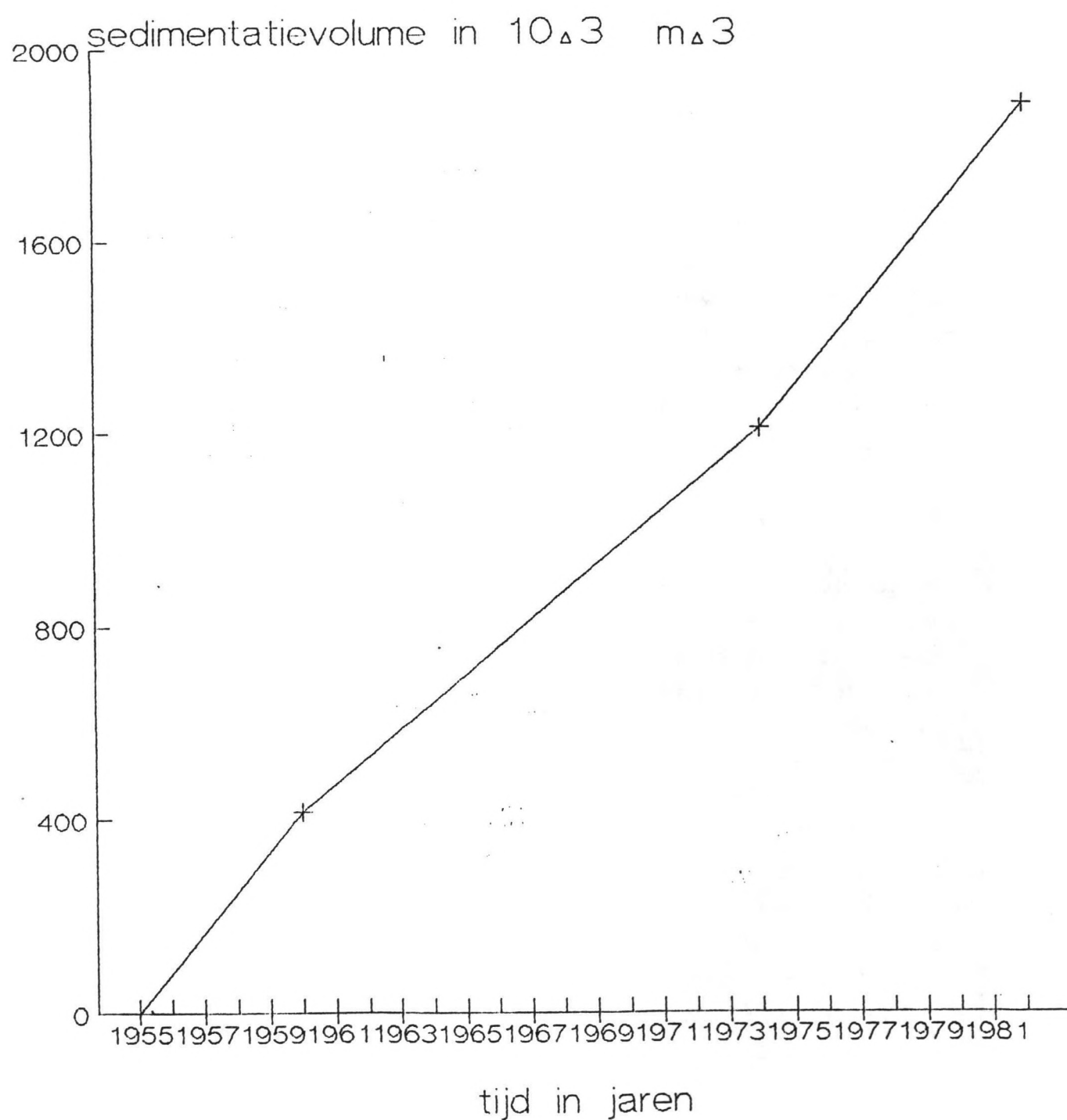
Aan de tweede voorwaarde wordt gedeeltelijk voldaan. In de toegangseul is een begrenzing aangebracht die elk jaar op dezelfde plaats ligt. De begrenzing van het gebied langs het Rif is een natuurlijke, en de noordelijke begrenzing wordt gevormd door de dijk. Deze drie geven dus geen problemen bij de berekening.

