

Keep

GEOMORFOLOGIESE PROSESSE EN DIE MENS: DIE GEVAL VAN DIE KUISEBDELTA, S.W.A.

W. S. BARNARD
(Ontvang: Augustus 1974)

ABSTRACT: GEOMORPHOLOGICAL PROBLEMS AND MAN: THE CASE OF THE KUISEB DELTA, SOUTH WEST AFRICA

The morphology of the lower course of the Kuiseb and its environs reflects an interaction among three geomorphological agents operating at different levels of intensity and frequency: running water, waves and wind. The delta, probably of Holocene age, consists of alternating layers of sand and silt, deposited by stream-floods from the Kuiseb River in an estuary, which is in the process of being sealed off by a northward lengthening of the Pelican Point spit and a westward progression of the sandy beach. The area displays six different landforms of aeolian sand, two of which developed on the delta itself. Fluvial deposits and, to a lesser degree, sand deflated from the beaches and lagoon flats, supply the material which is rearranged as dunes. Transverse dunes, orientated at angles ranging from 116° to 139° in relation to the geomorphologically dominant south-southwesterly winds, advance at measurable rates and tend to lengthen themselves laterally towards the left across the rugged delta surface. The shaky equilibrium between geomorphological agents and landforms may be disrupted by the residential growth of Walvis Bay, the tapping of subsurface water from, and flood and drift sand embankments across the Kuiseb delta. Drift sand, nevertheless, does not pose an insuperable problem. Two possible strategies of handling the problem are suggested: one of avoidance and one of containment.

1. Inleiding

Woestynlandvorme weerspieël die werk van twee tipes gradasieprosesse: die één van 'n hoë frekwensie en lae intensiteit, en die ander van 'n lae frekwensie en hoë intensiteit, die gedurige knaag van die wind teenoor die seldsame maar heftige vloedstote van ariede riviere. Dit laat 'n landskap kwesbaar vir menslike ingryping eenvoudig omdat die mens dit moeilik vind om hierdie twee prosesse teen mekaar op te weeg. As 'n rivier drie-vier keer in menseheugenis afkom, kan 'n mens 'n betroubare jaargemiddelde afloopsyfer bereken en is dit moontlik om 'n veilige onttrekkingsyfer te skat vir 'n korswaterbron wat deur daardie rivier gevoed word? Dit is die dilemma van die menslike benutting van die Kuisebdelta.

Die mees suidelike van die drie ariede deltas aan die kus van Suidwes-Afrika, vorm die delta van die Kuisebrivier terselfdertyd die fokus van die grootste bevolkingskonsentrasie langs die hele 2 300 km-lange kuslyn tussen Kaapstad in die suide en Mossamedes in die noorde. Hierdie konsentrasie omvat die gemeenskappe van Walvisbaai en Swakopmund met 'n gesamentlike bevolking van 30 000 wat terselfdertyd noodsaaklike hawe- en ontspanningsfunksies ten opsigte van die ekonomie van Suidwes-Afrika vervul. Bou- en konstruksiewerke, verkeerweë, menslike beweging en waterbenutting gryp dus in op twee vlakke van landvormkomplekse: op mesovlak in die wisselwerking tussen *verskillende* geomorfologiese prosesse en op mikrovlak by die *individuele* prosesse. Dit beteken, eerstens, 'n oorsig oor die vorme, prosesse en menslike tussenkoms op die Kuisebdelta in sy geheel en daarna 'n oorsig oor die vorme van één geomorfologiese proses, nl. wind, en die impak van menslike tussenkoms daarop.

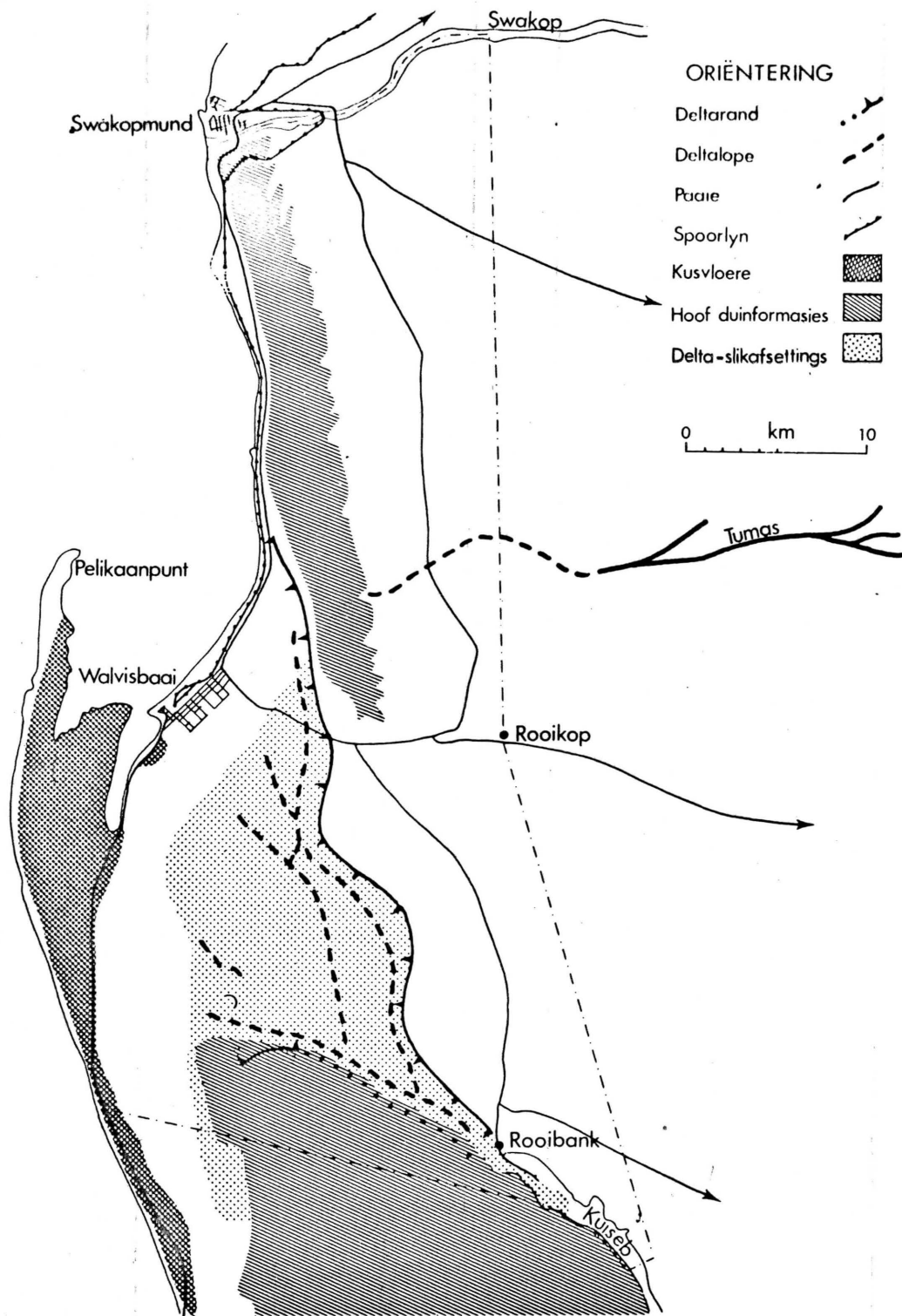
2. Die Kuisebdelta

2.1 Morfologie

Ontwikkel oor 'n oppervlakte van 315 km², verskil die *Kuisebdelta* van soortgelyke deltas verder na die noorde deurdat dit, gedeeltelik altans, 'n estuariene opvulsel is. Die vorm is dus tot 'n 57°-sektor ingeperk, met 'n apeks 4 km wes van Rooibank 90 meter bo seespieël en 25 km stroom op vanaf Walvisbaai. Drie primêre deltalope, 'n goed-gedefinieerde en 13 km-lange suidarm, 'n middelarm en 'n swakker gedefinieerde, 27 km-lange noordarm bou die kenmerkende verdelende stroompatroon. 'n Aantal sekondêre lope verskaf onderlinge verbinding veral tussen die middel- en noordarms, maar ongeïntegreerde klaarblyklik ouer lope kom ook voor. Aan die noordekant is die delta duidelik begrens, eers deur 'n goed gedefinieerde terras-eskarp wat vanaf 4,5 meter hoogte net oos van kabelstasie teenaan die see verskerp tot 10 meter 'n 17 km na die suidooste, daarna deur 'n breër gedempgolwende sone van grys Salemgraniet wat tot 3 km breed kan word maar nêrens hoër as 20 meter bokant die deltavloer uitstaan nie. Aan die suidekant stoot waaisand tot teenaan die suid-arm sodat 'n duidelike begrensing slegs in die uiterste suidweste as 'n 1 000 meter lange terras van 4 tot 8 meter hoog tussen noordweswaarts-groeiende lengteduine onderskeibaar is. Die delta is geplaas in 'n dramaties kontrasterende landskap van hoë duine, en grys-wit vlaktes. Noord van die delta tot aan die Swakoprivier strek die 5 km smal *Swakopduineksklawe* hom oor 'n terras van mariene gruis uit. Dit is 'n gebied van komplekse sandspitse, 80 tot 120 m hoog in die suide en ooste, maar met laer transversaal neigende riewe in die weste en veral in die noorde, waar die sand as 8 tot 15 meter hoë transversale duine oor die suidoewer van die Swakoprivier stort. Na die suide stoot die groot *sentrale duinsee* van die Namib in 60 tot 80 meter hoë lengteduine tot teenaan die Delta. Weliswaar maak talle sekondêre transversale riewe die algemene noord-suidpatroon minder skerp as na die ooste maar ware transversale duine is slegs tot 'n 2 km breë sone aan die weste beperk – smaller as langs enige deel van die kus noord van Franciskusbaai.

Na die noordooste strek die glimmerende vlaktes van die Namib. Tussen Rooikop en die delta het 'n *woestynplaveisel* ontwikkel oor dieselfde mariene gruis wat die Swakopduineksklawe onderlê en word plek-plek deur gipskreet gebind. Oor grofkristallyne gesteentes verder binnelandwaarts volg 'n sag-golwende *pediment* met 'n lokale reliëf van 30 meter en versag deur gruisvulsels in die laer dele wat aan die oppervlakte eweneens tot 'n woestynplaveisel omvorm is. Verspreide dolerietdyke, die marmerrug van die Hamiltonberge en enkele eilandberge soos Rooikop en Swartbankberg breek die eentonigheid. Belangriker in hierdie studie is die 150 meter breë loop van die Tumasrivier, wat net noord van die delta deur die Swakopduineksklawe geblokkeer word.

