

247679

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

BIBLIOTHEEK

ADMINISTRATIE WATERWEGEN EN ZEEWEZEN

AFDELING WATERWEGEN KUST



Morfologische opvolging van de combinatie voedingsberm en zandsuppletie in de zone De Haan - Bredene



BERM 95.001

**ADMINISTRATIE WATERWEGEN
EN ZEEWEZEN
AFDELING WATERWEGEN KUST**



**Morfologische opvolging van de combinatie
voedingsberm en zandsuppletie
in de zone De Haan - Bredene**



Morfologische opvolging van de combinatie voedingsberm en zandsuppletie in de zone De Haan - Bredene

Manager's Summary

Vanaf 1991 wordt in De Haan en omgeving een geheel van "zachte" kustverdedigingsmaatregelen uitgevoerd. Deze omvatten een combinatie van twee vormen van zandtoevoer. Enerzijds werd op de vooroever een "onderwater-voedingsberm" aangelegd; anderzijds werd een profielsuppletie uitgevoerd op het strand zelf, die in de zones met aangetaste duinaanzet werd aangevuld met een duinsuppletie. De voedingsberm is een d.m.v. zandstortingen verhoogde en verbrede brandingsrug gelegen op ca. 600 m van de zeedijk of duinvoet. Zoals brandingsruggen die in de zomer van de vooroever naar het strand toe migreren, moet volgens eenzelfde mechanisme de voedingsberm bijdragen tot de voeding met zand van het strand.

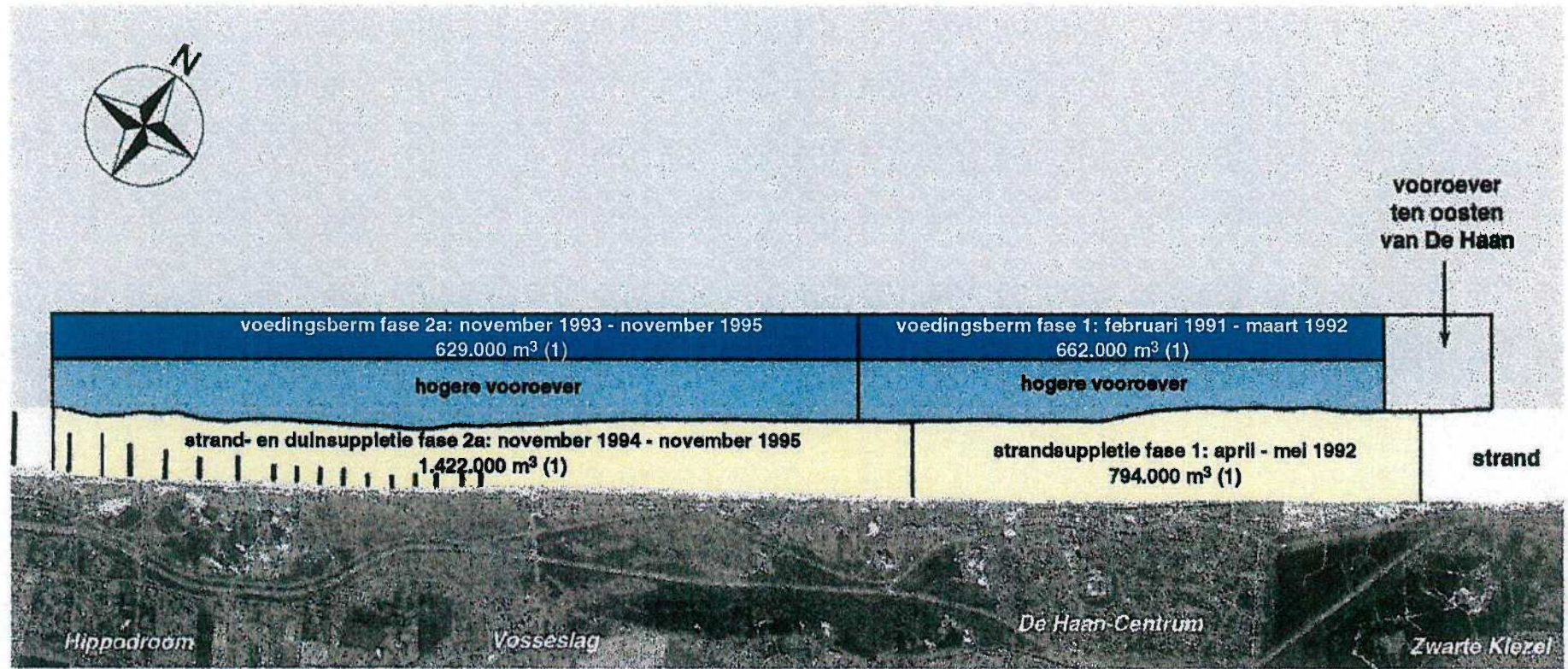
Heden (oktober 1995) zijn de fasen 1 en 2a van deze werken vrijwel voltooid; tabel 1 vat de werken en de betrokken zandvolumes samen. De zones van deze werken zijn aangeduid in fig. 1.

periode van uitvoering	omschrijving	aangebrachte hoeveelheid zand (in beun) [m ³]	toename gemeten ts. 2 opeenvolgende opnames (volumeverschil bodem) [m ³]
18 feb 91 - 31 maart 92	voedingsberm fase 1 (De Haan-Centrum)	661.787	556.100
1 april 92 - 27 mei 92	strandsuppletie fase 1 (De Haan-Centrum)	794.365	583.200
2 nov 93 - 9 sep 94	voedingsberm fase 2a	525.403	306.000
22 nov 94 - 23 dec 94	strandsuppletie fase 2a (omheen Vosseslag)	203.440	-
3 april 95 - 12 juni 95	strandsuppletie fase 2a (Hippodr. - Zeeprevent.)	894.611	nog te bepalen
2 okt 95 - 1 nov 95	strandsuppletie fase 2a (West Hippodroom en Oost Vosseslag)	323.851(*)	nog te bepalen
2 okt 95 - 22 nov 95	voedingsberm fase 2a (omheen Hippodroom)	103.100(*)	nog te bepalen

Tabel 1. Samenvatting en chronologie van de "zachte" kustverdedigingswerken in De Haan-Centrum en tussen Bredene en De Haan. (*) = raming



voeroever
ten oosten
van De Haan



(1) aangevoerde hoeveelheden
(in beun)

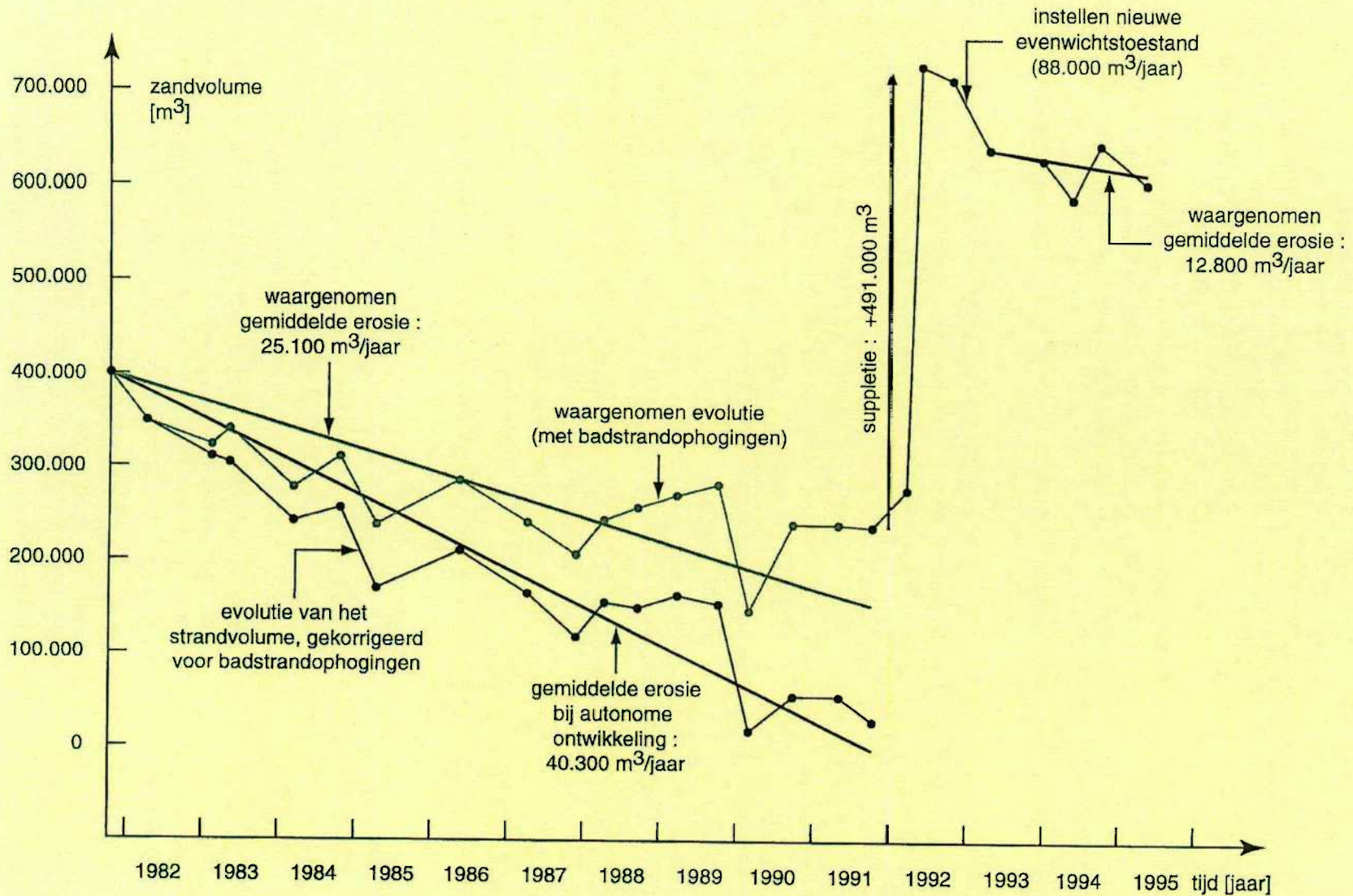
De kust tussen Bredene en De Haan: Kustbeveiligingswerken 1991 - 1995

De uitvoering van dit geheel van zachte kustverdedigingsmaatregelen heeft in De Haan-Centrum en in het aansluitende gebied tussen Bredene en De Haan het kustveiligheidsniveau aanzienlijk verbeterd. De zandsuppletie is er nu ontworpen opdat de kustverdediging zou kunnen weerstaan aan twee na elkaar optredende stormen met een golfhoogte met een retourperiode van 50 jaar.

De morfologische opvolging van het strand en de vooroever, gebaseerd op de koppeling van regelmatig uitgevoerde aëroteledetektische waarnemingen met bathymetrische lodingen uitgevoerd door het BEASAC[®]-platform¹, laat toe om de volgende konklusies af te leiden in verband met de morfologische ontwikkeling van het gebied in de eerste jaren na de uitvoering van de werken :

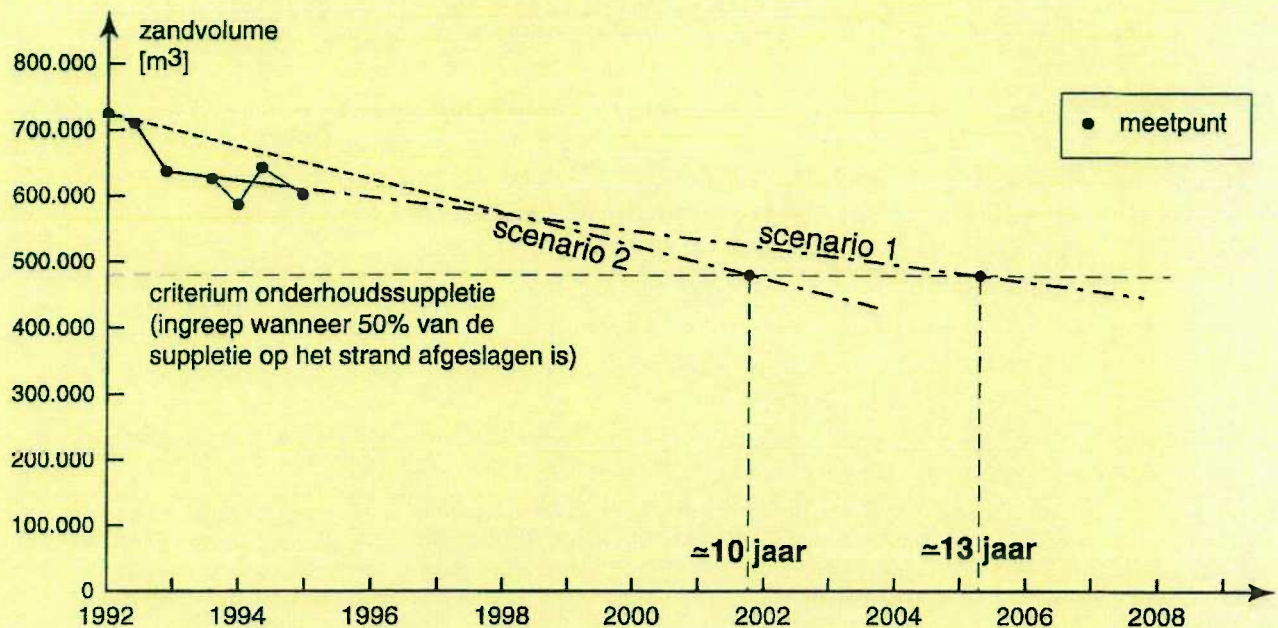
- de toevoer van zand in het kader van de "zachte" kustverdedigingswerken in Bredene en De Haan heeft een gunstig effect gehad op de morfologische ontwikkeling in de regio :
 - * in de zone van de voedingsberm is op dit ogenblik nog steeds 97 % van de waargenomen volumetoename aanwezig;
 - * het strand in De Haan-Centrum heeft zich na de suppletie van 1992 veel stabiel gedragen dan stranden in andere zones, waar een suppletie zonder voedingsberm werd toegepast;
- de erosietrend is in De Haan-Centrum duidelijk afgenomen :
 - * vóór de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm was de berekende gemiddelde erosie van het strand (fig. 6) :
 - 25.100 m³ per jaar wanneer het volume van de jaarlijkse badstrandverhogingen te De Haan-Centrum niet in mindering wordt gebracht bij de berekening van het erosiecijfer;
 - 40.300 m³ per jaar na aftrek van het volume van de badstrandverhogingen; dit erosiecijfer stemt overeen met de erosie bij zgn. autonome ontwikkeling van het strand.
 - * na de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm is het erosiecijfer gedaald tot 12.800 m³ per jaar. Dit cijfer moet worden vergeleken met dat berekend voor de autonome ontwikkeling van het strand (40.300 m³ per jaar);
- bij de uitvoering van de strandsuppleties, fase 1 en 2a, werd er een netto zandtransport vastgesteld van het strand naar de vooroever, waarbij blijkbaar ook een gedeelte van het zand terecht gekomen is in de zone van de voedingsberm;
- de voedingsberm is ook onderhevig aan het littoraal langstransport, waarbij er zand van west naar oost langs de kust vervoerd wordt. Hierdoor is de berm ter hoogte van De Haan-Centrum aangegroeid tijdens de westwaartse verlenging van de voedingsberm;

¹BEASAC[®] : Belfotop Eurosense Acoustic Sounding Air Cushion platform.