De oostelijke begrenzing is een scheiding tussen de stroomgebieden van de Piebe en de Groote Siege welke is aangebracht over de hoogste punten tussen de twee geulen. Omdat deze punten ongeveer op N.A.P.-niveau liggen kan tot dit niveau gesproken worden van een natuurlijke begrenzing. Boven N.A.P. is deze begrenzing ook gebruikt als scheiding tussen water dat wordt aan- en afgevoerd door de Piebe enerzijds en de Groote Siege anderzijds. Deze oostelijke begrenzing is niet in ieder jaar gelijk omdat, door veranderingen in het gebied, de bodemrug tussen de geulen is verplaatst. Hierdoor zit in het volumeverschil tussen de jaren een deel dat bestaat uit het watervolume tussen N.A.P. en G.H.W., dat meegerekend is door het verplaatsen van de begrenzing. Dit zal gecorrigeerd moeten worden om de juiste waarde van de erosie/sedimentatie te krijgen.

De zandwinput die in 1963 in het gebied gezogen is valt onder de derde voorwaarde. Door dit ingrijpen is een volumevergroting ontstaan (er is zand onttrokken) die niet door erosie is veroorzaakt. Het verzanden van de put is wel een natuurlijk proces.

De berekening is gemaakt voor de jaren '55, '60, '74, en '82. Omdat de gegevens van de dieptepeilingen boven het G.H.W.-niveau veelal ontbraken moest, om aan de eerste voorwaarde te voldoen, het laagste G.H.W.-niveau als referentie worden gekozen. Dit betekende dat de volumes

SEDIMENTATIE OVERZICHT



Figuur 15

uit '55, '60, en '74 teruggebracht zijn tot het G.H.W.-niveau uit '82, zijnde N.A.P. +0,85 m..

De berekening is opgenomen in Bijlage 7 . De resultaten hiervan zijn tevens afgebeeld in Figuur 15 ,waarbij 1955 als basis is gebruikt.

9.6.3 Bespreking Resultaat

De resultaten van de berekening geven duidelijk aan dat het stroomgebied van de Piebe onderhevig is aan een sterke sedimentatie. Opvallend hierbij is het bijna lineaire karakter van de sedimentatie-lijn uit figuur 15; de berekende punten liggen practisch op een rechte lijn.

De opbouw van de totale sedimentatie, uit een deel onder en een deel boven N.A.P., laat zien dat in de periode van '55 tot '74 bijna de gehele sedimentatie voor rekening is gekomen van de lagere gebiedsdelen. In de periode '74 tot '82 heeft ook de sedimentatie van het gebied boven N.A.P. een groot aandeel in het totaal. Het kan zijn dat deze verschuiving is veroorzaakt doordat in de eerste periode de "zandhonger" van het gebied onder N.A.P. sterker was dan die van de hogere delen waarna, door een verder gaande aanvoer van sediment, in de tweede periode tevens de "zandhonger" van de hoger gelegen delen kon worden gestild.

De aanzanding van het stroomgebied van de Piebe bedroeg in het tijdvak '55 - '82 gemiddeld 0,022 m/jaar.

Het lineaire karakter van het sedimentatieverloop in de tijd doet sterk vermoeden dat aan deze "zandhonger" nog geen einde is gekomen. Als we daarnaast ook de grootte van de sedimentatie erbij betrekken, in vergelijking met het nog resterende watervolume (sedimentatie ca. 67.000 m³/jaar ; resterend getijvolume ca. 2.200.000 m³), dan moeten we concluderen dat er een somber beeld voor de jachthaven ontstaat.

9.6.4 Aanslibbing van de haven

De voorgaande berekening betrof de sedimentatie van het stroomgebied van de Piebe. De aanslibbing van de havenkom is daar niet in betrokken en zal hier aan de orde komen.

Omdat er jaarlijks in de havenkom gebaggerd wordt om deze op diepte te houden is, met behulp van de daaruit verkregen cijfers betreffende de hoeveelheden verwerkte specie, een schatting te maken van het slibgehalte van het water.