Slegs een-kwart van die deltafront grens aan die see – dié deel waar die dorp Walvisbaai ontwikkel het. Verder suidwaarts gaan die delta oor in 'n 1 tot 5 km breë *kusvloer*, wat vanaf die *lagune* in die mik van Walvisbaai 'n 34 km suidwaarts tot byna teenaan Sandvishawe strek. Met die uitsondering van enkele fossielsandknoppe is hierdie vloer so plat soos 'n tafel, slegs 1 tot 2 meter bo gemiddelde seevlak en onderlê deur 'n grondwatertafel van slegs 30 – 50 cm onder die oppervlakte. Die algemeenste mikroreliëf is adhesieriffels, 1 tot 4 cm hoog, maar bros soutplate van tot 1 meter in deursnit en 1 tot 5 cm dik en strandsteendagsome na die westekant, verskaf afwisseling. Met 'n 4-7° seewaarts duikende voorstrand en 'n tot 400 meter breë en plat agterstrand wat naastenby 1½ meter bokant die kusvloer uitstaan, volg 'n *strandwal* byna die hele lengte van oop kuslyn vanaf 7 km suid van Pelikaanpunt tot by Sandvishawe. Hoewel aktiewe sandknoppe van *Salsola nollothensis* die morfologie van die strandwal suidwaarts kompliseer, breek suidwestewindstormgolwe sporadies oor

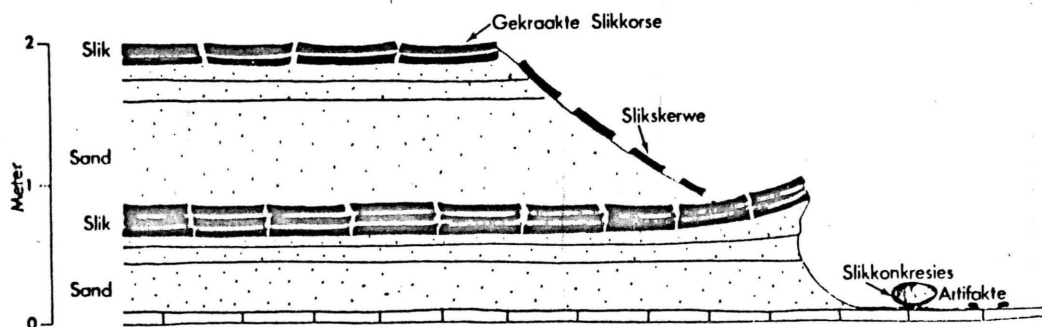


die agterstrand in die omgewing van die grensbaken van die Walvisbaaigebied en sprei seawater oor die kusvloer.

2.2 Die materiaal van die deltavloer

Twee terreintipes vorm die deltavloer: goed sewe-agstes word deur fluviële afsettings onderlê wat na die noordweste, teenaan die see, tog neig om hul gelaagde karakter te verloor, terwyl 'n soutmoeras oor 'n 40 km² in die suidwestelike hoek naastenby tussen die suid- en middelarms ontwikkel het.

KUISEBDELTA: Skematiese Voorstelling van Deflasieholtes



FIGUUR 2

Afgesien van geïsoleerde en klein blootstellings van swak-afgeronde rolklippe („cobbles”) naby die apeks, is die delta-afsettings van die Kuisebrivier feitlik deurgaans materiaal van sand- en slikgrootte. Gerangskik in horisontale lae van 10 tot 50 cm in dikte bedek die mikaryke slik die ondergeleë, gelamelleerde maar los sande. Afgestroop waar die Kuisebbedding die lengteduine van die sentrale duinsee afknot, verteenwoordig die sand materiaal wat tydens vinniger vloei vroeg gedurende 'n vloedstoot neergelaat is en die sliklae materiaal van latere en stadiger vloei. Na uitdroging kraak die sliklae en vorm 'n kors met ortogonale skerwe van tot 1 meter in deursnit. Die oop krake laat die weg vir die deflasie van die los, oordekte sande oop, sodat winduitwanning 'n vloer van afwisselende deflasieholtes en terrasvlakke met 'n lokale reliëf van naastenby 3 meter in die suide en 1 meter in die noorde skep. Tot twee sulke slik-en-sandstelle kan tegelykertyd blootgestel wees, maar dit is selde dat die dikte van een so 'n stel 1½ meter oorskry. Dit, tesame met oppervlakteriffelmerke in die slik, suggereer dat die stroom van die Kuiseb nooit diep kon gewees het nie, die diskusvormige of langwerpige maar goed afgeronde slikkonkresies van tot 70 cm in lengtedeurnit wat sporadies in die slikkorse voorkom, dui op stadige vloei en die blootstelling van talle potskerwe, ashope en selfs doodkiste bevestig dat afsetting 'n uiters resente verskynsel is.

Die soutmoeras staan skerp met betrekking tot die slikkorse van die romp van die delta afgebaken. In samestelling is die materiaal van die soutmoeras ook slik en fyn sand, maar die hoof kontrole is 'n grondwatertafel van slegs 1 tot 1½ meter onder die oppervlakte wat 'n byna aaneengeslote plantegroei van fluitjiesriet (*Phragmites australis*), brakkweek (*Odysea paucinervis*) en *Lycium tetrandum*-struik onderhou. Verdamping en die gedurige kapillêre styging van korswater vanaf benede konsentreer haliet in die boonste grondlagies

en vul dit gedurigdeur aan. Die resultaat is 'n donkerbruin opgebreekte kors van tot 1 cm dik wat 'n mikroreliëf van 10 tot 15 cm bo die oppervlakte wys. Klein en feitlik gelyke sandplate staan plek-plek 1 tot 1½ meter bokant die vloer van die soutmoeras uit.

2.3 *Agente en prosesse*

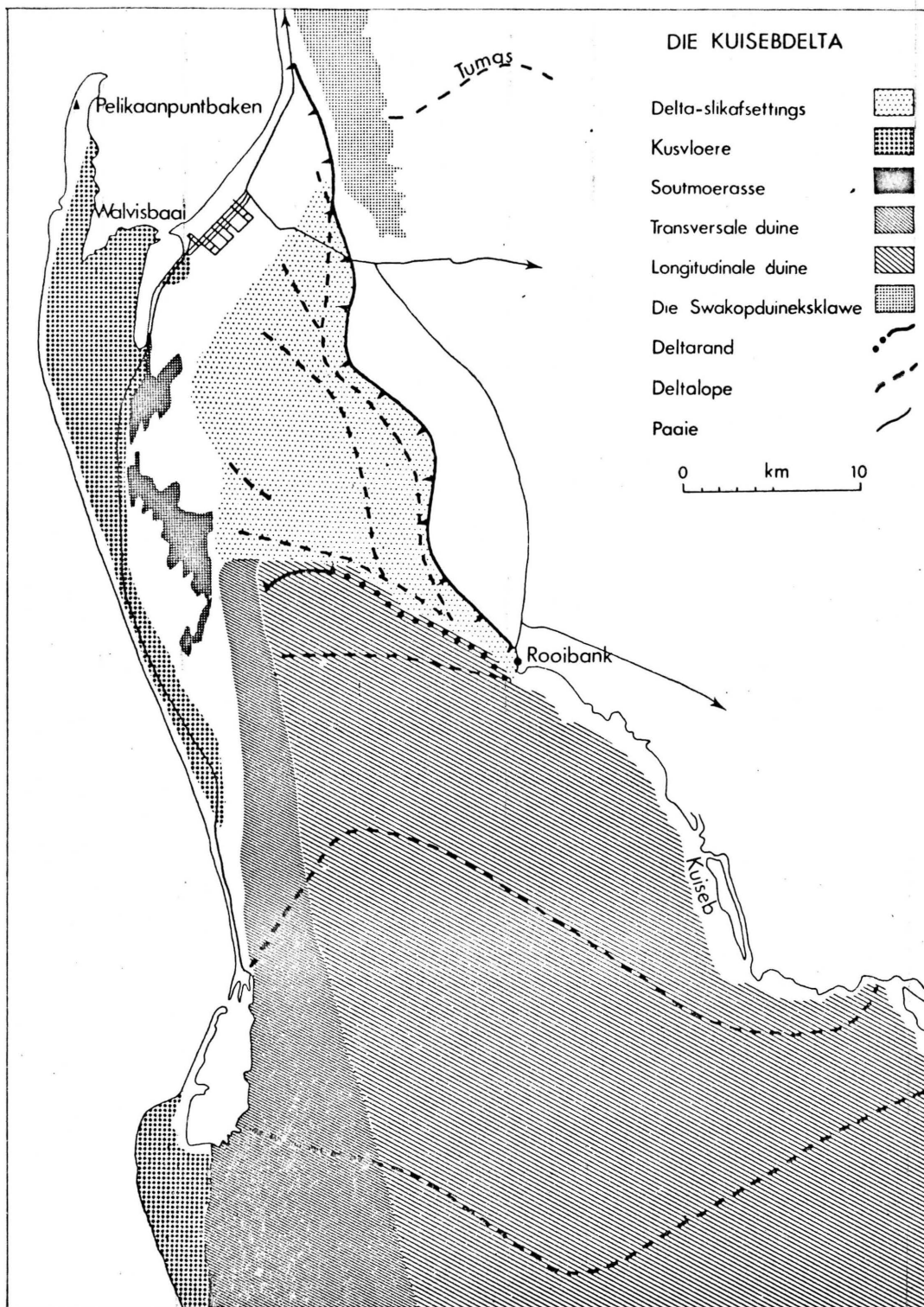
Die Kuisebdelta-kompleks kry sy huidige vorm deur 'n wisselwerking van veral drie prosesse, nl. stroomaggradasie, windaggradasie en branderaggradasie. Eersgenoemde en laasgenoemde word in groter besonderhede hier bespreek.