De Haan (sekties 149 tot en met 158) : evolutie sinds 1981 van het totale volume zand op het hoogstrand, middenstrand en laagstrand

Fig. 13. De Haan (sekties 149 tot en met 158):
 raming van de evolutie volgend op strandsuppletie fase 1



- in De Haan-Centrum ligt de meerjarige onderhoudskost van het strand na de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm lager dan wanneer men deze ingreep niet had uitgevoerd. Men kan de kost voor een onderhoudssuppletie na 50 % erosie rammen op 135 mln. F (prijzenpeil 1992). Ingeval geen structureel herstel van het strand was uitgevoerd, kan de kost voor voortgezette badstrandophogingen geraamd worden op 162 mln. F en zelfs 211 mln. F (prijzenpeil 1992), afhankelijk van het scenario dat men hanteert om de levensduur van de strandsuppletie in te schatten (fig. 13). De kost voor het onderhoud van het strand en de kustveiligheid indien er geen strandsuppletie werd uitgevoerd, ligt in werkelijkheid nog hoger, omdat er dan ook met onderhoud aan de vaste zeeverende infrastructuur rekening dient te worden gehouden.

* * *

Morfologische opvolging van de combinatie voedingsberm en zandsuppletie in de zone De Haan - Bredene

Inhoudstafel

Manager's Summary	
1.	Beschrijving van de "zachte" kustverdedigingswerken in de zone Bredene - De Haan - Wenduine 1
1.1.	Inleiding 1
1.2.	Algemeen concept van de kustbeveiligingswerken 1
1.3.	Uitvoeringsfasen 3
2.	Uitvoering van de kustbeveiligingswerken in de zone Bredene - De Haan 3
2.1.	Fase 1 : de kustbeveiligingswerken voor De Haan-Centrum 3
	A. Vooroeversuppletie (aanleg voedingsberm) 3
	B. Profielsuppletie 4
2.2.	Fase 2a : de kustbeveiligingswerken tussen Bredene en De Haan 5
	A. Vooroeversuppletie (aanleg voedingsberm) 5
	B. Strand- en duinsuppletie 5
	B1. Meest urgente zone 6
	B2. Overig gedeelte van het strand tussen de toegang Hippodroom en het Zeepreventorium 6
	B3. Nabij de toegang Hippodroom en tussen de toegang Vosseslag en het Zeepreventorium 6
3.	Morfologische opvolging 7
4.	Evolutie van de morfologie ter hoogte van De Haan-Centrum (fase 1) 9
4.1.	Evolutie van het strand in De Haan-Centrum vóór de uitvoering van de combinatie voedingsberm-strandsuppletie 9
4.2.	Evolutie van het strand in De Haan-Centrum na de beëindiging van de combinatie voedingsberm-strandsuppletie 10
4.3.	Evolutie van de berm op de vooroever in De Haan-Centrum 11
5.	Evolutie van de morfologie tussen Bredene en De Haan tijdens en na de uitvoering van fase 2a 12
5.1.	Evolutie van het strand tussen Bredene en De Haan 12
5.2.	Evolutie van de vooroever tussen Bredene en De Haan 13
6.	Bespreking 14
6.1.	Inleiding 14
6.2.	Vergelijking met andere strandsuppleties 14
6.3.	Vergelijking van het huidig erosieprofiel in De Haan-Centrum met de evolutie vóór 1991 15
7.	Kostprijs voor uitvoering en voor onderhoud van de gekombineerde oplossing voedingsberm - strand- en duinsuppletie 16
7.1.	Kostprijs voor de uitvoering van de combinatie voedingsberm - strand- en duinsuppletie 16
7.2.	De strandsuppletie in De Haan-Centrum : inschatting van de onderhoudskosten 16
	A. Jaarlijkse onderhoudskost vóór 1991 17
	B. Inschatting van de onderhoudskosten van de strandsuppletie in De Haan-Centrum 18
8.	Evolutie van de morfologie van strand en vooroever in en ten westen van De Haan : Besluit 19

Morfologische opvolging van de combinatie voedingsberm en zandsuppletie in de zone De Haan - Bredene

1. BESCHRIJVING VAN DE "ZACHTE" KUSTVERDEDIGINGSWERKEN IN DE ZONE BREDENE - DE HAAN - WENDUINE

1.1. Inleiding

Reeds vele jaren lijden de stranden en de duinaanzet in de kuststrook tussen Bredene en De Haan, en in mindere mate tussen De Haan en Wenduine, een geleidelijke, steeds verdergaande erosie. In het verleden dienden hier reeds bij herhaling ingrepen te worden uitgevoerd om de zeeverende functie te vrijwaren.

Vanaf het einde van de jaren '80 kwam de zeevering in deze kuststrook bij iedere zware storm weer in het gedrang. Het gevaar op een duindoorbraak was niet denkbeeldig. Verschillende jaren werd de veiligheid van de zeevering in stand gehouden middels remediërende maatregelen; de jaarlijkse strandophogingen en -profileringen in De Haan maken hiervan deel uit.

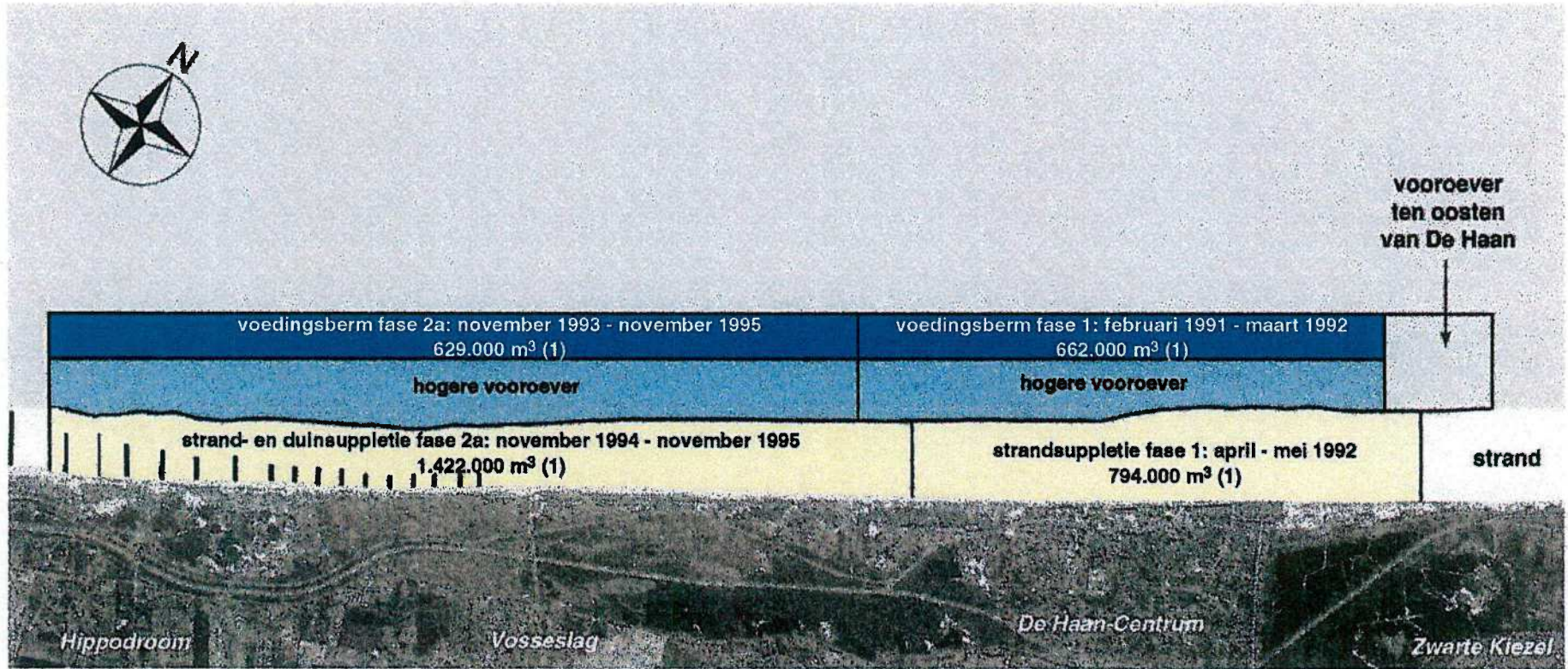
Na de zware stormen van 1990, die opnieuw heel wat zandverlies hadden teweeggebracht, werd besloten om in de zone Bredene - Wenduine over te gaan tot een meer structurele aanpak.

De eerste fase van de structurele maatregelen om het strand en de duinen in deze zone te herstellen, werd uitgevoerd ter hoogte van De Haan-Centrum, in 1991 en 1992 (fig. 1).

Ten westen van de zone van fase 1 bleef echter een bijzonder zwakke schakel in de kustverdediging aanwezig (van de strandtoegang Hippodroom tot het Zeepreventorium). Na de hevige storm van 14 november 1993 werd hier bij hoogdringendheid de tweede fase van de kustverdedigingswerken aangevat.

1.2. Algemeen concept van de kustbeveiligingswerken

De kustverdedigingsmaatregelen in de omgeving van De Haan horen tot de zgn. "zachte" infrastructuurwerken. Ze omvatten een combinatie van twee vormen van zandtoevoer. Enerzijds wordt een "onderwater-voedingsberm" aangelegd op de vooroever; anderzijds wordt een profielsuppletie uitgevoerd op het strand zelf, die in de zones met aangetaste duinaanzet wordt aangevuld met een duinrestauratie.



(1) aangevoerde hoeveelheden
(in beun)

De kust tussen Bredene en De Haan: Kustbeveiligingswerken 1991 - 1995

Het concept van **voedingsberm** is nieuw en werd aan onze kust voor het eerst uitgevoerd in Europa. Het concept sluit aan bij de dynamiek van de brandingsruggen. Hieronder en in fig. 2 worden enkele begrippen hieromtrent verduidelijkt.

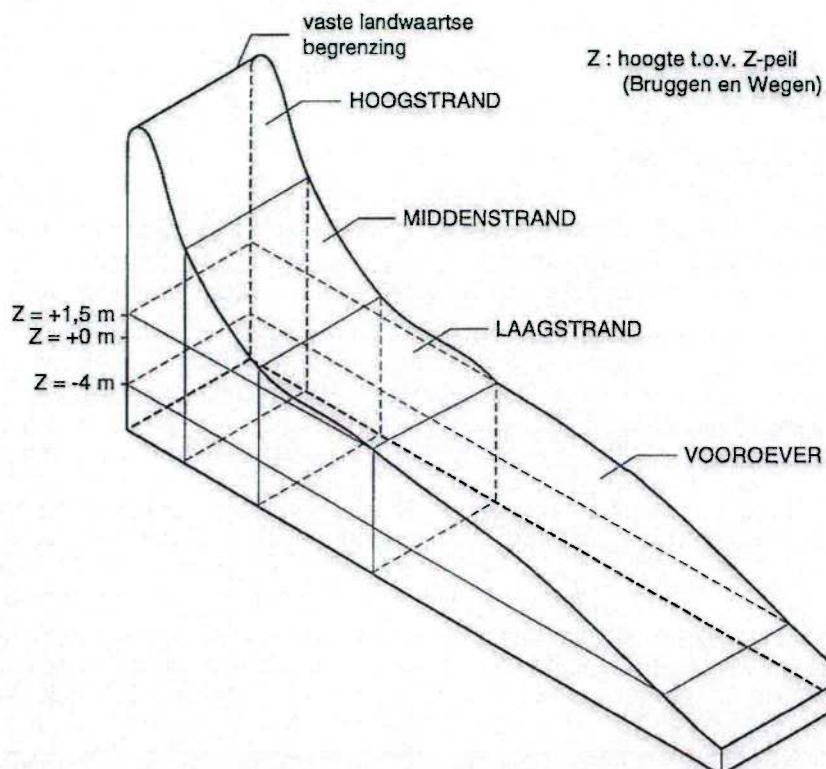
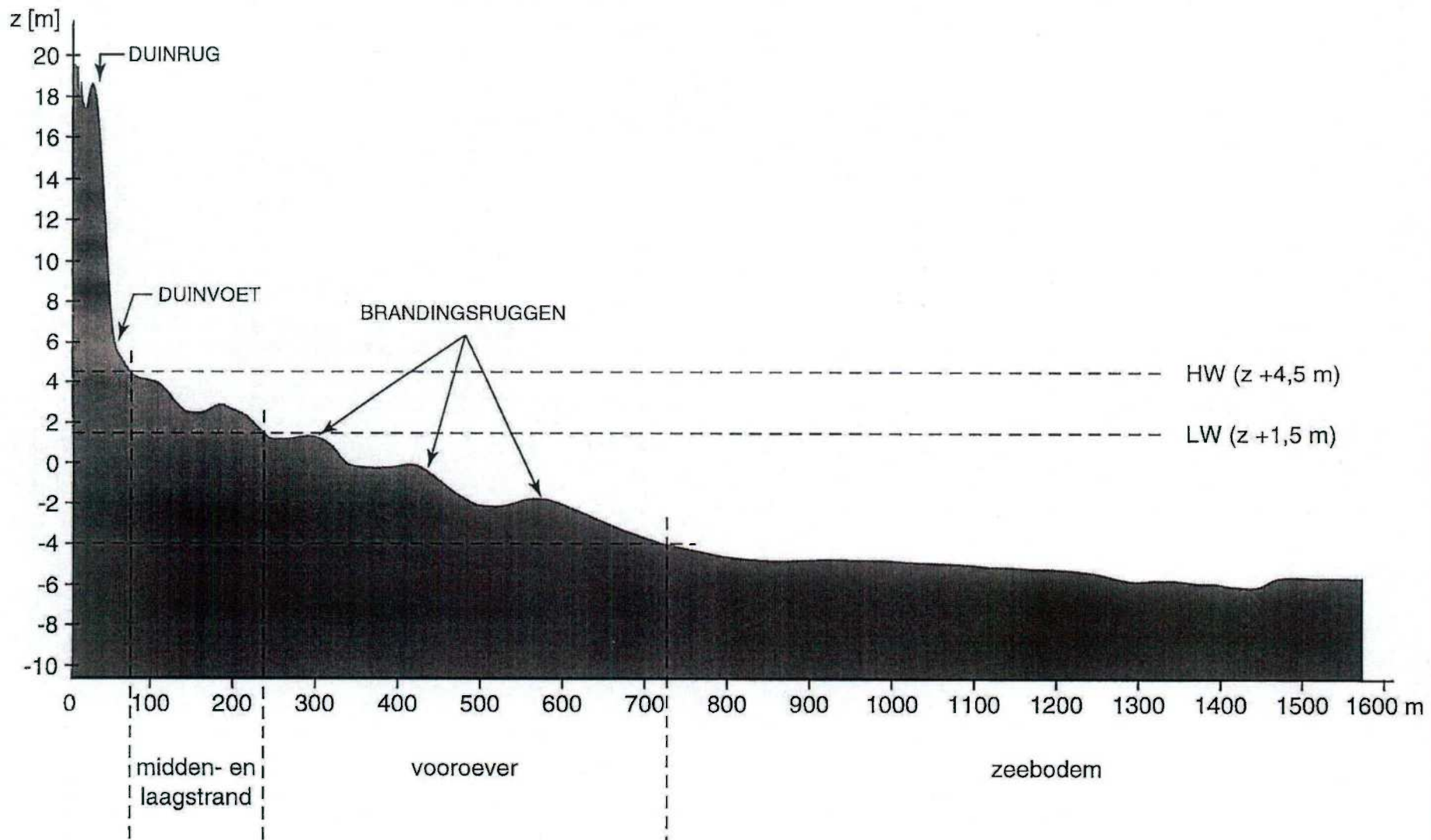