Het baggerwerk wordt in het voorjaar uitgevoerd, waarbij de bodem op ca. N.A.P. - 2,0 meter wordt gebracht. De hoeveelheid specie die daarbij vrij komt bedraagt ongeveer 5000 m³ hetgeen neerkomt op een jaarlijkse bodemaanwas van c.a. 0,36 meter.

De specie wordt sinds enkele jaren naast de oude veerdam, tussen haven en oever, opgespoten om aldaar een recreatieterrein aan te leggen. De manier van baggeren bestaat uit het zuigen van een put in de havenkom die voldoende volume heeft om het bodemmateriaal uit het resterende deel van de kom te kunnen herbergen. Dit materiaal wordt met behulp van een stalen schuiver achter een klein slepertje in de put geschoven. Aldus is de samenstelling van de opgespoten specie niet representatief voor die van het materiaal dat jaarlijks zorgt voor de bodemaanwas in de haven.

Bij Laagwater is echter wel een indruk te krijgen van deze samenstelling. Dan blijkt dat de bodem van de haveningang bestaat uit zand en slib terwijl langs de randen van de kom het slib door inklinking is omgevormd tot klei.

Omdat de verhouding zand -- slib niet bekend is wordt voor de berekening van het slibgehalte van het water uitgegaan van 5000 m³ slib per jaar. De bodem voor de mond van de haven ligt op N.A.P. -0,20 m. zodat het

getijverschil in de haven (G.H.W. = N.A.P. +0,85) 1,05 m. bedraagt.

1 m³ slib = bevat 300 kg. vaste stof
5000 m³ slib/jaar = 1500 ton/jaar vaste stof
getijverschil in de haven : 1,05 m.
kom oppervlak : 14000 m².
aantal getijden: 700 per jaar

$$\frac{1500}{700} = 2,143 \text{ ton/getij}$$

$$\frac{2,143}{1,05} * \frac{1}{14000} = 14,6 * 10^{-5} \text{ ton/m}^3 \\ = 146 \text{ mg/l.}$$

De werkelijke waarde van het slibgehalte zal echter lager liggen door het feit dat een deel van de 5000 m³ die jaarlijks de haven binnen dringt uit zand bestaat. Wanneer we de berekende waarde vergelijken met het sedimentgehalte in een priel nabij Ameland van c.a. 150 mg/l aan het oppervlak (lit. 2) dat kunnen we concluderen dat het berekende gehalte van de Piebe laag is. Omdat de havenkom in open verbinding staat met het wad vormt deze kom een ideale bezinkplaats voor het slib, zeker als men bedenkt dat bij Laagwater het wad droogvalt en in de kom sprake is van stilstaand water. Het jaarlijkse baggerwerk zal dan ook noodzakelijk blijven om de haven op de gewenste diepte te houden.

10. Conclusies

Het onderzoek richtte zich op het verkrijgen van inzicht in de morfologische processen in het stroomgebied van de Piebe. Inzicht in de veranderingen zelf, maar ook in de onderlinge samenhang, om vanuit die kennis een onderbouwde uitspraak te kunnen doen over de verdere ontwikkeling van het gebied en de houdbaarheid van de jachthaven op de huidige lokatie.

Het onderzoek naar de processen heeft een aantal zaken duidelijk gemaakt, maar laat ook een aantal vragen onbeantwoord.

In de periode waarover het onderzoek gaat is het Rif aangegroeid. De sterkste aangroei is waargenomen aan de oost- en westzijde. De oostzijde levert het directe gevaar voor de jachthaven. De uitbreiding aan deze zijde houdt echter verband met het gedrag van de zuidzijde. De eb- en vloedstroming trekken langs de zuidzijde en beïnvloeden daardoor de sediment aan- en afvoer van de beide andere zijden. Geconstateerd is dat sediment (zand) langs de zuidzijde richting het stroomgebied van de Piebe wordt getransporteerd, in de vorm van een zich verplaatsende uitloper van het Rif. Eénmaal aan de zuidoostzijde aangekomen buigt deze uitloper af en verplaatst zich het stroomgebied in. Deze zand toevoer veroorzaakt een sterke verschuiving van de N.A.P.-lijn richting Piebe.