2.3.1 *Die Kuisebrivier.* Die Kuisebdelta self is gebou deur materiaal wat die Kuisebrivier vanaf 'n opvanggebied in die Khomashoogland onderlê met Damaramikaskiste en langs sy loop van 140 km langs die sentrale duinsee opgetel het. Tipies van 'n eksotiese rivier, dra die beperkte Khomashooglandgebied van slegs 6 500 km² van die totale 17 500 km² van die dreineerbekken, die leeu-aandeel van die afloop by. Hierdie deel ontvang egter 'n jaargemiddelde neerslag van 350 tot 250 mm. Trouens, oor die eerste 170 km van sy loop, tot by die Schlesienmeetstasie, groei die afloop van die rivier geleidelik aan; langs die orige 170 km stroomaf na Walvisbaai-neem dit weer af. Tussen 1960/61 en 1972/73 het die rivier elke jaar by Schlesien gevloei, akkumulatief vir 433 dae. By Rooibank het die rivier slegs in 7 van die 13 jaar gevloei en by daardie geleenthede altesaam vir 91 dae. Die één keer wat die rivier goed afgekom het, nl. in 1963, was die afloopomvang by Rooibank egter skaars minder as by Schlesien, nl. 122 Mm³ teenoor 129 Mm³. Die erosievrag by dié geleentheid is op 16 Mm³ geskat. Historiese gegewens wat Stengel versamel het, dui daarop dat die rivier in die 137 jaar tussen 1837 en 1973 15 keer tot anderkant die delta gevloei het, gemiddeld een keer in 9 jaar.

Die verminderende afloop langs die Kuisebbenedeloop skep ideale omstandighede vir aggradasie, veral stroomaf van die delta-apeks waar die Kuiseb doeltreffendheid inboet deur in drie lope te verdeel. Nogtans is aggradasie en degradasie alternerende prosesse. In jare van groot afloop stroop die rivier materiaal van sy bedding af, maar in die meer dikwelse jare van swak afloop, word dit opgevol. Die groot oorstroming van 1963 het byvoorbeeld die bedding van die suidarm naby die apeks met 1½ tot 2 meter verlaag, in 1973 het die suidarm byna 2½ meter hoër as die afgesnyde middelarm gelê. Kaarte oor die hele periode tussen 1885 en 1922 laat egter geen twyfel nie dat die meeste afloop gekonsentreer was langs die middelarm wat net suid van Walvisbaai-dorp in die lagune uitgemond het nie. Die eerste kaart wat die suidarm aandui, was die 1:50 000 topokaart van 1943 wat suggereer dat hierdie arm stellig 'n ou loop is wat òf deur die 1923 – òf deur die 1934-vloed herstel is. Vier stappe kan in die ontstaan van die delta tot sy huidige vorm gepostuleer word:

- (a) 'n Opdamming van die Kuiseb gedurende 'n droë fase toe die duingordel nie slegs meer aaneengeslote was nie maar ook verder noordwaarts gestrek het.
- (b) 'n Deurbraak van die rivier deur die duingordel na 'n oseaan met 'n laer stand as die huidige.
- (c) 'n Styging van die see-oppervlakte wat die Kuisebmonding in 'n estuarium omskep.
- (d) Die opvulling van die estuarium met slik en sand.

Hierdie gebeurtenisse hou met klimaatsveranderinge aan die einde van die Würmglasiaal verband. Die droër fase kon met die laer seevlakstand van die Würm ongeveer 15 000 tot 20 000 jaar gelede saamgeval het, die reënryke fase met die verhoogde neerslag van 'n 12 500 tot 7 000 jaar gelede. Die eerste postulaat klop met Wieneke en Rust se interpretasie



FIGUUR 3

van die Kuisebbedeloop, die tweede postulaat met onafhanklike aanduidings van groter afloop in Namibriviere. Gedurende droër tydperke verder terug in die geologiese verlede is die Kuisebmonding egter gedurig noordwaarts deur waaisand geskuif. Geofisiese ondersoek dui ten minste drie sulke ou lope aan.

2.3.2 Die Benguelaseestroom. Hoewel die noordwaartse vloei van die Benguelastroom op die breedte van Walvisbaai meer gekompliseerd raak, bly dit 'n belangrike geomorfologiese agent. Groot massas sand beland langs die 150 km van Langen Wanden van die sentrale duinsee in die brandingsone, sodat die kuslyn tussen Sandvishawe en Swakopmund tans sterk prograderend is. Twee prosesse dra tot die groei by: 'n weswaartse verskuiwing van die strandlyn deur kerf-en-opvul en 'n noordwaartse uitbouing van haakwalle. Sowel die kusvloere suid van Sandvishawe as wes van die Walvisbaai-lagune toon 'n groot aantal strandriwwe, in breë trekke ewewydig met die huidige kuslyn. By Walvisbaai lê die riwwe tot 2½ km van die huidige voorstrand, is tot strandsteen gekonsolideer en duik weswaarts teen hoeke van laer as 5°. Skeepswrakke lê tot 200 meter van die huidige voorstrand af verwyder, en verskaf 'n rowwe manier om die koers waarteen strande hulself uitbou, te skat. By Conceptionbaai lê die *Eduard Bohlen*, wat in 1910 op die sand geloop het, vandag 198 meter van die gemiddelde hoogwatermerk, 'n verskuiwing dus van 3,4 meter per jaar. Dit is egter onwaarskynlik dat hierdie tempo oral langs die kuslyn gehandhaaf word. Nog belangriker is die verlenging van haakwalle waardeur baaie, lagunes en kusvloere ontstaan. Die haakwal beskut eers die baai, sluit dit mettertyd tot 'n lagune af, en uiteindelik droog die lagune op tot plat kusvloere. Tot 1889 het oseaanvarende skepe by Sandvishawe aangedoen; vandag, na meer as 80 jaar, bied dit geen toegang selfs vir klein vissersbote nie. Walvisbaai is nog oop maar tussen landmeter Wrey se kaart van 1885 tot die mees onlangse lugfotografie in 1969 het Pelikaanpunt 1 980 meter gegroei, 'n koers van 23,6 meter per jaar. Die lagune en kusvloer in die mik van die baai bevind hulle dus al verder van die oop see, hoewel dele soms met hoogwater oorstroom word, 'n verskynsel waaroor die suidwestewind 'n sterk kontrole het. Onder sulke omstandighede moet die lagune en kusvloer labiele vorme wees, te meer so omdat die aggraderende Kuisebrivier nie veel tot hul handhawing kan bydra nie.

2.4 Die hand van die mens

Twee faktore werk saam om die Walvisbaai-Swakopmundkompleks (29 000 persone in 1970) die tweede grootste bevolkingskonsentrasie in Suidwes-Afrika te maak: die uitstekende natuurlike hawe van Walvisbaai en die ligging van die gebied reg teenoor die 250 km-breë reliëfgaping wat tussen die Swakop- en Ugabrivier lê en 'n maklike toegang deur die Platorand na die binneland verleen. Tussen 1951 en 1970 het Walvisbaai se bevolking viervoudig (van 3 300 tot 12 200) toegeneem, en hoewel die stabilisering van die visserybedryf 'n groei afplating in die middelstigerjare tot gevolg gehad het, is dit onrealisties om te verwag dat die twee dorpe sal stagneer. Hawe- en ontspanningsoorde se groei is gekoppel aan dié van 'n land as geheel. Daarby voeg die sewentigerjare 'n derde faktor, nl. delfstofontginning, wat deur die Rössinguraanmyn veral Swakopmund sal raak. Die behoeftes van hierdie gemeenskappe gryp op die vlakke van sowel proses as vorm in die geomorfologiese sisteem in. Enkele probleme word in dié verband genoem om later in groter besonderhede opgevolg te word.

- (a) Die groei van Walvisbaai en sy bedienende infrastrukture dring dieper in die duingordel van die delta in. Terselfdertyd moet hierdie strukture teen vloedstote beskerm word.

- (b) Die gevaar bestaan dat damkonstruksie in die kritieke Khomashooglandopvanggebied van die Kuiseb sy afloopkarakter sodanig kan verander dat die rivier nie meer sediment uit sy bedding kan afstroop nie.
- (c) Korswateronttrekking by Rooibank het in 1972 'n vlak van 4,37 Mm³ bereik, terwyl 'n vyfvoudige toename in die waterbehoefte na 1985 voorsien word. Tussen 1967 en 1973 het die grondwatertafel by Rooibank reeds met 1,5 meter gedaal. 'n Aansienlike oewerplantegroei is van hierdie korswater afhanklik.
- (d) Reeds vir 'n geruime tyd is dit bekend dat die Walvisbaailagune, met sy kolonie van 40 000 flamingo's, besig is om te versand. 'n Verdere vraagteken is oor hierdie natuurlike proses geplaas toe 'n beskermingswal in 1969 om die lagune gestoot is om 'n toegangspad na soutwerke aan die westelike oewer te verseker. Sedertdien het die frekwensie van hoogwater-oorstroming oor 'n deel van die kusvloer aansienlik afgeneem.

3. Duininformasies oor die Kuisebdelta

Op mesovlak was die breë patroon van wisselwerkende agente oor die Kuisebdelta belangrik. Op mikrovlak, daarteenoor, word één agent geïsoleer en sy landvorme, die veranderinge wat dit induseer en sy menslike impak vir meer gedetailleerde studie uitgesoek. Daardie agent is *wind* wat deur die ekstreem-ariëde toestande (Walvisbaai: 19 mm per jaar, Rooibank: 70 mm per jaar) besonder doeltreffend word. Die opvallendste kenmerk van die geomorfologie van die Kuisebdelta is dan ook sy duininformasies.

Materiaalverplasing deur wind, volgens Bagnold, begin wanneer die gemiddelde windsnelheid 18 km per uur oorskry en neem bokant hierdie drempelwaarde met die derde mag van die windsnelheid toe. Tabel A, waarin 16 km per uur om redes van vergelyking as drempel geneem is, toon aan dat

Tabel A

Frekwensie van gemiddelde winde bo 16 km per uur 1-uurlikse waarnemings per 1 000

	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Frekwensie bo 16 km per uur
Rooibank	9,8	19,3	4,4	—	34,1	45,4	—	—	25%
Pelikaanpunt	14,3	3,5	3,5	24,2	258,3	208,7	15,7	0,1	39%

- (a) die frekwensie van geomorfologies-doeltreffende winde aansienlik hoër by Pelikaanpunt aan die kus as by Rooibank 'n 20 km die binneland in is,
- (b) die geomorfologies-doeltreffende, heersende windrigtings tussen Pelikaanpunt en Rooibank van suid na suidwes krimp, en
- (c) hoewel afwykende noorde- en noordoostewinde soms by Rooibank voorkom, ons 'n eenrigting-windregime as model vir die gebied kan aanvaar.