Fig. 2. Hoogstrand, middenstrand en laagstrand worden gedefinieerd door eenmalig vastgelegde grenslijnen. De vooroever is de aan het laagstrand aansluitende zone onder water, tot de diepte $Z = -4$ m.

Brandingsruggen of brekerbanken zijn lage zandbanken op het strand en de vooroever, met lange as parallel met de kust. Zij zijn de evenwichtsmorfologie van licht hellende zandstranden in een bepaald golfklimaat. Langs de Vlaamse kust worden vrijwel overal brandingsruggen aangetroffen. Er zijn geen brandingsruggen waar een getijgeul dicht bij het strand ligt en de vooroever relatief steil is (Koksijde-Bad, getijgeul Potje, en Knokke-Zoute, getijgeul Appelzak). Brandingsruggen zijn het duidelijkst ontwikkeld waar geen strandhoofden liggen. In de kuststrook tussen Bredene en Wenduine liggen er vier tot vijf parallelle brandingsruggen (fig. 3).

Men kan hun ligging opmaken uit hoogteverschilkaarten zoals in fig. 4 (gekoppelde differentieële hoogtekaart tussen de opnamen najaar 1987 en najaar 1990). De zones van aangroei (groen) en afslag (rood) weerspiegelen de ligging en de verplaatsing van de brandingsruggen.

Zandtransport van de vooroever richting kust is een normaal verschijnsel tijdens de zomer, bij afwezigheid van storm en hoge golven. De brandingsruggen verschuiven dan landwaarts. Hierbij wordt het strand gevoed met zand vanaf de vooroever. In de winter, vooral bij storm, gebeurt het omgekeerde. Het strand lijdt erosie onder de hoge golven, en het afgeslagen zand komt op de vooroever terecht. Bovendien zijn de brandingsruggen na de winter vaak zeewaarts verschoven.



*Profiel van strand en vooroever in sectie 148 (De Haan-West)
in het najaar van 1990*

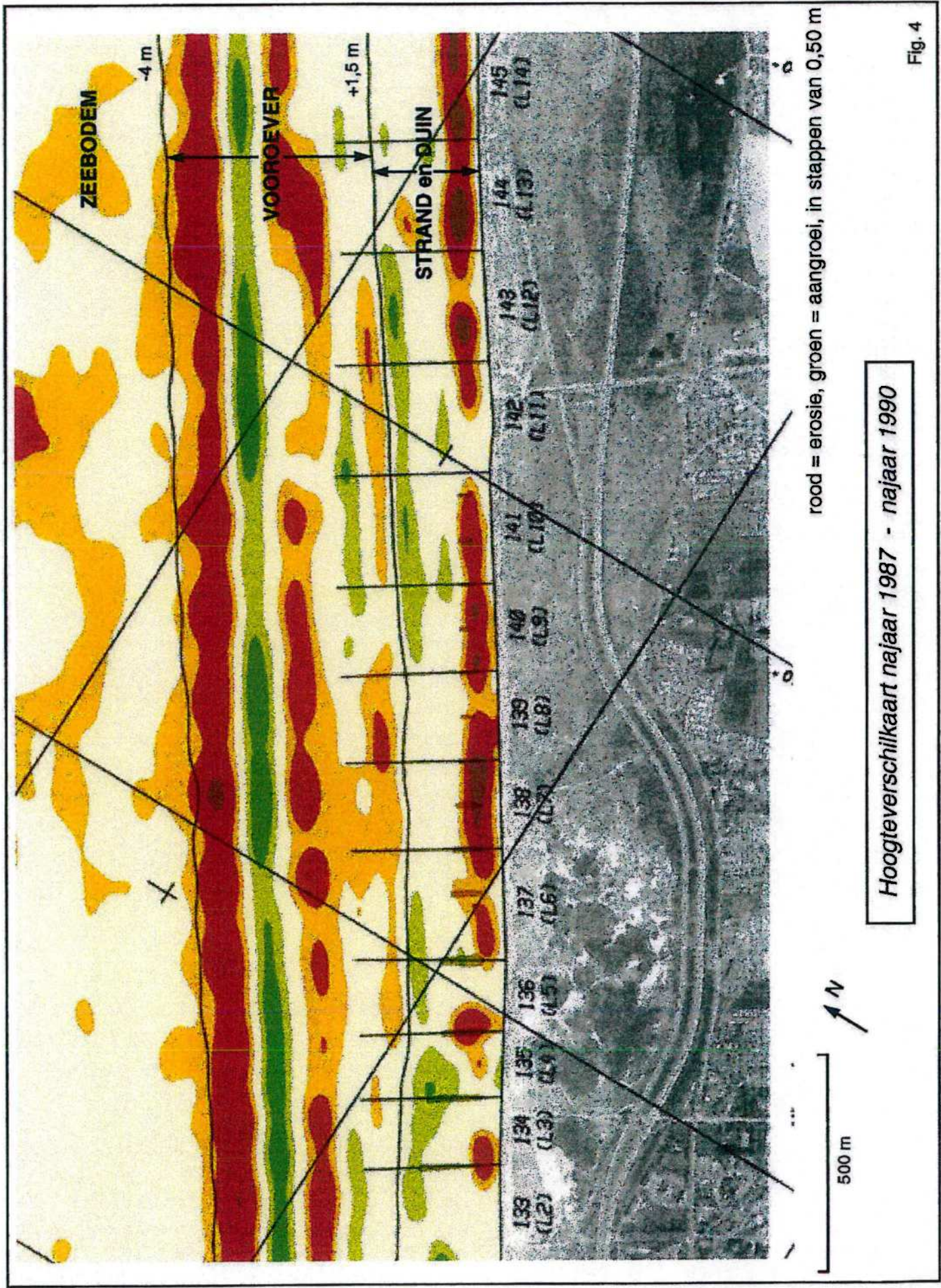


Fig. 4

Een voedingsberm wordt aangelegd d.m.v. een onderwater-zandsuppletie. In De Haan wordt aldus een brekerbank op de vooroever opgehoogd en verbreed. Het verwachte effect is tweevoudig : door de zandstortingen is de vooroever lokaal ondieper waardoor de golven reeds meer energie verliezen voor ze het strand bereiken; tevens kan het aangevoerde zand dienen om het strand te voeden.

1.3. Uitvoeringsfasen

Voornameijk om budgettaire redenen heeft het Bestuur het werk in de zone Bredene - De Haan - Wenduine opgesplitst in twee grote uitvoeringsfasen, waarvan de tweede nogmaals opgesplitst werd :

1. **Fase 1** : Kustbeveiligingswerken ter hoogte van De Haan-Centrum (over een kustlengte van 1.990 m) :
 - aanleg van een *voedingsberm*;
 - uitvoering van een *profielsuppletie*.
2. **Fase 2** : Kustbeveiligingswerken ter hoogte van de kustdelen ten oosten en ten westen van De Haan (Hippodroom, Vosseslag, De Haan-West, Vlissegem, Nieuwmunster en Wenduine-West) :
 - **fase 2a** : aanleg van een *voedingsberm* en uitvoering van een *strand- en duinsuppletie* in de kustdelen ten **westen** van De Haan over een kustlengte van 3.480 m;
 - **fase 2b** : aanleg van een *voedingsberm* en uitvoering van een *profielsuppletie* (hoeveelheden nog niet vastgelegd), in de kustdelen ten **oosten** van De Haan.

Fase 1 werd uitgevoerd in de periode 1991-1992 en fase 2a in 1993-1995. Fase 2b is voorzien voor 1996.

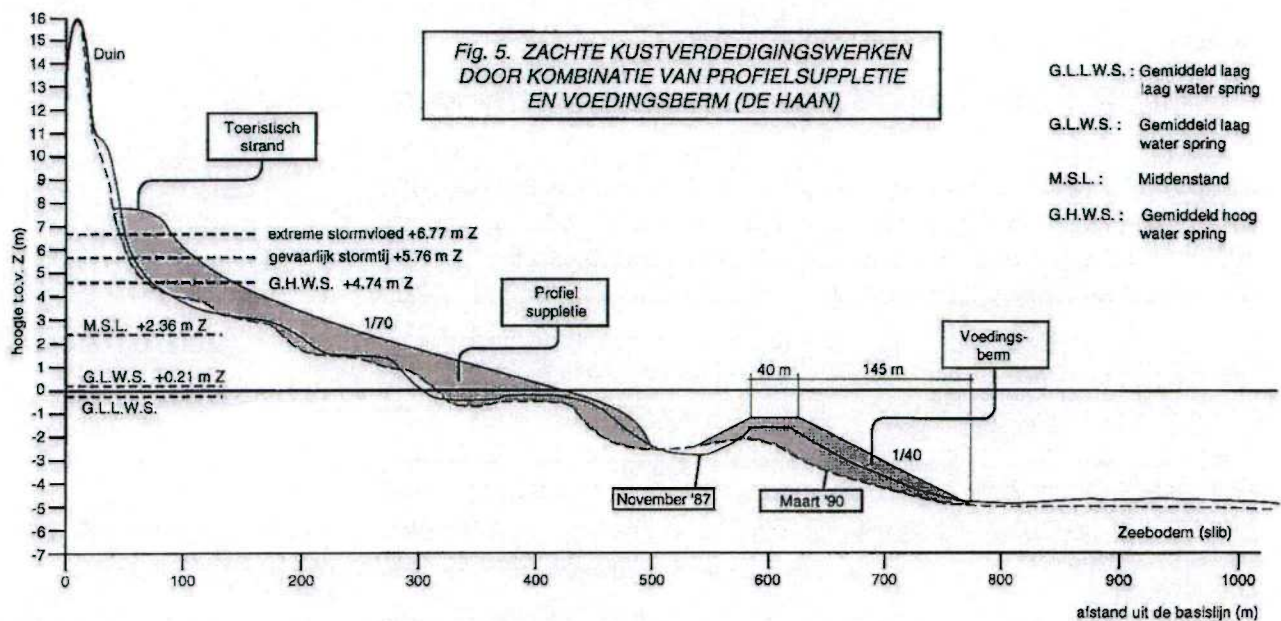
2. UITVOERING VAN DE KUSTBEVEILIGINGSWERKEN IN DE ZONE BREDENE - DE HAAN

2.1. Fase 1 : de kustbeveiligingswerken voor De Haan-Centrum

A. Vooroeversuppletie (aanleg voedingsberm)

Het profiel van de aan te leggen *voedingsberm* had de volgende kenmerken : kruin op $Z = -1$ m ($\pm 0,5$ m), kruinbreedte 40 m (± 5 m) (zie fig. 5). Het zandwinningsgebied voor de vooroeversuppletie van fase 1 was gelegen in de toegangseul tot de haven van Oostende.

De berm werd aangelegd ter hoogte van De Haan-Centrum en enkele aangrenzende sekties, over een kustlengte van 1.990 m van sektie 148 t/m 157, op een afstand van 600 tot 700 m van de zeedijk. De



zone waarin de zandkleppingen werden uitgevoerd, is aangeduid in fig. 1.

De werkzaamheden voor de vooroeveroppleting werden gestart op 18 februari 1991. De zandkleppingen werden onderbroken van 15 juli 1991 tot 16 december 1991. De werken waren beëindigd op 31 maart 1992. In totaal werd 661.787 m³ zand geklept door de Vlaanderen XXI en de Galilei 2000.

In deze zone werd, tussen najaar 1990 (vooroverlodingen van 17, 19 en 23 oktober 1990) en juni 1992 (vooroverlodingen van 2 en 15 juni 1992), een toename in volume met 556.100 m³ gemeten. Dit getal wordt bekomen door het volumeververschil tussen de bodemmorfologie van oktober 1990 en juni 1992 te berekenen binnen de begrenzing van de voedingsbermzone.

B. Profielsuppletie

Voor de *strandsuppletie* in De Haan-Centrum werd 794.365 m³ zand opgespoten via tijdelijke persleidingen op het strand. De toevoer gebeurde via een 1500 m lange zinker, tijdelijk op de zeebodem aangebracht ter hoogte van sectie 156 (ten oosten van de zeedijk in De Haan), vanuit de zelfpersende sleephoppers "Amerigo Vespucci", "James Ensor" en "Antigoon". De werken hadden plaats van 1 april tot 27 mei 1992. Het zand was afkomstig van baggerwerken in de maritieme toegangen tot Zeebrugge en de Schelde. De suppletiezone had een lengte van 1.990 m.