Het G.H.W.-niveau is in de periode '55 -'82 met 0,15 meter gedaald. Hierdoor is het kombergingsoppervlak en volume afgenomen. Deze afname ligt ver onder de gemiddelde toename van 1,4 mm. per jaar voor het totale Wadengebied. Het is echter niet de belangrijkste oorzaak van de afname van het oppervlak en het volume; het grootste deel wordt veroorzaakt door de sedimentatie van het gebied.

Deze sedimentatie heeft het doorstroomprofiel van de Piebe en het wad drastisch veranderd. Het wad is sterk opgehoogd en de Piebe heeft hierdoor z'n functie van aan- en afvoergeul versterkt. Het gevolg was dat de geul

dieper werd. De verder gaande ophoging heeft de geul echter ook versmald. In de loop der tijd is het doorstroomoppervlak van de geul dan ook sterk afgenomen. De uitbreiding van het Rif, de verlaging van het G.H.W.-peil en de ophoging van het wad verkleinen het getijvolume. Voor de grotere systemen als b.v. de zeegaten van de waddenzee bestaat er een lineaire relatie tussen het getijvolume en het doorstroomoppervlak van de geulen. Voor de Piebe gaat deze relatie niet op. Wel is geconstateerd dat de stroomsnelheden in de loop der tijd zijn toegenomen, hetgeen wijst op een sterkere afname van het doorstroomoppervlak van de geul in vergelijking met de afname van het kombergingsvolume. Een reden hiervoor is niet precies aan te geven maar zou kunnen liggen in het feit dat de sedimentaanvoer van buiten het gebied dusdanig groot is dat een evenwicht tussen volume en geuloppervlak niet de tijd krijgt zich in te stellen. Hierbij kan opgemerkt worden dat de scheepvaart door de relatief kleine en ondiepe geul invloed heeft op de grootte van het doorstroomprofiel, ook voor 1962 toen de oude veerdam de aanlegplaats van het veer was. De schepen brengen n.l. al varende bodemdeeltjes in suspensie en beletten daarmee de geul te sedimenteren. Dit verschijnsel is het sterkst direct voor de haven omdat daar de waterdiepte het geringst is en de schepen zeer dicht langs de bodem gaan.

De aanvoer van sediment is zeer groot. Uit de berekening ervan blijkt dat deze een bijna lineair verloop in de tijd heeft. De grootte en het lineaire verloop zijn, zeker gezien het resterende kombergingsvolume een reden om te spreken van een sombere situatie.

Waar het sediment vandaan komt is gedeeltelijk aan te geven. Zoals reeds eerder genoemd "wandelt" het het gebied binnen langs het Rif. Daarnaast komt hoogst waarschijnlijk een deel over het Rif het gebied binnen door de eb- en vloedstroom en de wind. (Bij laagwater valt het Rif doog, het zand droogt en wordt meegenomen door de wind.) Dit blijkt uit de berekening van de sedimentatie, maar is ook te zien aan de vorm van de oostzijde

van het Rif op de luchtfoto van Figuur 7. De derde sedimentbron is de aanvoer van materiaal door de geul, en bij een voldoende waterhoogte ook via het wad. Een verhouding tussen de aandelen van de drie genoemde bronnen in de totale sedimentatie is echter niet aan te geven. Wel kan gesteld worden dat alle sediment uiteindelijk afkomstig is uit de Noordzee.

11. Toekomstverwachting

11.1 Inleiding

Uitgaande van de resultaten van het onderzoek en de daaraan verbonden conclusies zal in dit hoofdstuk een toekomstverwachting worden gegeven van de mogelijke veranderingen in het gebied en de gevolgen hiervan voor de situatie van de Jachthaven.

11.2 De verwachtingen

De resultaten van het onderzoek geven veranderingen weer waarvan het niet aannemelijk is dat de processen, die hieraan ten grondslag liggen, in de komende vijf tot tien jaar beëindigd zullen zijn. In deze periode moet dan ook met de volgende veranderingen rekening worden gehouden.