Die suide tot suidwestewinde van die sentrale Namib is 'n namiddagverskynsel wat dwarsdeur die jaar voorkom, hoewel dit veral in die voorsomer opmerklik is. Dan steek dit na 'n stil sonnige oggend teen 12,00 vm op, bereik sy hoogste intensiteit tussen 3,00 en 4,00 nm en gaan lê teen sononder. Die seldsame noordoostewinde is oggendverskynsels gedurende die voorwinter.

3.1 Sandkenmerke

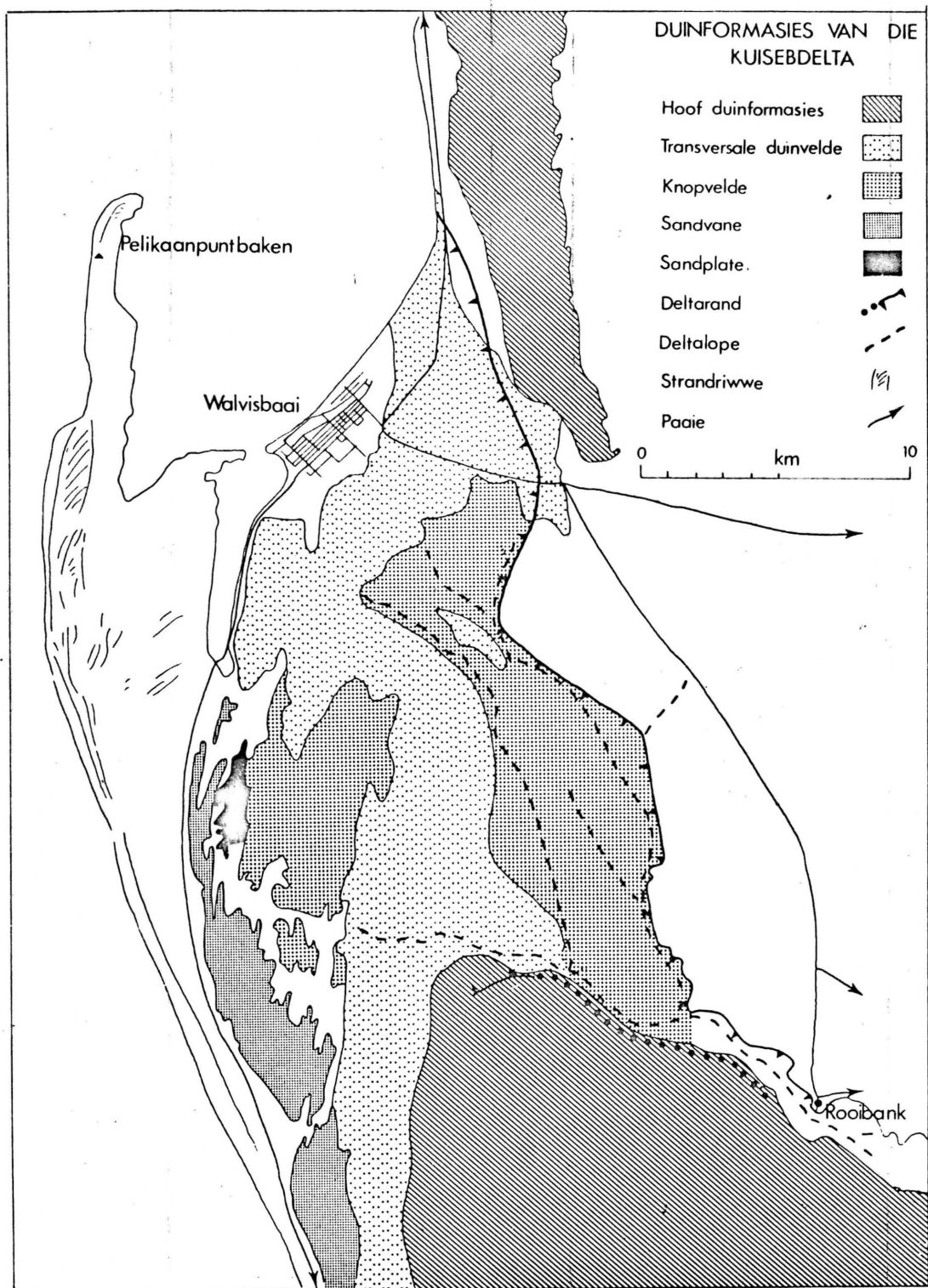
Duine is uit sand gebou en sandanalise is 'n belangrike sleutel in die interpretasie van duinformasies. Vir die doel van die ondersoek is sandmonsters in eenhede van drie oor die delta en sy omgewing versamel, waar moontlik op geomorfologies ooreenstemmende posisies. Sifanalise in die laboratorium lewer die korrelgrootte-frekwensie van elke monster, wat akkumulatief op 'n rekenkundig-waarskynlikheidsgrafiek in phi-eenhede gestip en vir die berekening van grafiese verspreidingsmaatstawwe volgens die Folk en Ward-formules gebruik is. In hierdie bespreking word slegs die grafiese gemiddelde (Me) en die sortering (S_1) vir verdere ontleding aangewend.

Met 'n variasiebreedte van tussen 1,59 en 2,57 phi is die sande op die deltavloer van 'n medium tot fyn korrelgrootte. Die sortering wissel van baie goed (S_1 : 0,24) tot betreklik goed (S_1 : 0,85), met twee anomaliese monsters wat swak gesorteer is (S_1 : 1,03). Die gelerige bruin kleur (Munsellnotering 10YR 5/6) van sand teenaan die kus staan in kontras tot die sterk bruin sande (Munsellnotering 7.5 YR 5/6) van duine op die rand van die delta, 'n verskil wat ook in die Swakopduineksklawe voorkom maar in die hoof lengteduingordel minder opmerklik is. Halfgerondheid is kenmerkend by die groter korrels. Nagtegaal se mineralogiese ontleding van strand-, kusvloer- en duinsande naby die Walvisbaailagune dui op 'n kwartsinhoud van 58 tot 69%, 'n veldspaatinhoud van 12 tot 15% en 'n swaarmine-raalsamestelling waar sillimaniet, granaat en hoornblende oorheers. Hiervan lei hy af dat die meeste van die sande uit metamorfiese gesteentes verweer het, wat die Kuisebbedeken met sy Sisteem Damarageesteentes as die primêre provenansgebied suggereer.

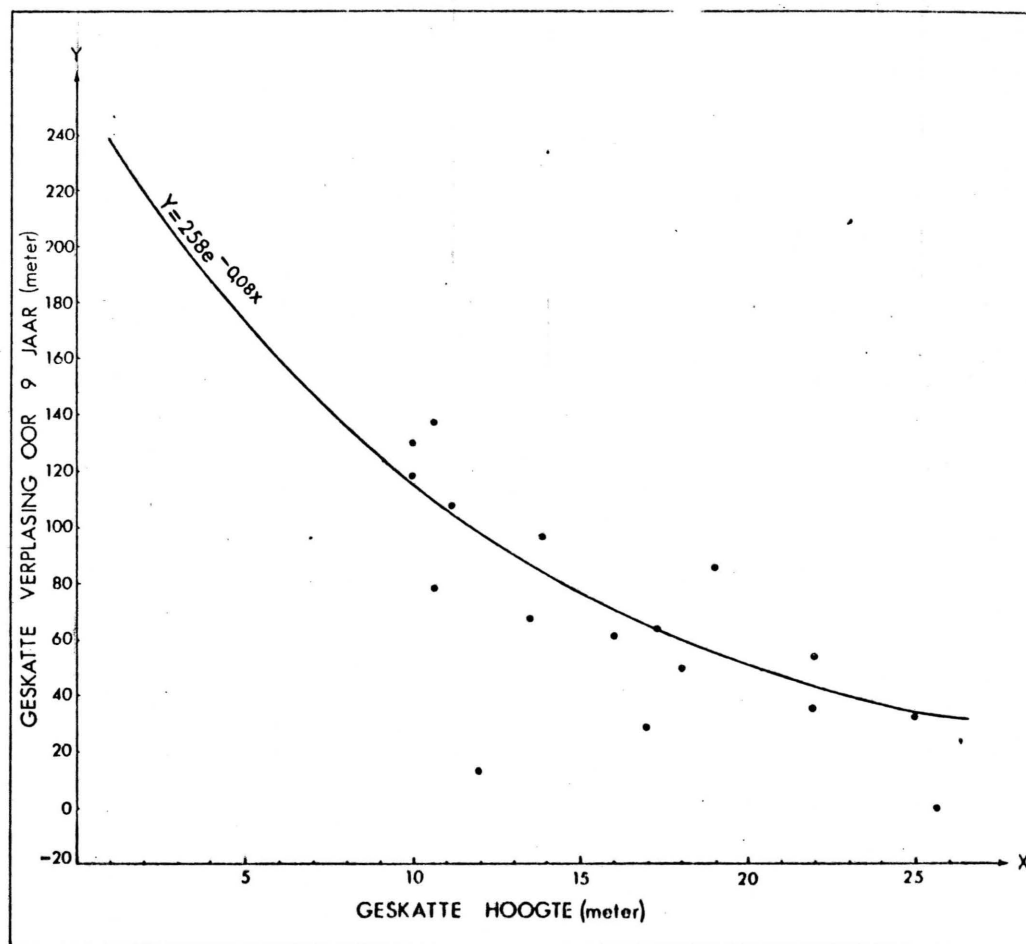
3.2 Duinmorfologie

Min duingebiede van gelyke oppervlakte ewenaar die vormverskeidenheid van die Kuisebdeltakompleks. Selfs al word die Swakopduineksklawe (I) en die hooflengteduininformasie suid van die delta (II) buite rekening gelaat, bly nog steeds vier skerp teenstellende formasies oor.