Vóór de werken bedroeg de gemiddelde korrelgrootte op het strand 210 tot 230 µm. Het zand gewonnen in het ontleengebied "aanloop Scheur" had aan boord van de sleephoppers een gemiddelde korrelgrootte die, afhankelijk van de winplaats, varieerde van 190 tot 300 µm; de gemiddelde mediaan van de geanalyseerde stalen bedroeg

236 μm . Onmiddellijk na de suppletie werden op het strand stalen genomen; de gemiddelde korrelgrootte in de diverse stalen varieerde van 275 tot 325 μm (gemiddelde waarde 300 μm). Bij de opspuiting spoelt de fijnere fraktie immers uit en blijft het grovere zand liggen.

Als gevolg van de strandsuppletie staken de hoogtelijnen op het strand ter hoogte van sekties 149 t/m 158 in juni 1992 ca. 100 m meer zeewaarts uit dan in de aangrenzende, niet opgespoten sekties. Er werden gekoppelde strand- en vooroeveropmetingen verricht voor en na de uitvoering van de strandsuppletie (zie datums in tabel 2 en 3). De hierbij gemeten toename van strand en vooroever bedroeg 583.200 m^3 (zie rapporten "Morfologie Midden- en Westkust").

2.2. Fase 2a : de kustbeveiligingswerken tussen Bredene en De Haan

A. Vooroeversuppletie (aanleg voedingsberm)

Deze fase behield dezelfde ontwerpkenmerken als voor de voedingsberm in De Haan-Centrum. De aanleg van de verlenging van de *onderwater-voedingsberm* in westelijke richting startte op 2 november 1993. De berm werd geleidelijk westwaarts verlengd. Er werd door-gewerkt tot 9 september 1994, waarbij men met de berm tot op 350 m ten oosten van de toegang "Hippodroom" gekomen was. Een laatste aanlegfase startte op 2 oktober 1995 en loopt tot in november 1995. Het betreft de afwerking van de voedingsberm over een kustlengte van 700 m ter hoogte van de toegang "Hippodroom". De totale gerealiseerde lengte zal dan 3.480 m bedragen.

Het aangevoerde volume zand bedroeg ca. 628.503 m^3 (baggerpachtjaren 1993-1994 : ca. 375.000 m^3 , 1994-1995 : ca. 150.000 m^3 en 1995-1996 : ca. 103.100 m^3). Het laatste cijfer slaat op de afwerking van de berm tot voorbij de toegang "Hippodroom" in het najaar van 1995 en is een raming.

Tussen de vooroeverlodingen van najaar 1993 (lodingen op 29 en 30 september 1993) en najaar 1994 (lodingen op 19 september en 10 en 11 oktober 1994) werd in het gebied waar de voedingsberm werd aangelegd, een volumetoename van 306.000 m^3 waargenomen. Dit getal is het volumeverval tussen de bodemmorfologie van september 1993 en september-oktober 1994 binnen de begrenzing van de voedingsbermzone. In de periode waarover deze volumetoename werd vastgesteld, werd tot dan toe ca. 525.000 m^3 zand gestort (volume in beun).

B. Strand- en duinsuppletie

De strand- en duinsuppletie (profielsuppletie op het strand en herstelling van de door erosie afgekalfde duinvoet) in de zone Bredene (Hippodroom) tot De Haan (Zeepreventorium) heeft een totale lengte van 3.480 m en werd uitgevoerd in 3 deelfasen. De toevoer gebeurde via

een onderwater-persleiding, tijdelijk aangebracht ter hoogte van de strandtoegang Vosseslag, in sectie 142.

B1. Meest urgente zone

In november-december 1994 werd in de meest urgente zone, nabij de strandtoegang Vosseslag, zand opgespoten ter versteviging van de duinvoet. Deze zandtoevoer gebeurde over een kustlengte van 670 m, vanaf krib 19 tot 100 m ten oosten van de toegang Vosseslag. De kribben 19 tot en met 22 werden bedekt door de zandsuppletie. In het gedeelte palend aan het golfterrein, waar de zeeerende duinen het laagst en het smalst waren, werd een duinsuppletie uitgevoerd en meteen bezet met hagen in rijshout.

Bij deze eerste deelfase werd 203.440 m³ zand opgespoten (volume in beun). Het zand was afkomstig van de Kwintebank en de maritieme toegangswegen tot de havens van Antwerpen en Zeebrugge (zone A1-boei - Scheur). De gemiddelde korrelgrootte van stalen ontnomen aan boord van het baggerschip viel in het bereik 350 - 400 µm. De gemiddelde korrelgrootte op het strand na opspuiting was 376 µm.

B2. Overig gedeelte van het strand tussen de toegang Hippodroom en het Zeepreventorium

Het grootste gedeelte van het strand vanaf de strandtoegang "Hippodroom" (sectie 134) tot nabij de strandtoegang van het Zeepreventorium (sectie 149) werd opgespoten in de maanden april, mei en juni 1995. De opgespoten hoeveelheid zand bedroeg 894.611 m³ (volume in beun).

Het zand was grotendeels afkomstig van de Kwintebank (gemiddelde korrelgrootte variërend van 380 tot 500 µm) en verder ook van de zone van de A1-boei (gemiddelde korrelgrootte 300 µm). Drie maanden na de beëindiging van de suppletie werden verspreid over het strand zandmonsters ontnomen. De gemiddelde korrelgrootte van deze stalen lag in het bereik 350 tot 400 µm; de gemiddelde mediaan bedroeg 388 µm.

Bij deze suppletie werden de strandkribben en de Longardbuisen bedolven onder het zand.

B3. Nabij de toegang Hippodroom en tussen de toegang Vosseslag en het Zeepreventorium

Er werd nog een westwaartse verlenging uitgevoerd van de strand- en duinsuppletie tot ca. 300 m voorbij de strandtoegang "Hippodroom" van 2 tot 10 oktober 1995. Hierbij werden eveneens enkele strandkribben onder het zand bedekt. De opgespoten hoeveelheid bedraagt 118.851 m³. Bovendien dient voor de aansluiting van de suppletie naar de zone van fase 1, dus tussen de strandtoegang "Vosseslag" en het Zeeprevento-

rium, nog ca. 205.000 m³ te worden gesuppleerd. Deze werken worden aansluitend uitgevoerd in oktober en november 1995.

De kustverdedigingswerken in De Haan-Centrum en tussen Bredene en De Haan worden samengevat in tabel 1.

periode van uitvoering	omschrijving	aangebrachte hoeveelheid zand (in beun) [m ³]	toename gemeten ts. 2 opeenvolgende opnames (volumeverschil bodem) [m ³]
18 feb 91 - 31 maart 92	voedingsberm fase 1 (De Haan-Centrum)	661.787	556.100
1 april 92 - 27 mei 92	strandsuppletie fase 1 (De Haan-Centrum)	794.365	583.200
2 nov 93 - 9 sep 94	voedingsberm fase 2a	525.403	306.000
22 nov 94 - 23 dec 94	strandsuppletie fase 2a (omheen Vosseslag)	203.440	-
3 april 95 - 12 juni 95	strandsuppletie fase 2a (Hippodr. - Zeeprevent.)	894.611	nog te bepalen
2 okt 95 - 1 nov 95	strandsuppletie fase 2a (West Hippodroom en Oost Vosseslag)	323.851(*)	nog te bepalen
2 okt 95 - 22 nov 95	voedingsberm fase 2a (omheen Hippodroom)	103.100(*)	nog te bepalen

Tabel 1. Samenvatting en chronologie van de "zachte" kustverdedigingswerken in De Haan-Centrum en tussen Bredene en De Haan. (*) = raming

3. MORFOLOGISCHE OPVOLGING

Gedetailleerde waarnemingen van het strand, gebaseerd op regelmatig uitgevoerde luchtfotogrammetrische opnames, leveren in de kuststrook Bredene-De Haan sinds 1980 de noodzakelijke morfologische gegevens om de stranderosie en het effect van de maatregelen die hiertegen genomen worden, op te volgen. Vanaf het najaar van 1987 worden er ook bathymetrische gegevens verzameld op de vooroever van het gebied, tot ca. 1500 m zeewaarts van de landwaartse grens van de strandsekties, en dit met behulp van het BEASAC[®]-platform². Deze bathymetrische gegevens worden gekoppeld tot één continue databank met de teledetektisch bekomen strand- en duinaanzetopmetingen. De metingen worden zowel kartografisch als volumetrisch uitgewerkt.

²BEASAC[®] : Belfotop Eurosense Acoustic Sounding Air Cushion platform.

In het kader van de begeleiding en nazorg van de werken in de zone Bredene - De Haan werden bovendien speciale aëroteledetektische registraties verricht en uitgewerkt (vooral ter begeleiding van de uitvoering van fase 1), alsook bathymetrische vooroeverlodingen uitgevoerd m.b.v. het BEASAC®-platform (zowel tijdens en na de uitvoering van fase 1 en 2a). Deze metingen werden uitgevoerd in beperkte zones, volgens de vooruitgang van de kustverdedigingswerken.

Over de aard en intensiteit van de erosie in de kuststrook van Bredene tot De Haan, en de kustbeschermende maatregelen die in deze bedreigde zone tot 1993 werden genomen, werd in 1993 een bijzonder rapport opgesteld ('Evolutie van de strandmorfologie tussen Bredene en De Haan. Periode 1980 - 1993', ref. VOSS 93.001). Hieruit bleek o.m. dat de tot dan toe genomen maatregelen een duidelijk beschermende werking hadden in De Haan-Centrum, maar dat het erosieprobleem ten westen van De Haan was blijven bestaan. Mede als gevolg van deze rapportering werd zo snel mogelijk een aanvang genomen met de uitvoering van fase 2 van de kustverdedigingswerken nabij De Haan.

Voor de onderhavige rapportering werd gebruik gemaakt van de reeds eerder gerapporteerde meetgegevens, alsook van de meetgegevens van de speciale meetvluchten en koppelingen (zie tabellen 2 en 3).

lodingsdatum	toestand (T)	gebied	gelode secties
17, 19, 23/10/1990	vóór aanvang der werken	Bredene-Wenduine	132-181*
9/3/1992	DH T0	De Haan-Centrum	145-160*
2, 15/6/1992	DH T1	De Haan-Centrum	145-160*
9, 22, 27/10/1992	DH T2	De Haan-Centrum	145-160*
3, 8, 9/2/1993	DH T3	De Haan-Centrum	145-160
4, 6, 26/6/1993	DH T4	Bredene-Wenduine	132-181*
29, 30/9/1993	DH T5	De Haan-Centrum	145-160
23, 24, 25, 27/11/1993	DH T6	Bredene-Wenduine	132-181*
7/4/1994	DH T7	De Haan-Centrum	145-160*
19/9,10,11,14,15/10/94	DH T8, H T0	Bredene-Wenduine	132-181*
14, 30/3/1995	DH T9, H T1	Bredene-De Haan	132-160
25/5, 20, 21/6/1995	DH T10, H T2	Bredene-Wenduine	132-181*

Tabel 2. Overzicht van de vooroeverlodingen uitgevoerd in het gebied van de voedingsberm te De Haan (DH, fase 1) en tussen Bredene (Hippodroom) en het Zeepreventorium (H, fase 2a). * = vooroeverlodingen ook gebruikt voor de koppeling met aëroteledetektische meetresultaten.

Bij de verwerking van de meetgegevens werden volumes en hoogte-evoluties telkens uitgewerkt per sectie, met binnen de secties nog een onderverdeling in de morfologische zones van de strandwal : hoogstrand (duinaanzet), middenstrand, laagstrand, vooroever en zeebodden.

datum meetvlucht	toestand en nummer vlucht	gebied	opgemeten sekties
12/10/1990	vóór aanvang der werken, vl. 19	Bredene-Blankenberge	132-200*
7/3/1991	20	De Haan-Centrum	146-160
8/4/1992	23	Bredene-Blankenberge	132-200*
11/6/1992	24 (ref. 2)	De Haan-Centrum	146-160*
4/11/1992	25	Bredene-Blankenberge	132-200*
30/4/1993	26	Bredene-Blankenberge	132-200*
7/1/1994	27	Bredene-Blankenberge	132-200*
1/6/1994	28	Bredene-Blankenberge	132-200*
10/10/94	29	Bredene-Blankenberge	132-200*
22/5/1995	30	Bredene-Blankenberge	132-200*

Tabel 3. Overzicht van de meetvluchten ten behoeve van de topografie van strand en duinaanzet uitgevoerd in de zone Bredene - De Haan. * = meetresultaten ook gebruikt voor de koppeling met de vooroeverlodingen.

Er werden bovendien kuberingen van de zandvolumes uitgevoerd in de zones waarin de voedingsberm (fase 1 en 2a) en de strandsuppleties (fase 1 en 2a) werden uitgevoerd, en in de aangrenzende zones waar een morfologisch effect van de voedingsberm verwacht mag worden (fig. 1). De kuberingen werden alle uitgevoerd met als referentie de opname van oktober 1990, vóór het begin van de werken.