Het Rif zal door een verdere verkleining van het zeegat nog verder in westelijke richting uitbreiden. Door het sedimenttransport van de vloedstroming zal hierdoor de zuidelijke zijde van het Rif verder aangroeien. Ook aan de oost-zijde zal hoogstwaarschijnlijk de uitbreiding verder doorgaan. Door deze uitbreiding van het Rif zal een steeds groter oppervlak boven G.H.W. ontstaan. Hierdoor zal het transport van materiaal door de wind, over het Rif richting de Piebe, wellicht toenemen en bijdragen aan een snellere aangroei van de oost-zijde van het Rif. De geconstateerde verkleining van het kombergingsoppervlak en volume gaan hierdoor verder.

Uit de afname van het doorstroomoppervlak van de geul is, via de snelheidsberekening, naar voren gekomen dat de aanpassing aan het kleiner wordende kombergingsvolume niet lineair, maar juist sterker is. Verdere afname van het volume zal dan ook een verdere afname van het doorstroomprofiel tot gevolg hebben; het wad zal zich verder ophogen en de geul zelf zal verder verkleinen.

De resultaten van de sedimentatieberekening geven voor de toekomst een somber beeld, zeker als we het resterende kombergingsvolume vergelijken met de sedimentatiesnelheid.

Voor de jachthaven zijn de bovengenoemde processen verre van positief.

Omdat de waterdiepte ter plaatse van de haveningang niet meer dan 1,20 meter bedraagt bij G.H.W., is de toegankelijkheid van de haven erg gevoelig voor een verdere ophoging van het wad. Dat het wad inderdaad ophooft blijkt uit de lodingsgegevens en is duidelijk te zien in figuur 10 B; de havenmond wordt steeds meer ingesloten door de N.A.P.-lijn. Het varen en de stroming in en uit de haven hebben voorkomen dat de haventoeegang geheel afgesneden is van het gebiedsdeel onder N.A.P.. De snelheid waarmee de havenmond wordt ingesloten, en een verdere ophoging van het wad, geven echter geen zekerheid over het op diepte blijven van de toegang naar de haven. Hierbij is de meest aannemelijke verwachting dat de N.A.P.-lijn aan de west-zijde verder zal opschuiven richting de haven waardoor het toegangsgeultje zal verplaatsen naar het Oosten en onder een steeds grotere hoek zal komen te liggen met het verlengde van de oude veerdam. Een verdere sedimentatie vanaf de Rifzijde zal echter toch leiden tot een verondieping van het gebied voor de haven en daardoor de maximale diepgang van de schepen verder begrenzen. Door de verwachte sedimentatie van het gebied zullen de problemen met de diepgang van de schepen op een steeds grotere afstand van de haven beginnen.

Dit alles betekent dat er de komende vijf tot tien jaar problemen zullen ontstaan met de bereikbaarheid van de haven waardoor ernstig moet worden getwijfeld aan de houdbaarheid op de huidige lokatie.

Hoe de situatie zich op de langere termijn, c.a. vijftig jaar, ontwikkelen zal is een moeilijk te beantwoorden vraag. Uit het hoofdstuk over de geschiedenis van de Westpunt van het eiland blijkt hoe dit deel van het eiland en het wad in de loop der tijd is veranderd

waarbij sprake was van zowel aangroei als van verlies van land en een sterk wisselend geulenpatroon. Hoelang de processen die de laatste dertig jaar het gebied hebben veranderd zullen voortduren is daarom een niet te beantwoorden vraag, evenmin als de vraag of de huidige processen zullen versnellen dan wel vertragen. Dit maakt het onmogelijk om een uitspraak te doen over de situatie van het gebied rond de jachthaven op de lange termijn.

12. Aanbevelingen

De geconstateerde en verwachte veranderingen van het gebied zijn van een dusdanige aard en omvang dat het zeer moeilijk is gerichte maatregelen te nemen om de haven veilig te stellen.

Omdat de toegankelijkheid van de haven voor schepen met de huidige toegestane diepgang (1,20 meter) als eerste in gevaar komt, omdat de nu reeds geringe diepte van het gebied voor de haven zeer waarschijnlijk verder zal afnemen, zal hier als eerste een oplossing voor worden gezocht.

Het jaarlijkse baggerwerk in de havenkom is onvermijdelijk. Dit jaarlijks baggeren zou, bij problemen met de diepte van het toegangsgebied, kunnen worden uitgebreid tot buiten de haven om een doorgang naar dieper water te verkrijgen. Hierbij is het echter wel noodzakelijk dat er een drempel voor de haven instand blijft wegens het niet mogen droogvallen van de havenkom. Tevens is het raadzaam de baggerspecie buiten het gebied te storten, daar iedere verkleining van het kombergingsvolume gevolgen heeft voor het doorstroomprofiel.