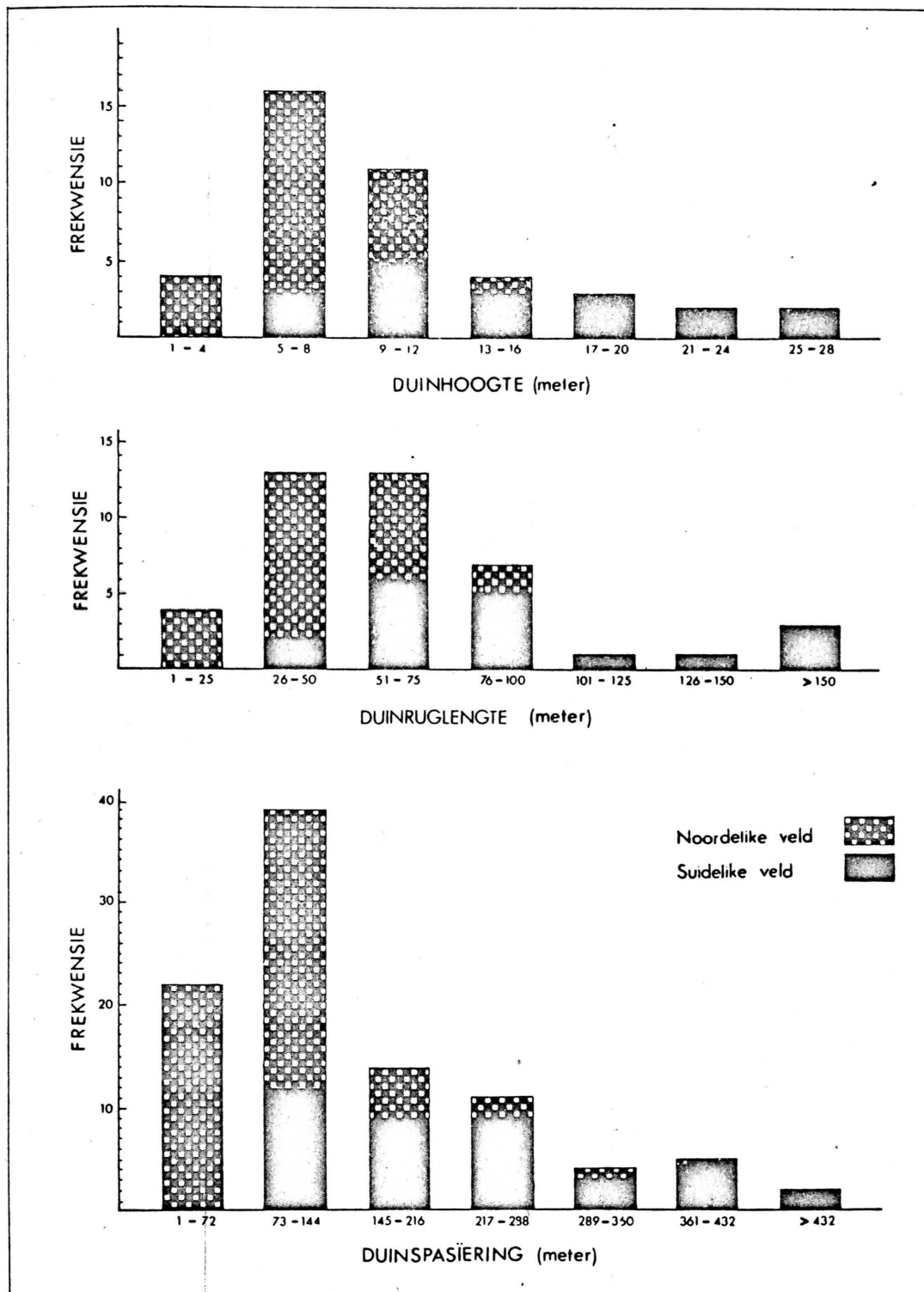
3.2.1 Transversale duine. Die transversale duinveld (III) strek in 'n 4 tot 8 km breë sone suid na noord reg oor die delta en is ongetwyfeld die mees tipiese duinsoort van die gebied. Morfologies is die transversale duine verwant aan barkane, waarvan slegs enkele voorbeelde in twee wydverspreide omgewings in die delta aangetref word, maar hulle hang saam met gebiede met 'n meer aaneengeslote sandbedekking. Hulle wys dieselfde glyhange van 30° tot 34° windaf, lang 10° tot 15° rûe windop en 'n steil duikende kruisgelaagdheid. Transversale duine sluit egter saam in riewe van enigiets tussen 50 en 1 000 meter in die dwarsste en hul kresentiese fronte kan in konkawe en konvekse segmente onderverdeel word. Waar hulle oor 'n oop terrein ontwikkel, ontstaan voetstukke voor, terwyl deflasieriffels agter teen die rug gepak lê. Oor die grootste deel van die Kuisebdelta kompliseer plante-groei egter die transversale duinvorm. Die maksimum hoogtes wissel van 2 tot 27 meter, met 'n modus op 7 meter. Hoe hoër die duin, hoe langer die ruglengte, 'n verhouding wat deur 'n reglynige funksie beskryf kan word. Terselfdertyd word die spasiëring wyer. Anders gestel, soos transversale duine laer word, is hulle smaller en nouer op mekaar gepak, maar verteenwoordig, by implikasies, dieselfde massa sand. Oor die Kuisebdelta is dit 'n verandering wat van suid na noord plaasvind. Na die noorde verloor die sand egter sy aaneengeslotenheid sodat die beskikbare sandvoorraad in die rigting van die Swakopeksklawe gaandeweg minder word.



FIGUUR 4



FIGUUR 5



FIGUUR 6

3.2.2 *Knopvelde*. Sandknoppe (IV) is biogenetiese duinvorme wat saamhang met 'n sandbestande plantegroei wat deur korswater gevoed word. Dit sluit in die rankerige narra (*Aconthosicyos horrida*), die lae tamariskboom (*Tamarix usneoides*) en die growwe polgras (*Stipagrostis sabulicola*), almal waarvan sand in hul wortel- of takstelsel opvang sonder om daardeur verstik te word. Slik en sand versamel windaf en windop van die plant en bou 'n selfstandige knop van 2 tot 5 meter bokant die slikkorse. Hoë knoppe ontwikkel dikwels glyhange en kan by 'n verdere toevoeging van sand oorgaan in 'n transversale duin. Trouens, hulle is net so kenmerkend van die deltavloer, maar skyn in minder stabiele en meer oorstroomde dele voor te kom. Die oorgang tussen die knopveld en die transversale duinveld naasteby langs die middelarm van die Kuiseb is uiters arbitrêr. Plek-plek waar plante doodgaan, skraap die wind deflasieriwwe uit wat dié formasie 'n kenmerkende gestreepte lugfotopatroon gee.

3.2.3 *Sandplate*. Sandplate (V) is feitlik reliëflose sandakkumulasies wat deur 'n bolaag van growwe korrels teen deflasie beskerm word. In die Kuisebdelta lê sulke plate oor die soutmoeras versprei en die grootste, naby Wortel, het 'n oppervlakte van 4 km². Die oppervlakesand is swak gesorteer ($S_1:1,03$) en bimodaal: die primêre modus by 1,25 phi verteenwoordig die beskermde materiaal en die sekondêre modus by 0 phi growwe, onafgeronde rotsfragmentjies en goed-afgeronde kwartskorrels wat deur uitwanning aan die oppervlakte gekonsentreer word. Bagnold beskou sandplate as windverwerkte fluviale afsettings en daar is geen rede om hierdie vorm anders te interpreteer as lense van growwer materiaal wat die Kuiseb oor die soutmoeras neergelaat het nie. Die primêre modus stem naasteby ooreen met die modus van die sandafsettings onder slikkorse verder stroomop langs die suidarm, terwyl die bolaag deur verwerking van spoelklippies gelewer kan word. Die growwe materiaal konsentreer plek-plek in deflasieriwwe, 30 cm hoog en met 'n 3 meter-amplitude.

3.2.4 *Sandvane*. Die sandvane (VI) wat 'n versperringsone tussen die suidwestelike deel van die delta en die kusvloer bou, is net soos knoppe biogenetiese vorme, maar verskil deurdat hulle uit aansienlik growwer sande saamgestel (gemiddelde Me 1,65 phi teenoor 2,22 phi) en oor die soutmoeras geplaas is. Bowendien lê hulle in 'n sone van groter wind intensiteit. Gemeet aan die klassieke geomorfologiese literatuur pas sandvane die paraboliese duinmodel die beste. Die sleutel tot die vorm is *Salsola nollothensis*, 'n dwergstruik waarvan die souttoleransie hom in staat stel om in korswater met 'n hoër weerstand as seewater te gedy. Die buigsame takkies met hul grysgroen blare skaars groter as speldekoppe, handhaaf hul groei in los sand en versamel materiaal sowel deur akkresie windop as besinking windaf. Humus meng met die sand, absorbeer soutvog uit die misbanke en pak die struik tot 'n stewige knop van 2 tot 4 meter hoog, wat selfs na sy dood bly staan. Agter die knoppe kry die vaan 'n geronde dwarsprofiel, sy stewige rug bereik hoogtes van 20 meter en verleng windaf tot 1½ km ver. Oral is *Salsola*-knoppe die hoogste plekke op die duin. Weswaarts en suidwaarts sluit die individuele vane aaneen om 'n gebroke en gegroefde front kuswaarts te wys; noordwaarts, waar die groeipunte lê, loop die vane spits oor die soutmoeras uit.

3.3 *Materiaalverplasing oor die delta*

'n Model van sandverplasing oor die Kuisebdelta sou nie slêgs die verhouding van die deltasande tot die omringende duinformasies in ag moet neem nie, maar ook onderlinge verskille in die delta self. Basies aan enige argument is verder die noord-noordooswaartse rigting van die geomorfologies-doeltreffende, heersende winde.