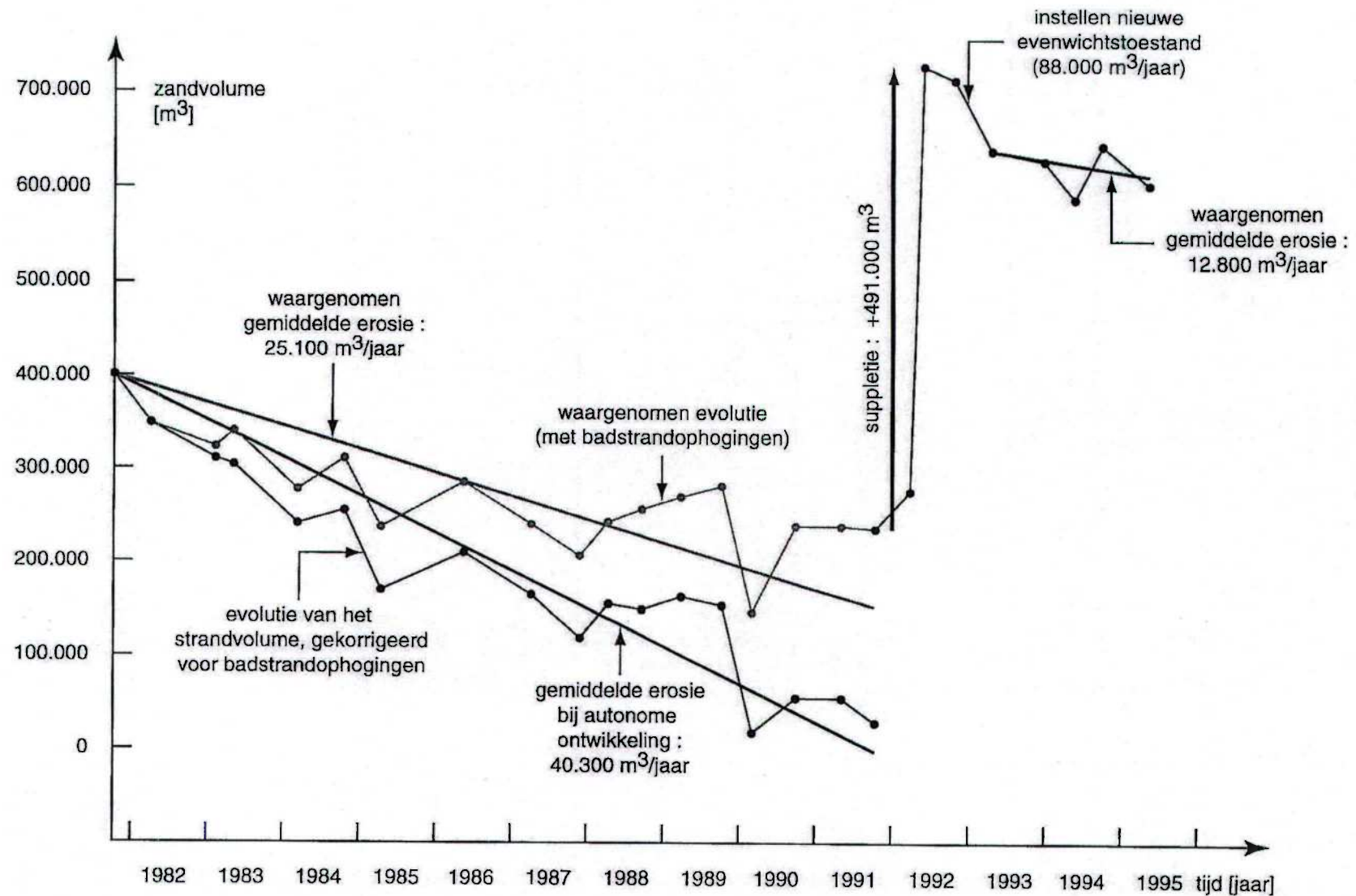
4. EVOLUTIE VAN DE MORFOLOGIE TER HOOGTE VAN DE HAAN-CENTRUM (FASE 1)

4.1. Evolutie van het strand in De Haan-Centrum vóór de uitvoering van de combinatie voedingsberm-strandsuppletie

In fig. 6 is de evolutie sinds 1981 uitgezet van het gezamenlijk zandvolume op hoogstrand, middenstrand en laagstrand van de zone in De Haan-Centrum die in 1992 een suppletie onderging.

De gemiddelde erosie-intensiteit over de periode 1981-1991 bedroeg in deze zone 25.100 m³ per jaar, of 12 m³ per strekkende meter en per jaar.

Deze evolutie deed zich voor in weerwil van de inspanningen die jaarlijks ondernomen werden om de erosie te bestrijden. Zo werden in het voorjaar strandophogingen en -profileringen uitgevoerd om de erosie zoveel mogelijk te compenseren. Hierbij werd niet alleen zand opgevoerd van een zone nabij de laagwaterlijn, maar werd tevens jaarlijks gemiddeld 20.000 m³ zeezand aangebracht in een strook langsheen de zeedijk. Indien men de werkelijk aangevoerde hoeveelheden zee-



De Haan (sekties 149 tot en met 158) : evolutie sinds 1981 van het totale volume zand op het hoogstrand, middenstrand en laagstrand

zand progressief wegrekent uit de strandkuberingen, bekomt men de zgn. *autonome ontwikkeling* voor het strand in De Haan-Centrum, dit is de ontwikkeling die zich van nature zou hebben voorgedaan had men geen erosiekompenserende maatregelen genomen. Deze ontwikkeling is eveneens in fig. 6 aangegeven. De gemiddelde jaarlijkse erosie bedroeg hierbij 40.300 m³ of 19 m³ per meter.

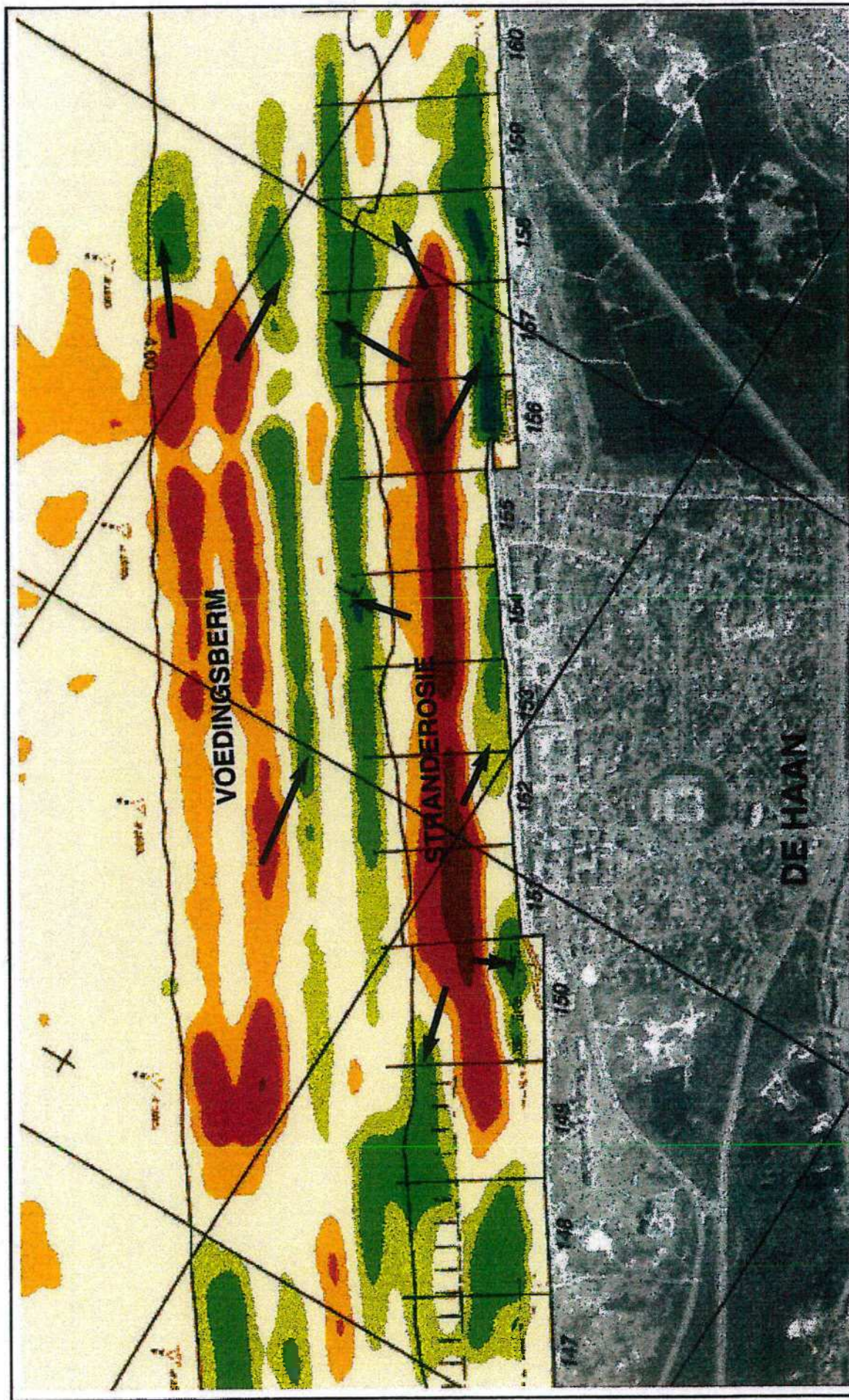
4.2. Evolutie van het strand in De Haan-Centrum na de beëindiging van de combinatie voedingsberm-strandsuppletie

Bij de *strandsuppletie* van april en mei 1992 werd, gemeten in beun, 794.364 m³ zand aangevoerd. De volumetoename, bepaald uit voor- en nametingen op strand en vooroever, bedroeg 583.200 m³. Hiervan was er 491.000 m³ volumetoename op het strand (hoog-, midden- en laagstrand) of gemiddeld 231 m³ per meter (fig. 6); de rest van de volumetoename situeerde zich beneden de laagwaterlijn (hogere vooroever).

Na de beëindiging van de strandsuppletie in De Haan, dus na mei 1992, erodeert het centrale gedeelte van het opgespoten gebied. Enkele maanden na de werken was het effen aangelegde strandprofiel opnieuw gehermodelleerd naar de voor De Haan gebruikelijke zwin- en ruggenmorfologie. De centrale erosie en de aangroei in zones er omheen is te zien op de hoogteverschilkaart van fig. 7.

Een gedeelte van het eolisch afgevoerd zand wordt gevangen tussen de windschermen langs de zeedijk en tussen de rijshouthagen aan de duinvoet ten westen en ten oosten van de zeedijk. Het afgevoerde zand droeg ook bij tot de voeding van het strand in enkele sekties ten oosten en ten westen van de gesuppleerde zone. Tenslotte werd ook de hogere vooroever en zelfs de vooroeverberm gevoed. Dit blijkt tevens uit tabel 4 en fig. 9, die hieronder in meer detail besproken worden.

De erosie was vooral intens in de eerste winter na de zandsuppletie, tussen de meetvluchten van 4 november 1992 en 30 april 1993. Er traden in deze periode een vijftal vrij zware stormen op. De intensiteit van de erosie was van de grootte-orde van 60 m³/m/jaar. In het totaal bedroeg de afslag op het strand 88.000 m³. Deze belangrijke afslag in de eerste maanden na de strandsuppletie heeft blijkbaar te maken met het instellen van een nieuwe evenwichtstoestand. Over de twee volgende jaren, tot 22 mei 1995, werd een veel lichtere erosie vastgesteld, gemiddeld 12.800 m³/jaar of 6 m³/m/jaar (fig. 8). De totale afslag op laag- en middenstrand beloopt tussen juni 1992 en mei 1995 164.200 m³ (31 % van de bij de zandsuppletie op het strand gemeten volumetoename).



vermoedelijke richting van het opgetreden zandtransport

rood = erosie, groen = aangroei, in stappen van 0,50 m



Verschilkaart juni 1992 - najaar 1994

Fig. 7

100 [m³/m]

75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
-175
-200
-225
-250
-275

OPSPUITING

afslag eerste jaar na suppletie : 88.000 m³

gemiddelde afslag 1993 - 1995 : 12.800 m³/jaar (6 m³/m jaar)

gemiddelde afslag periode 1981 - 1991 (vóór de opspuiting) :
- niet-autonome ontwikkeling: 25.100 m³/jaar (12 m³/m jaar)
- autonome ontwikkeling: 40.300 m³/jaar (19 m³/m jaar)

referentie-volume

- volume hoogstrand
- volume middenstrand
- volume laagstrand

J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D
1992 1993 1994 1995

Midden- en Westkust Secties 149 tot en met 158 Kustlengte : 2121 m
Evolutie van de volumeveranderingen De Haan-Centrum t.o.v. de referentie juni 1992

4.3. Evolutie van de berm op de vooroever in De Haan-Centrum

Bij de opvolging van de *vooroever* werden afzonderlijke volumever- schillen berekend voor de zones, aangeduid in fig. 1. De verschillen hebben alle als basis de opmeting van oktober 1990, die de toestand aangeeft voor het begin van de aanleg van de voedingsberm. In ta- bel 4 en fig. 9 werden tevens de volumever- schillen voor het strand opgenomen; aldus is de interactie tussen beide zones optimaal te vol- gen.

Tussen de vooroeverlodingen van maart en juni 1992 kende de zone met de voedingsberm een lichte aangroei en de hogere vooroever (zone tussen de voedingsberm en de laagwaterlijn) een vrij grote aan- groei. Deze aangroei is voornamelijk toe te schrijven aan de strand- suppletie van fase 1, dan uitgevoerd.

De hogere vooroever groeide verder aan tussen juni 1992 en juni 1993. Tussen februari 1993 en juni 1993 kende ook de voedingsberm een lichte aangroei. Deze aangroei valt samen met de sterke erosie op het strand van De Haan-Centrum, in de eerste winter na de suppletie. Men mag dan ook stellen dat een deel van het strandzand op de voor- oever, en zelfs in de zone van de voedingsberm, is terecht gekomen.

Tussen september 1993 en april 1994 kende de voedingsberm ander- maal een lichte aangroei. In de genoemde periode waren de werken ter aanleg van de fase 2a van de voedingsberm begonnen, nl. de westwaartse verlenging van de voedingsberm ter hoogte van het kustdeel "De Haan-West". Men kan uit de waargenomen morfologi- sche evolutie ter hoogte van De Haan-Centrum vrijwel met zekerheid afleiden dat er ook een zandtransport is opgetreden vanuit de zone met voedingsberm in aanleg naar de zone van de voedingsberm van fase 1.