Om de uitbreiding van het Rif richting de Piebe te verminderen zou gedacht kunnen worden aan het aanbrengen van een stuifscherm op het boven G.H.W. gelegen deel en een scherm op het lagere deel tegen het sedimenttransport vanaf het Rif bij hoge waterstanden.

De zandwinningsput uit 1963 heeft een duidelijke positieve invloed gehad op het doorstroomoppervlak van de geul, met name in deelgebied 1, dus voor de haven. Er kan dan ook gedacht worden aan het kunstmatig vergroten van het kombergingsvolume door een hoeveelheid bodemmateriaal uit het gebied te verwijderen. Omdat de problemen met de haven als eerste voor de haven zullen optreden zal de volume vergroting op een zodanige plaats moeten worden aangebracht dat bijgedragen wordt aan een verdieping van juist dit gebied. Gezien de gevolgen van de put uit 1963, waarbij ongeveer een half miljoen m³ grond is verwijderd, moet gedacht worden aan een volume-

vergroting in dezelfde orde, wil dit enig effect sorteren. Eén mogelijkheid hiervoor is het maken van een doorgang naar de Westerplas en deze te verdiepen (Bij de huidige bodemligging is de bijdrage aan een volumevergroting practisch nihil). De schoonheid van deze plas, het is een natuurgebied, maakt deze mogelijkheid echter ongedaan.

Een tweede mogelijkheid is het wederom zuigen van een put naast de oude veerdam en het verbinden van de put met het resterende geultje voor de haven. Er moet echter worden bedacht dat dit een tijdelijke oplossing is; van de put uit '63 is in '82 niets meer terug te vinden. Deze oplossing zou goed gecombineerd kunnen worden met het plaatsen van schermen op het Rif. Op deze manier wordt voorkomen dat de put binnen enkele jaren door sediment afkomstig van het Rif z'n omvang verliest. Grotere ingrepen in het gebied in de vorm van het verbinden van de haven met de Groote Siege d.m.v. het baggeren van een geul, om het gebied te laten voeden door deze geul en hem zodoende instand te kunnen houden, zullen waarschijnlijk niet succesvol zijn. De vloed komt vanuit het Westen en loopt langs, en over, het Rif via de Piebe het gebied in. De ebstroom volgt dezelfde weg. Deze stomingen zullen de kortste weg kiezen en daardoor niet via een verbindingsgeul tussen haven en Groote Siege lopen waardoor deze alleen met veel baggerwerk open te houden zal zijn. Wordt de Piebe hierbij afgesloten dan ligt de situatie iets gunstiger. Dit vergt echter veel werk en brengt hoge kosten met zich mee omdat over een zeer grote afstand een vaste begrenzing zal moeten worden aangebracht.

Als oplossingen voor de verwachte problemen in de komende vijf tot tien jaar zijn daarom het doorzetten van het baggerwerk tot dieper water en het zuigen van een put in de buurt van de haven de meest gunstige en waarschijnlijk minst dure mogelijkheden, eventueel samen met het plaatsen van een scherm op het Rif.

Literatuur.

1. Endema, D,
Grootheden/gevevens Waddenzee,
Waddeneilanden en Noordzeekust,
R.W.S. Studiedienst Hoorn,
Nota WWKZ-79, H 003
2. Rijkswaterstaat,
Zandwinning in de Waddenzee,
Reultaten van een hydrografisch-sedimentologisch
onderzoek,
Werkgroep 1, R.W.S. directie Friesland,
Leeuwarden, Februari 1981
3. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren,
Getijtafels voor Nederland,
(1955 t/m 1987)
4. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren,
De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap
Project Geomor,
Nota DGW. AO 87.029, Geomornota 87.02
5. Reitsma en Bakker,
Landgebruik op Schiermonnikoog,
Vroeger en Nu,
uit: Waddenbulletin
jaargang 21 (1986), no. 2

Herkomst Foto's: Aerophoto Eelde.