3.3.1 *Eksterne verhoudings.* Drie moontlike verhoudings kan vir die sande van die hoof lengteduininformasie na die suide, die Kuisebdelta en die Swakopduineksklawe gepostuleer word:

- Sand word vanaf die hoof lengteduininformasie noordwaarts gedra, eers in die formasies van die Kuisebdelta geomorfologies herskep en dan nóg verder noordwaarts na die Swakopduineksklawe verplaas waar dit 'n derde keer herorganiseer word. Dit sou 'n afname in die gemiddelde sandkorrelgrootte en sorteringsindeks van suid na noord beteken.
- Geen betekenisvolle aansluiting bestaan tussen die lengteduingordel en die Kuisebdeltaformasies nie, hoewel die Swakopduineksklawe deur sandverplasing vanaf die Kuisebdelta onderhou word. Dit sou uiteenlopende korreleenskappe noord en suid van die suidarm tot gevolg hê, maar nie tussen die sand van die delta en dié van die eksklawe nie.
- Al drie formasiekomplekse funksioneer as afsonderlike entiteite met afsonderlike insetkombinasies en afsonderlike landvormkomplekse, sodat ook hul sandkorreleenskappe betekenisvol verskil.

Tabel B

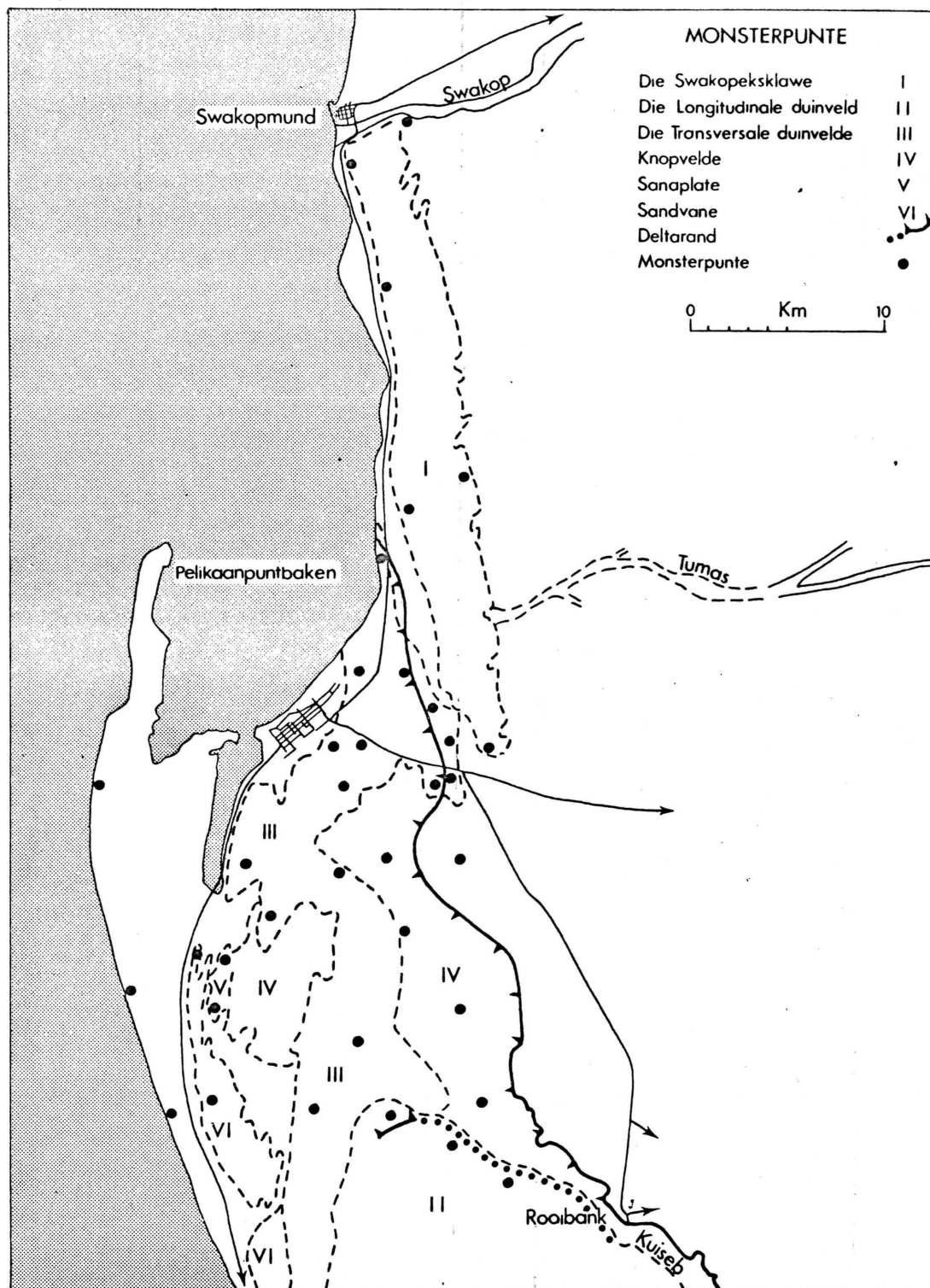
Enkele eienskappe van sande van die Kuisebdeltakompleks

<i>Nommer</i>	<i>Formasie</i>	<i>Aantal monsters</i>	<i>Gemiddelde korrelgrootte (Me) phi-eenhede (Folk en Ward)</i>	<i>Gemiddelde sortering (S₁) (Folk en Ward)</i>
I	Swakopduineksklawe	18	2,00	0,35
II	Hoof lengteduingordel	9	2,36	0,47
III en IV	Deltaformasies	48	2,22	0,59
V	Sandplaat	6	2,00	1,03
VI	Sandvane	9	1,65	0,64
VII	Strand	6	1,83	0,65

Om die drie hipoteses te toets, is die 96 sandmonsters volgens hul geomorfologiese plasing in ses groepe verdeel – die transversale duine en die knopvelde is as 'n eenheid geneem – en die onderskeie gemiddelde Me's bereken, 'n verskil wat beduidend op die 99%-peil bevind is. (Kyk Tabel B.) 'n Vergelyking van die Me's van bogenoemde drie formasies toon dat die Swakopduineksklawe die grofste sande het teenoor die fyner deltasande en die nog fyner sande van die lengteduininformasie. Die eerste twee hipoteses moet dus verwerp word. Tussen sande uit die mees noordelike deel van die Kuisebdelta (Me: 2,44 phi) en sande uit die suidelike deel van die Swakopeksklawe (Me: 1,86 phi) bestaan trouens so 'n skerp diskontinuiteit dat dit krag verleen aan vorige argumente as sou die laasgenoemde 'n reliëk wees. Dit sluit egter nie huidige insette vanaf die verwerende terrasgruise van die Tumas-rivier net binnelandwaarts van Kabelstasie uit nie.

3.3.2 *Interne verhoudings.* Twee leidrade kan gevolg word om 'n beeld van sandinsette in die delta te kry.

3.3.2.a *Geomorfologiese leidrade.* Die getrouste geomorfologiese leidraad vir materiaalverplasing deur wind is die deflasiegroef en oor die Kuisebdelta val hulle, behalwe vir 'n effense afwyking na regs, feitlik saam met die geomorfologies-doeltreffende, heersende



windrigting. Duinoriëntering is egter 'n meer komplekse verskynsel want duine neig die windrigting te deflekteer. Dit is presies wat die transversale duine van die Kuisebdelta doen. Waar die klassieke barkaanfront 90° oor die heersende windrigting geplaas is, lê hierdie duine met hoeke van 116° tot 139° skuins met betrekking tot die heersende windrigting georiënteer. Die afwyking na links neem dus van suid na noord toe. Moontlik weerspieël hierdie afwyking die groter windsnelheid nader aan die kus, wat die weswaartse duine vinniger noordwaarts verplaas. Die skuins hoek tussen windrigting en duinkruinlyn lei tot 'n ingewikkelde patroon van duinverskuiwing wat nagegaan is deur die verandering van posisie en vorm van twee groepe duine op 1960- en 1969-lugfotostelle te vergelyk:

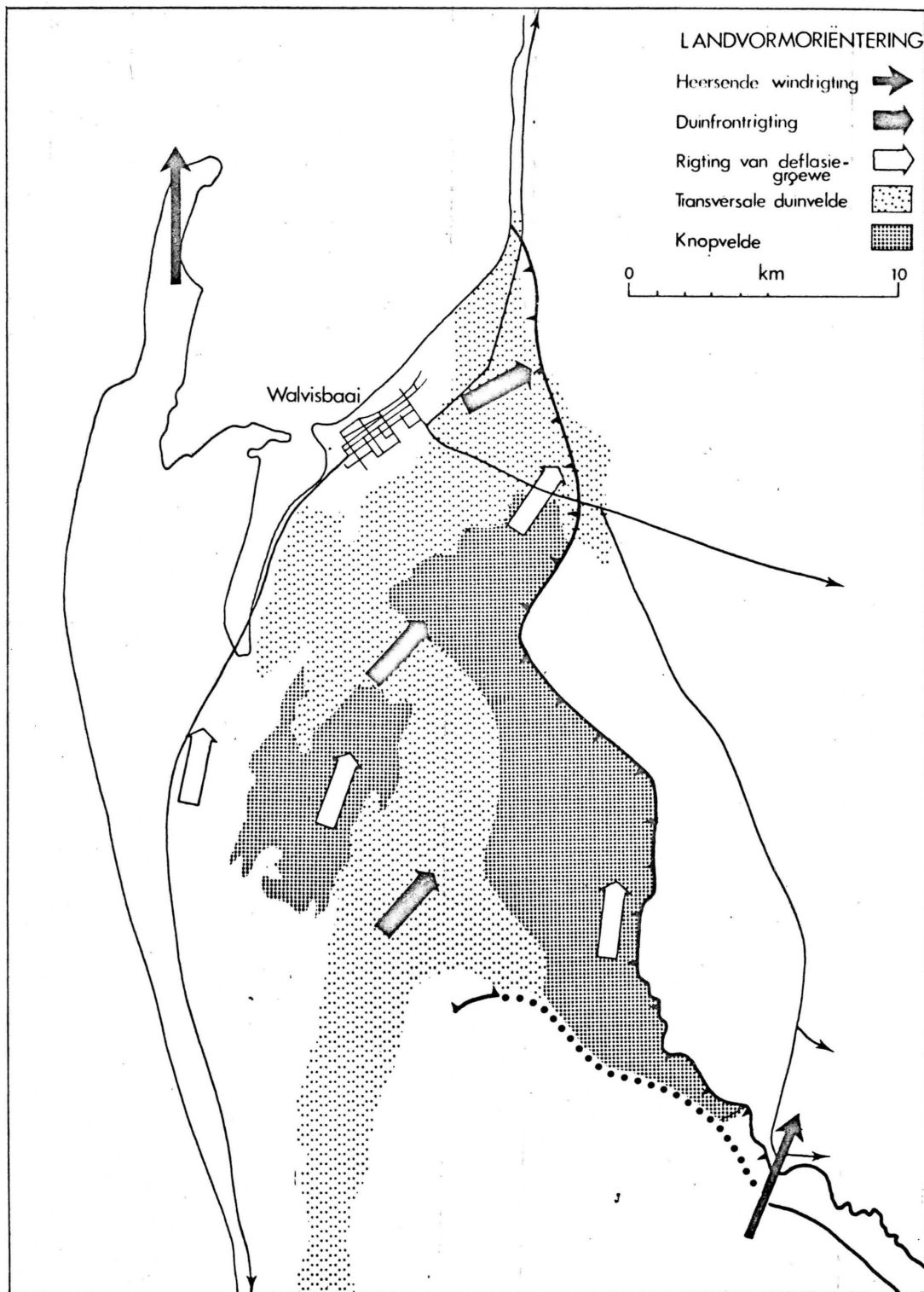
- (a) 'n Groep van 17 duine op twee uiterstes van die duinveld vertoon in breë trekke 'n voorwaartse beweging in die rigting van die glyhangfront, en wel in eksponensiële verband met die duinhoogte.
- (b) Vyf uit 'n groep van ses geïsoleerde transversale duine in die noordoostelike deel van die delta het nie slegs voorwaarts geskuif nie, maar is noordweswaarts verleng. Dit kan soos volg verklaar word. Sekondêre werveling ontstaan aan die voet van die glyhang en verplaas sand noordweswaarts. So vorm die voetstuk, waarop riffelmerke tydens 'n suid- of suidwestewind altyd noordwes georiënteer lê.