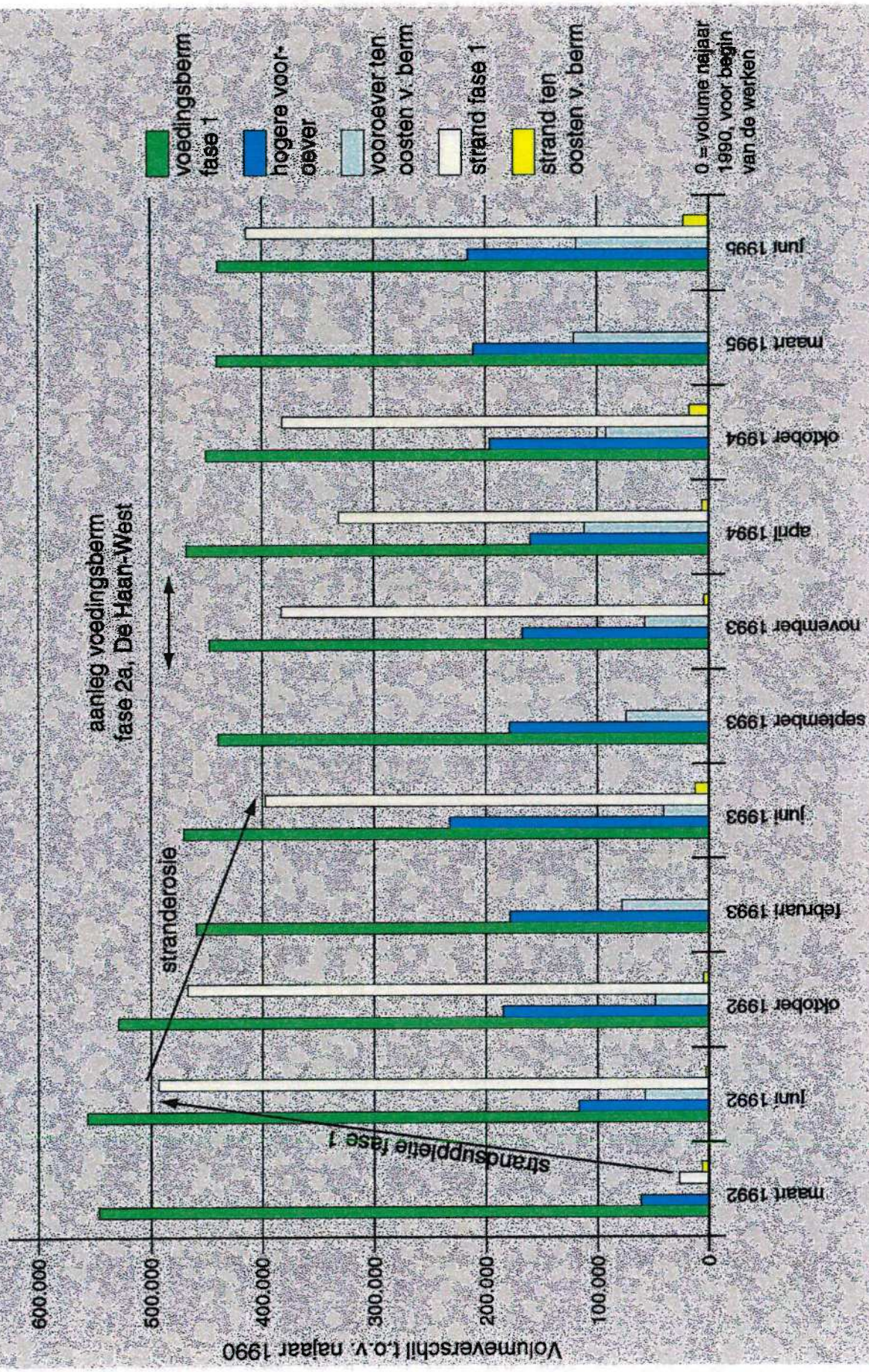
Tussen april 1994 en juni 1995 kende de voedingsberm ter hoogte van De Haan-Centrum een lichte afslag. De hogere vooroever groei- de aan. Mogelijk was er enig zandtransport vanaf de voedingsberm. Ook kende het strand van De Haan in deze periode afslag, en deze zal wellicht gedeeltelijk op de hogere vooroever tegenover De Haan zijn terecht gekomen.

Tabel 4 en fig. 9 maken ook duidelijk dat de vooroever net ten oosten van de zone met kustverdedigingswerken in fase 1, nl. in sekties 159 en 160, gedurende de hele periode een geleidelijke aangroei gekend heeft. Er was eveneens een aangroei op het strand.

De Haan-centrum (sekties 148 t/m 157)						
Iodingsdatum (datum meetvlucht zie tabel 3)	Voedingsberm fase 1 (opp. = 469.000 m ²)		Hogere vooroever (opp. = 713.700 m ²)		Laag- en middenstrand (opp. = 361.000 m ²)	
	Volumeverschil	Hoogteverschil	Volumeverschil	Hoogteverschil	Volumeverschil	Hoogteverschil
	(m ³)	(cm)	(m ³)	(cm)	(m ³)	(cm)
09-03-1992	546400	116	61100	9	25800	7
02,15-06-1992	556100	119	116500	16	493000	137
09,22,27-10-1992	529000	113	184500	26	467200	129
03,08,09-02-1993	459600	98	178300	25		
04,07-06-1993	470300	100	231600	32	397300	110
29,30-09-1993	440000	94	179100	25		
24,25-11-1993	447700	95	167200	23	382800	106
07-04-1994	468200	100	160400	22	331000	92
19-09,14-10-1994	450300	96	195700	27	381600	106
14-03-1995	440600	94	210600	30		
25-5,20-06-1995	439900	94	215700	30	339500	94

Ten oosten van de berm (sekties 158 t/m 160)				
Iodingsdatum (datum meetvlucht zie tabel 3)	Vooroever (opp. = 304.200 m ²)		Laag- en middenstrand (opp. = 109.000 m ²)	
	Volumeverschil	Hoogteverschil	Volumeverschil	Hoogteverschil
	(m ³)	(cm)	(m ³)	(cm)
09-03-1992			6000	6
02,15-06-1992	57300	19	2500	2
09,22,27-10-1992	47800	16	4800	4
03,08,09-02-1993	77700	26		
04,07-06-1993	40500	13	12300	11
29,30-09-1993	74000	24		
24,25-11-1993	57300	19	4100	4
07-04-1994	111400	37	5900	5
19-09,14-10-1994	91800	30	17200	16
14-03-1995	120600	40		
25-5,20-06-1995	118800	39	22500	21

Tabel 4. Evolutie van de volumeverschillen en gemiddelde-hoogteverschillen tussen de koppeling najaar 1990 en de volgende opmetingen, berekend in de gebieden aangegeven in fig. 1.



Evolutie van de volumes van vooroever en strand in en nabij De Haan-Centrum

5. EVOLUTIE VAN DE MORFOLOGIE TUSSEN BREDENE EN DE HAAN TIJDENS EN NA DE UITVOERING VAN FASE 2A

5.1. Evolutie van het strand tussen Bredene en De Haan

Het strand en de duinaanzet van de zone Bredene (Hippodroom) tot De Haan-West (ter hoogte van het Zeepreventorium) vertoonden tot onlangs een meerjarige trend tot afslag, waarbij vermeld dient te worden dat deze trend de laatste jaren nog was toegenomen. Zo kende het strand ter hoogte van de toegang Vosseslag over de periode 1981-1989 een gemiddelde jaarlijkse afslag van $10 \text{ m}^3/\text{m}$ kustlengte. Over de periode 1990-1994 was dat toegenomen tot $17 \text{ m}^3/\text{m}$ kustlengte (fig. 10).

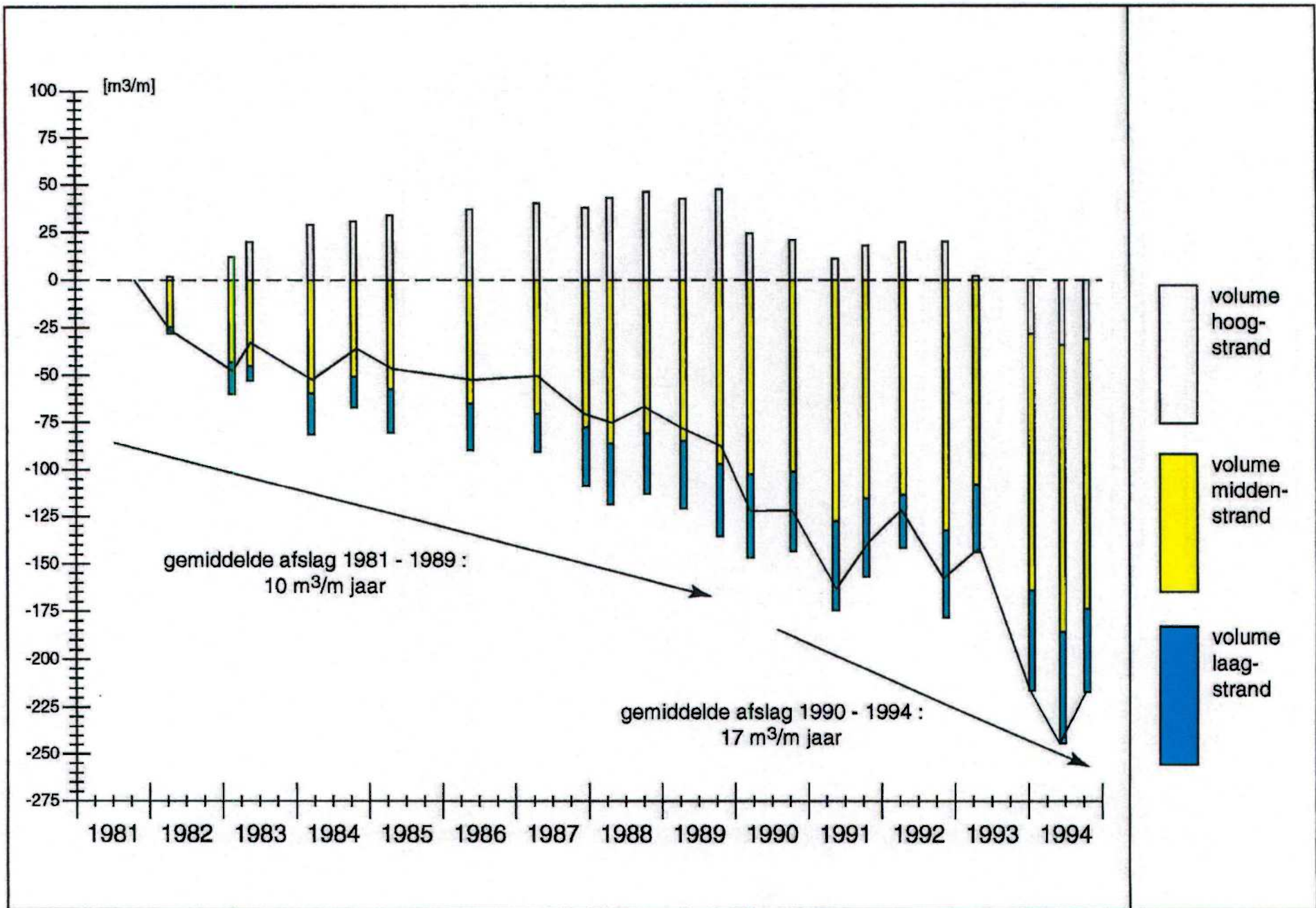
De versnelde afslag van de laatste jaren is onder meer toe te schrijven aan het optreden van een aantal stormen, waarbij de duinvoet heviger dan voorheen werd aangetast.

Zo kende de duinvoet bij de winterstormen van 1993-1994 tweemaal intense erosie. Tweemaal dienden er dringende zandopvoerwerken te gebeuren om de duinvoet te herstellen. Hierbij werd in de kuststrook telkens ca. 20 m^3 zand per meter kustlengte van het laagstrand naar de duinvoet verplaatst. Tevens dienden er de laatste jaren lokaal aanvullingen met zeezand te gebeuren omheen de strandtoegangen.

In november en december 1994 werd dan de meest urgente zone, in een 670 m lange strook langs de duinvoet nabij de strandtoegang *Vosseslag*, opgespoten. Westwaarts reikte de suppletie tot voorbij krib 19. Hier werd een hoger profiel aangehouden (duinsuppletie), omdat er van de zeeerende duinen vrijwel niets meer restte. Er werden meteen ook hagen in rijshout aangeplant. De opgespoten hoeveelheid beliep in het totaal 203.440 m^3 (volume in beun).

Bij de hevige winterstorm van 1 en 2 januari 1995 is de zichtbare erosie aan de reeds *opgespoten zone* beperkt gebleven. Enkel in het westelijke gedeelte, waar de suppletie volgens een hoger profiel was uitgevoerd, werd een erosieklif geslagen met een lengte van ca. 50 m en tot maximaal 2 m hoog. Achter de nieuw geplante rijshouthagen werd reeds heel wat zandwinst genoteerd. *Tussen Vosseslag en De Haan-West* was de erosie aan de duinvoet, visueel gezien, eveneens beperkt.

Het *nog niet opgespoten strand nabij Bredene (Hippodroom)* kende wel een intense erosie, waarbij de duinvoet andermaal werd aangetast. Hier werden na de storm erosiekliffen van 2 tot 6 m vastgesteld, met lokaal gekoncentreerde erosie rond de strandkribben. Er werden rond deze tijd geen metingen verricht op het strand, maar wel werd een visuele inspectie gehouden, waarbij de geleden schade kwalitatief werd beschreven (zie rapport STORM 95.002).



Midden- en Westkust Sektie 143 Kustlengte : 250 m
 Evolutie van de volumeveranderingen Vosseslag

In de periode april - juni 1995 werd vervolgens de voorziene suppletie voortgezet tussen Bredene-Hippodroom en De Haan-West (tot voorbij de toegang "Vosseslag"). In deze periode werd 894.611 m³ zand opgespoten (volume in beun). De precieze volumetoename op het strand kan niet bepaald worden, aangezien de voorjaarsvlucht van 1995 werd uitgevoerd terwijl de suppletie nog aan de gang was.

Tenslotte werd van 2 tot 10 oktober 1995 de afwerking van de strand-suppletie nabij de strandtoegang Hippodroom uitgevoerd, ten belope van 118.851 m³. Ook tussen de toegang Vosseslag en het Zeepreventorium wordt de suppletie nog afgewerkt in oktober - november 1995 met een geraamde aanvoer van 205.000 m³ (volumes in beun).

5.2. Evolutie van de vooroever tussen Bredene en De Haan

De zone waarin fase 2a van de *voedingsberm* werd uitgevoerd, strekt zich uit van sectie 132, ten westen van de strandtoegang "Hippodroom", tot sectie 147, nabij het Zeepreventorium. Het grootste deel van de aanleg, met een suppletiehoeveelheid van 525.403 m³, situeerde zich tussen 2 november 1993 en 9 september 1994. De verlenging ter hoogte van de strandtoegang "Hippodroom" wordt uitgevoerd in oktober - november 1995, waarbij nogmaals ca. 103.100 m³ zand worden gestort.

De evolutie van de volumes t.o.v. de situatie bij de vooroeverlodingen van oktober 1990 (voor het begin van de werken in De Haan) is weergegeven in tabel 5 en fig. 11.