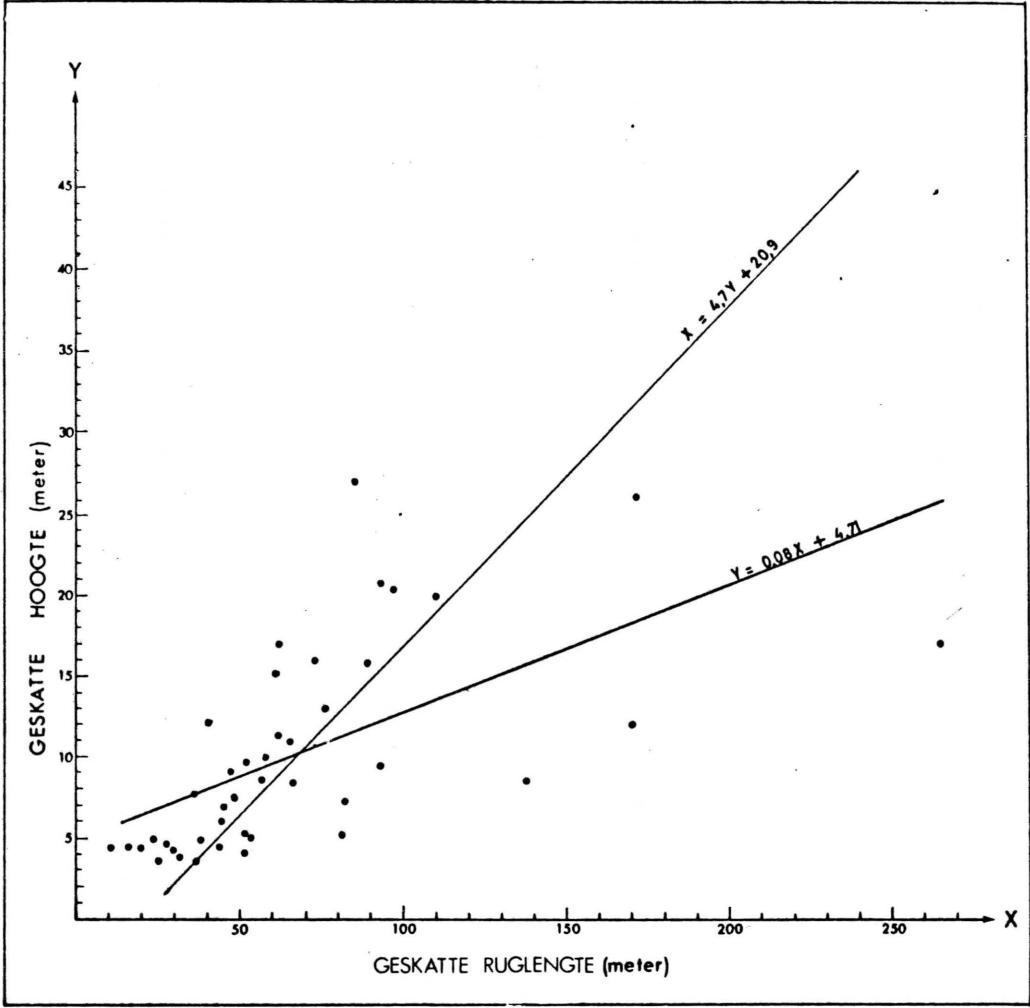
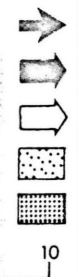
Tabel C

Posisie en vormveranderinge by Duine

<i>Duinnummer</i>	<i>Geskatte hoogte in 1960 (meter)</i>	<i>Geskatte voorwaartse verplasing in meter (1960-1969)</i>	<i>Verlenging in meter (1960-1969)</i>
4	13	68	18
1	12	-7	31
7	11	108	18
6	11	137	42
2	11	79	-4
5	10	119	36

3.3.2.b *Korrelgrootteparameters.* Word die gemiddelde korrelgrootte (Me) en sandsortering (S_1) van individuele monsterpunte op kaart gestip, kom 'n sterk teenstelling tussen growwer maar swakker gesorteerde materiaal naby die kus en fyner en beter gesorteerde materiaal aan die oostekant van die delta te voorskyn. Geïnterpreteer in die lig van die windregime, beteken dit dat fyn materiaal langs die kus makliker deur sterk winde uit 'n sandmengsel gewaai word as in die binneland. Tog is sand in die noordweste van die delta nog altyd fyner as in die suidweste, wat 'n inset vanuit die growwe sandvaanveld en gedeeltelik ook die kusvloer suggereer. Net so is die sand in die noordooste van die delta opvallend fyner as in die suidooste. Vanweë die gepostuleerde diskontinuiteit tussen die lengteduininformasie en die Kuisebdelta kan hierdie materiaal slegs een oorsprong hê en dit is die delta self. 'n Kol van middelmatige sortering kom suidoos van Walvisbaaidorp voor. Die sande hier het 'n bimodale verspreiding maar die sekondêre modus verteenwoordig nou die fyner fraksies. Hierdie materiaal kan die noordweswaartse verplasing van pas-geïnisieerde transversale duine verteenwoordig.

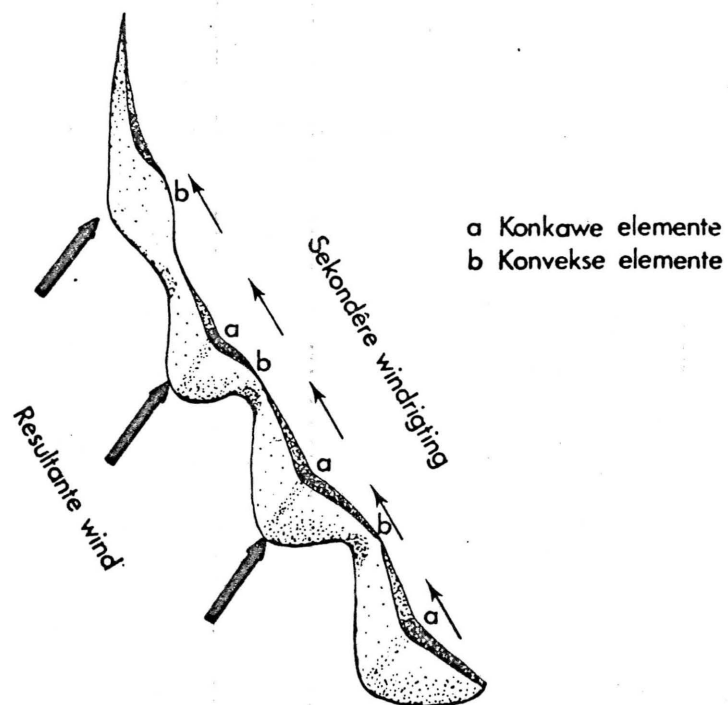




FIGUUR 9

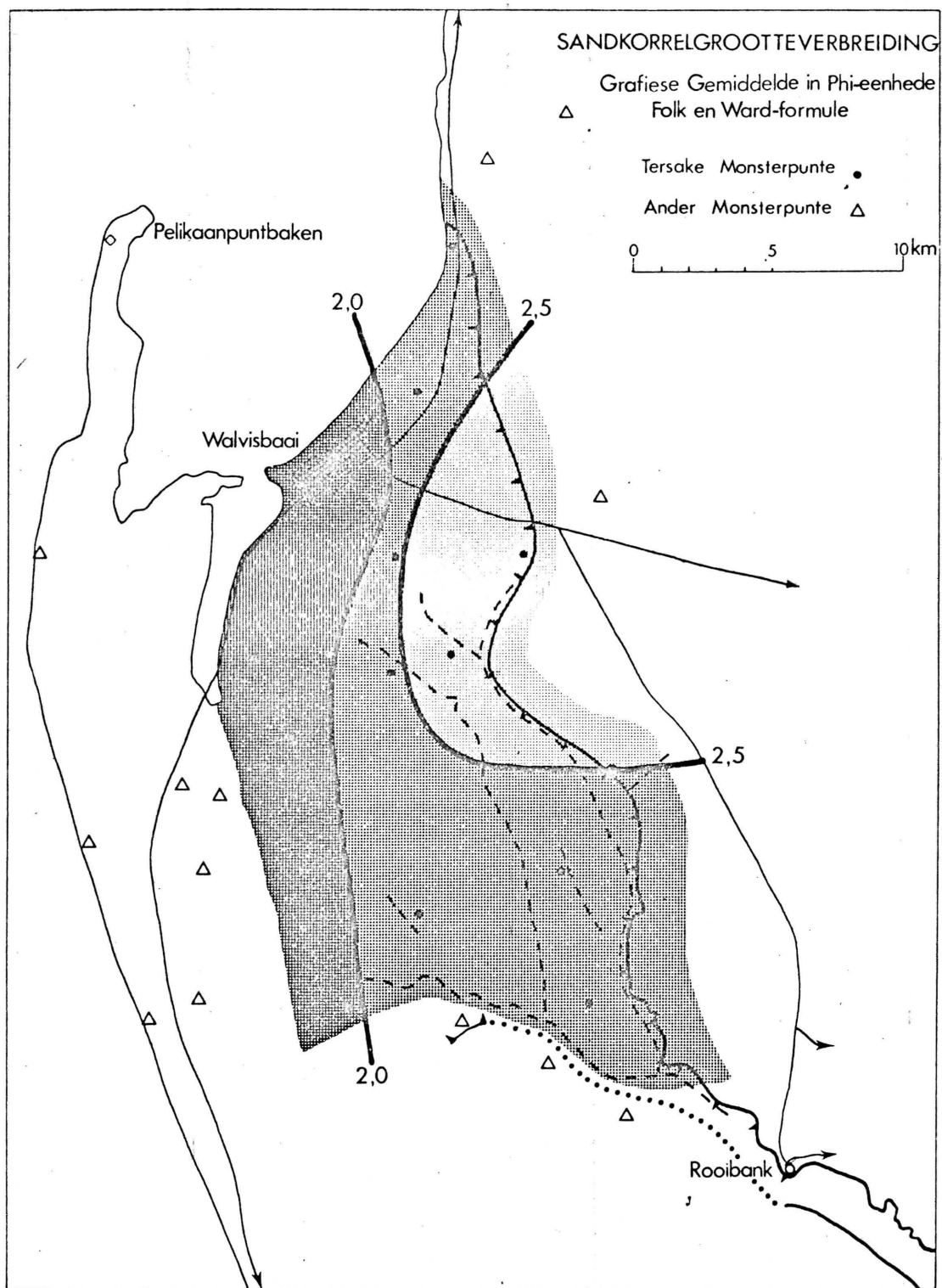
DIE TRANSVERSALE DUIN

A. PLAN

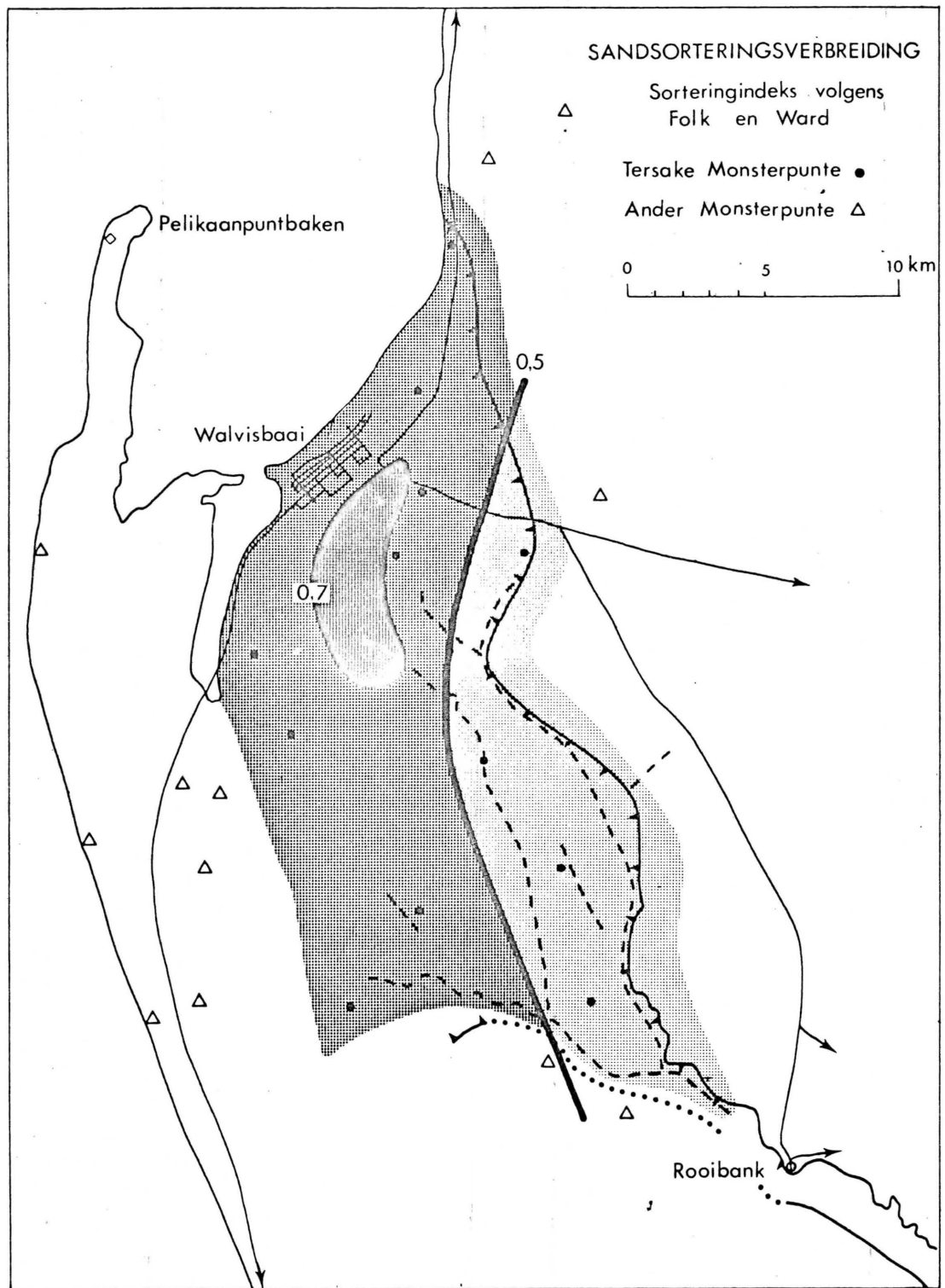


B. PROFIEL





FIGUUR 11



4. Menslike Impakt

4.1 Sandstabilisering

Geleë op 'n sandlewerende oppervlakte en omring deur verskuiwende duine, was waaisand in Walvisbaai 'n probleem so lank as wat die nedersetting bestaan het. In die vroeë jare van die eeu is huise op pale gebou om sand onder deur te laat en in die dertigerjare is spore soms vir koekepanne gelê om sandhope te verwyder. Tot in die veertigerjare is egter opgetree eerder om verbindingsweë te beveilig as om beboende areas te beskerm. Die dorp het wel 'n meevaller in 1949 ontvang: terwyl die Tsumebkorporasie 'n meganiese ertsblaaiër in die hawe konstrueer, is sand vir die laaibank benodig en oral vanuit die beboende gebied met stootskrapers versamel. Die ruimtelike groei van die vyftigerjare lei die dorp noordwaarts en ooswaarts binne die duinvelde in, en teen die 1960's kan geen nuwe woonbuurt meer sonder stabilisering vooraf ontwikkel word nie. Waaisandbekamping word egter 'n probleem van die buitewyke en laat die sentrale dele van die dorp relatief sandvry, 'n situasie waartoe groter oppervlaktes onder geboue, teer en tuine ongetwyfeld bydra. Reaksie op die waaisandprobleem volg op sowel die vlakke van plaaslike as sentrale bestuur. Die mees volgehoue pogings kom van die Munisipaliteit van Walvisbaai, wie se *ad hoc*-benadering tog nie onsuksesvol was nie:

- (a) Tradisioneel beskerm die Munisipaliteit woonerwe en openbare oop terreine met plankheinings, toe van onder, oop van bo en 2 meter hoog. Afhangende van die oriëntering van die heining, dam sand of voor of agter die heinings op en word van tyd tot tyd meganies verwyder. In 1971 het die Munisipaliteit heinings met 'n totale lengte van 3 525 meter in stand gehou, maar die oprigtingskoste styg tot R9,50 per meter in 1972.
- (b) Doelbewuste stabilisering neem in 1959 'n aanvang toe 'n transversale duin windop van die Ovambokampong ten noorde van die dorp met gruis toegegooi is. Gruis skut die duinsand teen die wind, verhinder dat korrels van die rugkantse voet na die kruin salteer en windaf na benede gly. Die toedekkingstegniek is ook oor gebiede ten ooste en suidooste van die dorp toegepas, sodat 'n totale oppervlakte van 230 ha in Mei 1972 met verskillende media toegegooi was. Ondervinding bewys gruis die doeltreffendste maar ook die duurste hiervan – 35c per m² in vergelyking met 7c per m² in die geval van steenkool-as en 5c per m² in die geval van ou motorolie. Die eksperimente met motorolie is vanweë sy ekologiese onsekerhede en sy maklik versteurbare oppervlakte in 1973 laat vaar. Werklike sukses met duinstabilisering vereis egter dat die duinkruin en die glyhang eers vooraf met 'n stootskraper afgemerk word, 'n operasie wat teen R2,00 per m² te duur vir algemene toepassing geblyk te wees het.

In baie opsigte die onvermydelike gevolg van sy ruimtelike groei, vind Walvisbaai sandindringing 'n vinnig stygende uitgawe. Sandstabilisering word in 1965/66 vir die eerste keer 'n afsonderlike item op die Munisipaliteit se begroting, toe R2 000 vir dié doel gestem is. Teen 1969 styg die uitgawe na R6 000 en in 1972/73 na R20 000, waartoe die S.W.A. Administrasie 'n verdere R20 000 bygedra het.

Ook twee departemente van die sentrale regering was op verskillende tye met sandstabilisering gemoeid. In die veertigerjare is die probleem verwys na die Departement Bosbou, wat normaalweg in die Unie (vandag Republiek) sandstabiliseringswerk onderneem. Op aanbeveling van 'n voormalige Direkteur van Bosbou, het die Departement begin eksperimenteer met paaltjieheinings wat loodreg met betrekking tot die heersende windrigting opgerig is. Die sand sou dan aan die lykant van die heining akkumuleer, vorm 'n kunsmatige duin en word hoër gebou deur die paaltjies telkens te lig. Waaisand word dus