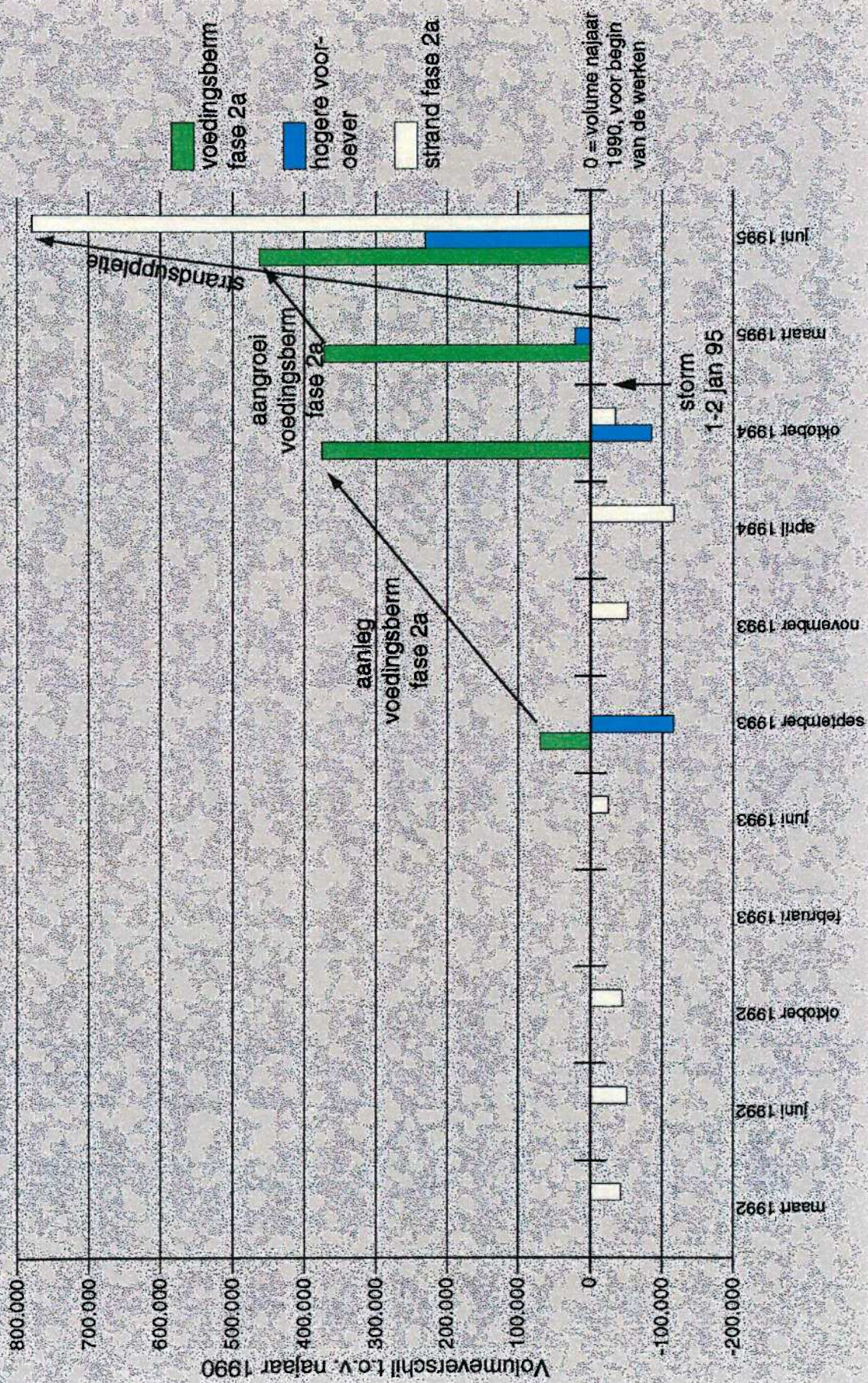
Zoals hierboven reeds vermeld is het volume in de zone van de voedingsberm met 306.000 m³ toegenomen als gevolg van de aanleg in de periode november 1993 - september 1994. Deze toename is weergegeven in fig. 11. Het volume werd bepaald door het verschil in bodemtopografie. Er werd in die periode 525.400 m³ gestort, maar wellicht was reeds een deel van het gestorte zand afgevoerd t.g.v. het natuurlijke zandtransport vóór de napelling werd uitgevoerd.

Tussen oktober 1994 en maart 1995 kende de hogere vooroever een aangroei met ca. 100.000 m³, terwijl het volume in de zone met de voedingsberm nagenoeg onveranderd bleef. Er zijn geen gegevens over de volume-evolutie van het strand. Wel is er in deze periode vrij ernstige erosie op het strand en aan de duinvoet opgetreden, voornamelijk bij de stormen van 1 en 2 januari 1995 en eind januari 1995, en dit hoofdzakelijk in de omgeving van de toegang Hippodroom. Tevens was er enig zandverlies aan de zeewaartse zijde van het reeds opgespoten gedeelte nabij de toegang Vosseslag (meest urgente gedeelte). Men kan aannemen dat de volumetoename op de vooroever gevoed werd door de erosie van het strand en de duinaanzet.

In het voorjaar van 1995, tussen de opnamen van maart 1995 en juni 1995, situeert zich de strandsuppletie van 894.611 m³. In deze perio-

Tussen Bredene en De Haan (sekties 134 t/m 147)						
Iodingsdatum (datum meetvlucht zie tabel 3)	Voedingsberm fase 2a (opp. = 644.500 m ²)		Hogere vooroever (opp. = 985.600 m ²)		Laag- en middenstrand (opp. = 449.800 m ²)	
	Volumeverschil (m ³)	Hoogteverschil (cm)	Volumeverschil (m ³)	Hoogteverschil (cm)	Volumeverschil (m ³)	Hoogteverschil (cm)
09-03-1992					-42700	-9
02,15-06-1992					-51100	-11
09,22,27-10-1992					-44300	-10
03,08,09-02-1993						
04,07-06-1993					-24400	-5
29,30-09-1993	69300	11	-115700	-12	-51600	-11
24,25-11-1993					-115900	-26
07-04-1994					-34800	-8
19-09,14-10-1994	375400	58	-85000	-9		
14-03-1995	371600	58	21000	2		
25-5,20-06-1995	463000	72	230500	23	779656	173

Tabel 5. Evolutie van de volumeverschillen en gemiddelde-hoogteverschillen tussen de koppeling najaar 1990 en de volgende opmetingen, berekend in de gebieden aangegeven in fig. 1.



Evolutie van de volumes van vooroever en strand tussen Bredene (Hippodroom) en De Haan

de nam de zone met de voedingsberm met 91.400 m³ in volume toe en de hogere vooroever met 209.500 m³. Er werd in deze periode geen zand geklept op de voedingsberm. Blijkbaar is er een aangroei opgetreden tijdens de strandsuppletie.

6. BESPREKING

6.1. Inleiding

De "zachte" kustverdedigingswerken in en ten westen van De Haan hielden sinds begin 1991 reeds een *aanvoer* in van 3,5 miljoen m³ zand. Medio 1995 was het meeste van het aangebrachte zand nog in de regio Bredene - De Haan - Wenduine aanwezig. Weliswaar trad er onmiddellijk na het aanbrengen van de zandmassa's een *heruitspreiden* van het zand op, maar uit de diverse grafieken gevoegd bij dit rapport blijkt dat de hoeveelheden betrokken bij de transfer van zand tussen de verschillende deelzones in vergelijking tot de aangebrachte hoeveelheden zand nog vrij beperkt zijn.

De volgende transporten zijn opgetreden : een langtransport van west naar oost (duidelijk gemaakt door de aangroei van de voedingsberm ter hoogte van De Haan-Centrum tijdens de aanleg van de voedingsberm ten westen van De Haan) en een dwarstransport van het strand richting vooroever en voedingsberm (dit laatste is duidelijk gebleken bij de strand- en duinsuppletie in de kuststrook tussen de toegang Hippodroom en het Zeepreventorium).

De methodiek van morfologische opvolging laat niet toe om rechtstreekse waarnemingen te verrichten over het al dan niet optreden van een *voeding* vanaf de vooroeverberm naar het strand. Wel blijkt de evolutie van het strand in De Haan-Centrum, na de zandsuppletie van 1992, gekenmerkt te worden door een vrij milde erosie, zowel in vergelijking met andere gesuppleerde zones als met de vroegere erosie in De Haan.

6.2. Vergelijking met andere strandsuppleties

Tabel 6 vergelijkt de afslagcijfers over de eerste twee jaar na de strandsuppletie in De Haan-Centrum met de ontwikkeling over vergelijkbare tijdspannen na enkele strandsuppleties aan de Oostkust en in Cadzand. Ook is de hoeveelheid zand vermeld, die door erosie in de eerste twee jaar na de suppletie verloren is gegaan, als percentage van de hoeveelheid opgespoten zand (bepaald door luchtfotogrammetrische voor- en nametingen).

In vergelijking met de initiële erosie te Knokke-Zoute en te Cadzand-Oost kan men voor de strandsuppletie te De Haan-Centrum spreken van een milde erosie. De afslag in Heist is van vergelijkbare omvang,

waarbij wel vermeld moet worden dat de beschutte ligging van het opgespoten strand in Heist, in de luwte van de Zeebrugse voorhaven, een vergelijking met de andere kustdelen moeilijk maakt.

In fig. 12 wordt de evolutie van het zandvolume op het strand na de suppletie en in Knokke-Zoute en in De Haan vergeleken. Deze kustdelen werden opgespoten over een vergelijkbare kustlengte. De geringere mate van erosie in De Haan blijkt duidelijk uit de figuur.

kustdeel	jaar van suppletie	gemiddelde afslagintensiteit over de eerste 2 jaar na suppletie [m ³ /m.jaar]	percentage van de zandsuppletie verloren over de eerste 2 jaren na suppletie
De Haan-Centrum	1992	36	18 %
Knokke-Zoute	1979	85	
Knokke-Zoute	1986	130	41 %
Cadzand-West	1990	37	26 %
Cadzand-Oost	1988	69	24 %
Heist	1986	38	12 %

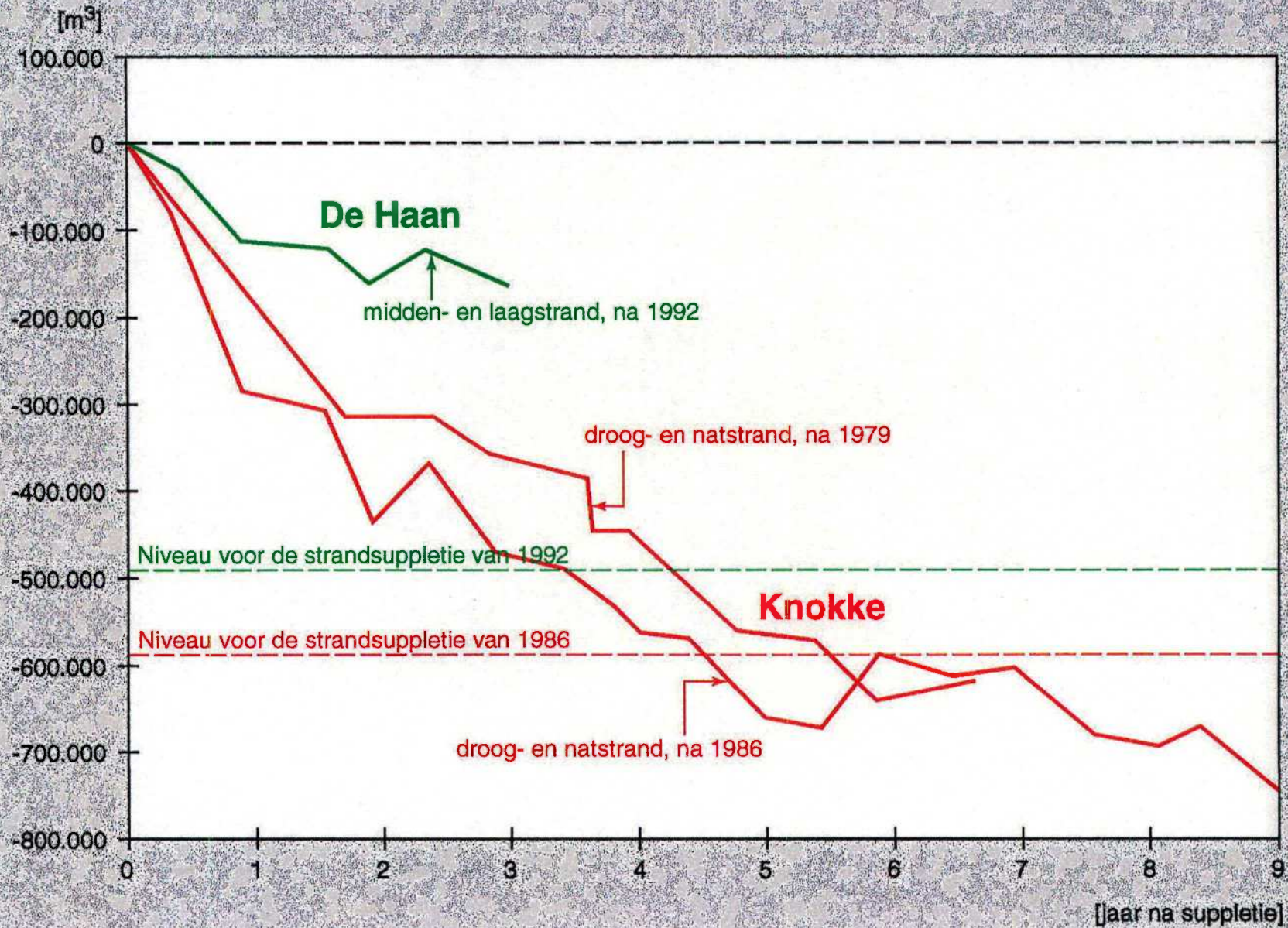
Tabel 6. Vergelijking van de gemiddelde afslagintensiteiten, berekend over de eerste twee jaar na de suppletie, in enkele opgespoten kustdelen.

Het verschil in de evolutie ligt naar alle waarschijnlijkheid in een combinatie van factoren. Zo wordt in Knokke een getijgeul net voor de kust aangetroffen, nl. de Appelzak. In De Haan is de vooroever vlakker en ondieper, en is bovendien de onderwater-voedingsberm aanwezig. De morfologische opvolging op zich levert geen direct bewijs voor een voeding van het strand vanaf de onderwaterberm. In ieder geval kan men heden op basis van de beschikbare gegevens stellen dat de aanwezigheid van de voedingsberm een gunstig effect heeft op de morfologische ontwikkeling van het strand in De Haan in de eerste jaren na de zandsuppletie, en dat het strand zich veel stabielier heeft gedragen dan andere zones, waar een strandsuppletie zonder voedingsberm werd uitgevoerd.

6.3. Vergelijking van het huidig erosieritme in De Haan-Centrum met de evolutie vóór 1991

Uit par. 4.1 blijkt dat het zandvolume in De Haan-Centrum (sekties 149 tot en met 158) in de periode 1981-1991 resulterend afnam; de waargenomen gemiddelde erosie bedroeg **25.100 m³/jaar**. Bij de berekening van dit cijfer werd het volume van de jaarlijkse badstrandverhogingen niet in mindering gebracht (= *niet-autonome ontwikkeling*).

Rekent men de invloed van de in dezelfde periode jaarlijks uitgevoerde badstrandophogingen weg, dan bedraagt het erosiecijfer zelfs **40.300 m³/jaar** (*autonome ontwikkeling*) (fig. 6).



Vergelijking van zandvolumes na suppletie

Na 1992 volgde aanvankelijk een vrij intense erosie in het eerste jaar (-88.000 m^3), waarbij het strand streefde naar een nieuwe evenwichtstoestand; in de periode 1993-1995 werd deze initiële evolutie gevolgd door een minder intense erosie van $12.800 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Dit cijfer moet worden vergeleken met dat berekend voor de autonome ontwikkeling van het strand (40.300 m^3 per jaar). Uiteraard dienen de metingen in de toekomst te worden voortgezet om te controleren of de huidige gunstige trend zich doorzet.

7. KOSTPRIJS VOOR UITVOERING EN VOOR ONDERHOUD VAN DE GEKOMBINEERDE OPLOSSING VOEDINGSBERM - STRAND- EN DUINSUPPLETIE

7.1. Kostprijs voor de uitvoering van de combinatie voedingsberm - strand- en duinsuppletie

De gekombineerde oplossing die werd toegepast in De Haan-Centrum (1991-1992), had een totale kostprijs van 319,8 mln. F. Omgerekend per lopende meter beschermde kustlengte is dat 160.703 F/m.

De totale kostprijs voor de uitvoering van de vooroever-, strand- en duinsuppletie in de zone Bredene (Hippodroom) - De Haan (Zeepreventorium) (1993-1995) beloopt 530,3 mln. F. Dit is 152.152 F per lopende meter beschermde kustlengte.

7.2. De strandsuppletie in De Haan-Centrum : inschatting van de onderhoudskosten

Voor de zone van fase 1 (De Haan-Centrum) zijn er nu meetgegevens beschikbaar over een periode van 3 jaar. Op basis hiervan kan men reeds een eerste kostenraming uitvoeren met betrekking tot het onderhoud van het gerealiseerde strand, en deze vergelijken met de onderhoudskosten vóór de uitvoering van de grootschalige kustverdedigingswerken.

Het onderhoud kan zich zowel richten naar de voedingsberm als naar de strandsuppletie. Voor een vergelijking met de vroegere onderhoudskosten wordt enkel het onderhoud van het strand zelf beschouwd. In de zone van de voedingsberm wordt heden immers nog steeds een volume zand teruggevonden dat bijna overeenstemt met het oorspronkelijk gestorte volume.

In deze optie speelt de evolutie van het strand in de komende jaren een belangrijke rol; zij bepaalt de levensduur van de uitgevoerde werken.

A. Jaarlijkse onderhoudskost vóór 1991

De jaarlijkse onderhoudskost vóór 1991 wordt bepaald door de volgende elementen :

- de kost voor het onderhoud en de vervanging van *rijshouthagen*;
- de kost voor de jaarlijkse *badstrandophogingen*, meestal uitgevoerd in mei en juni;
- voorzieningen voor *herstellingen*, b.v. herstelling van stormschade aan de harde zeeverende infrastructuur.

In de zone van fase 1 staan er *rijshouthagen* ten oosten en ten westen van de zeedijk. Voor de vergelijking van de onderhoudskost wordt verder geen rekening gehouden met de kost voor rijshouthagen. Zowel vóór als na de uitvoering van de grootschalige kustverdedigingswerken dienen er aan de rijshouthagen onderhoudswerken te gebeuren.

Toch dient men hier te stellen dat het rendement van de rijshouthagen thans hoger is. Vóór de uitvoering van de vooroever- en strandsuppletie werden de rijshouthagen regelmatig *vervangen* om de afslag van hagen door de zee te herstellen. Na de vooroever- en strandsuppletie worden de hagen *vernieuwd* bovenop en omheen de oudere, ondergestoven hagen. Op deze manier ontstaat er geleidelijk aan een nieuwe duinaanzet, die bijdraagt tot de verhoogde kustveiligheid.

De kosten voor *badstrandophogingen* beliepen in de zone De Haan-Centrum in 1990, inclusief BTW, 32,7 mln. F. Doorgerekend naar het prijzenpeil van 1992 komt dit bedrag overeen met 35,0 mln. F (herleiding in eerste benadering op basis van de index der materialen van Openbare Werken).

De kosten voor *herstellingen* en verstevigingen aan de harde zeeverende infrastructuur beliepen in 1990 7,6 mln. F of, overgezet naar het prijzenniveau 1992, 8,1 mln. F.

Op gebied van onderhoudskosten was 1990 een vrij duur jaar, omdat er veel stormschade en stranderosie was opgetreden bij de zware stormen in de winter 1989-1990. Rekening houdende met het feit dat de badstrandophogingen in 1990 een volume inhielden van 82.100 m³ tegenover gemiddeld 38.100 m³ per jaar in de periode 1981-1992, kan men de gemiddelde jaarlijkse kost voor de badstrandophogingen inschatten op **16,2 mln. F** (prijzenpeil 1992).

Het is moeilijk de gemiddelde kost voor verstevigings- en onderhoudswerken aan de zeedijk uit te rekenen; zulke werken werden op onregelmatige tijdstippen uitgevoerd. Wel kan men stellen dat door de uitvoering van de strandsuppletie en mits het uitvoeren van onderhoudssuppleties deze kost in de toekomst zal wegvallen.

B. Inschatting van de onderhoudskosten van de strand-suppletie in De Haan-Centrum

Aangenomen wordt, dat een onderhoudssuppletie nodig is wanneer 50 % van de bij de suppletie van 1992 op het strand gemeten volumetoename door erosie is weggenomen.

Om te bepalen wanneer opnieuw moet worden gesuppleerd, werden twee scenario's beschouwd :

- *scenario 1* : de thans waargenomen ontwikkeling zet zich de komende jaren door;
- *scenario 2* : het strand zal een erosie meemaken aan een ritme dat vergelijkbaar is met de trend die bestond vóór de suppletie.

Voor scenario 1 bedraagt de gemiddelde jaarlijkse erosie 12.800 m³. Voor scenario 2 wordt het over de periode 1981-1991 waargenomen erosiecijfer van 25.100 m³ gehanteerd. Dit is het erosiecijfer gematigd door de invloed van de badstrandophogingen; de zandmassa aangebracht bij de strandsuppletie kan immers beschouwd worden als een permanent aanwezige droogstrandberm. Het scenario 2 stemt niet overeen met de trend zoals deze heden uit de meetresultaten kan worden afgeleid. Omdat er evenwel slechts meetresultaten beschikbaar zijn over een relatief korte periode (3 jaar), wordt voor alle zekerheid toch met een scenario rekening gehouden waarbij sneller zal moeten worden gesuppleerd dan bij de trend afgeleid uit de huidige meetresultaten.

Beide scenario's zijn voorgesteld in fig. 13.

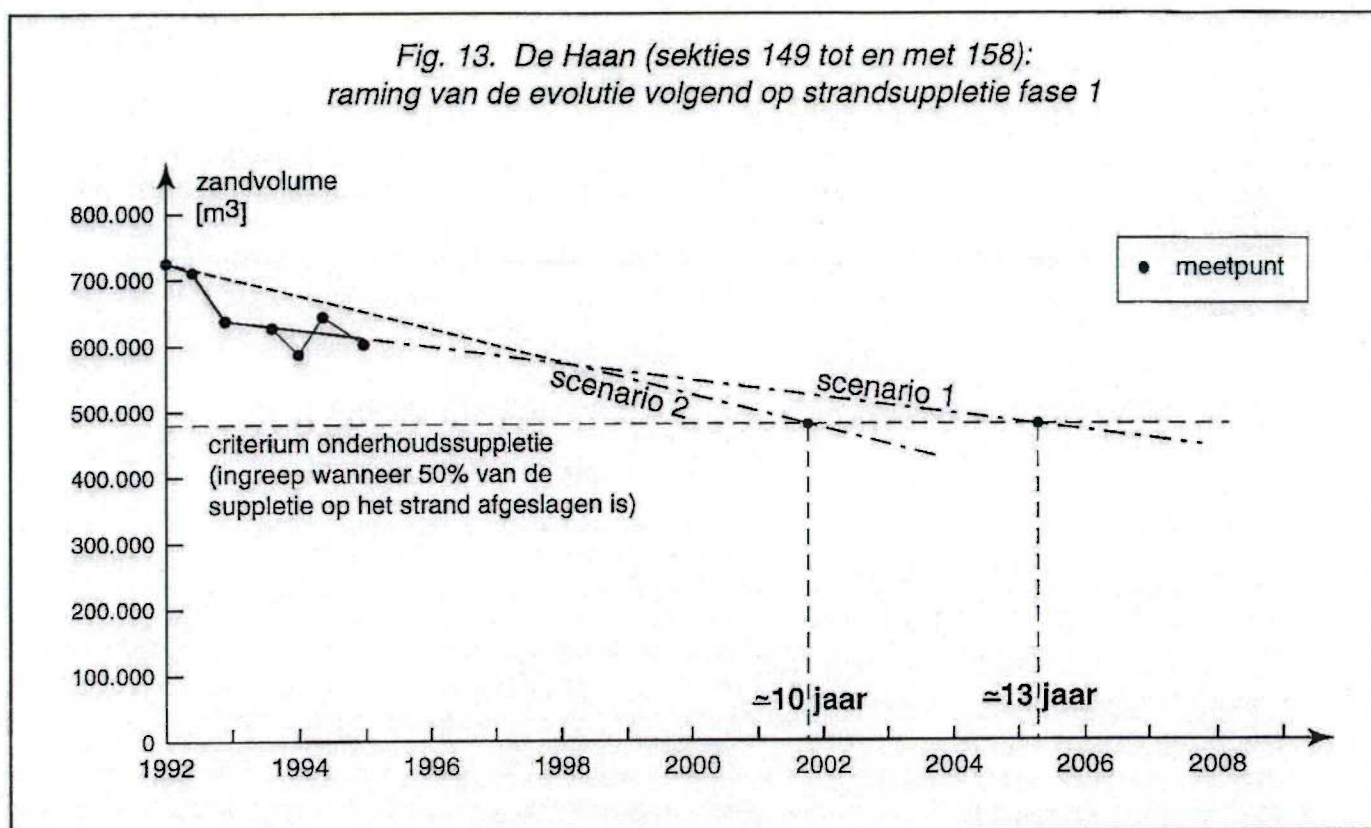
Uit de figuur blijkt dat een eerste onderhoudssuppletie in De Haan-Centrum nodig is na 10 jaar (scenario 2) of na 13 jaar (scenario 1), dit is in 2002 (scenario 2) of 2005 (scenario 1).

De kosten voor het uitvoeren van de strandsuppletie in 1992 bedroegen 268,7 mln. F. Een *onderhoudssuppletie* na 50 % erosie kan dus worden geraamd op **135 mln. F** (prijzenpeil 1992).

Dit cijfer dient men te vergelijken met de jaarlijkse kost ingeval van *voortgezette badstrandophogingen*. Die loopt na 10 jaar op tot 10 x 16,2 mln. F = **162,0 mln. F** en na 13 jaar tot 13 x 16,2 mln. F = **211,2 mln. F** (prijzenpeil 1992).

Deze laatste kostprijzen moeten in feite nog verhoogd worden met de moeilijk te begroten kosten van onderhouds- en verstevigingswerken aan de zeedijk. In ieder geval kan men stellen dat de prijs voor een onderhoudssuppletie lager ligt dan de geraamde onderhoudskost zonder strandsuppletie.

Fig. 13. De Haan (sekties 149 tot en met 158):
raming van de evolutie volgend op strandsuppletie fase 1



8. EVOLUTIE VAN DE MORFOLOGIE VAN STRAND EN VOOROEVER IN EN TEN WESTEN VAN DE HAAN : BESLUIT

1. Door de uitvoering van de "zachte" kustverdedigingswerken in De Haan-Centrum en tussen Bredene en De Haan bezit de kust hier thans een relatief hoog veiligheidsniveau

De strandsuppletie in De Haan-Centrum is ontworpen opdat de kustverdediging zou kunnen weerstaan aan twee na elkaar optredende stormen met een golfhoogte met een retourperiode van 50 jaar. De strand- en duinsuppletie in de aangrenzende kuststrook van fase 2a is eveneens ontworpen om aan deze twee stormen te weerstaan.

2. De toevoer van zand door de "zachte" kustverdedigingswerken heeft een gunstig effect gehad op de morfologische ontwikkeling in de regio

De aanleg van de voedingsberm en de strand- en duinsuppleties van Bredene (Hippodroom) tot en met De Haan-Centrum omvatten een toevoer van 3.506.600 m³ zand.

De morfologische ontwikkeling kent na de ingrepen een gunstig verloop : het zand werd door de natuurlijke transportprocessen over de regio herverdeeld, maar in vergelijking tot de aangebrachte volumes zijn de transfers tussen de diverse deelzones nog beperkt. In de zone van de voedingsberm blijkt de volumetoename gemeten bij de aanleg nog grotendeels behouden (97 %), en het strand van De Haan heeft zich beter in stand gehouden dan mocht verwacht worden na een strandsuppletie zonder voedingsberm.

3. *De erosietrend ter hoogte van De Haan-Centrum is duidelijk afgenomen*

* vóór de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm was de berekende gemiddelde erosie van het strand :

- 25.100 m³ per jaar wanneer het volume van de jaarlijkse badstrandverhogingen te De Haan-Centrum niet in mindering wordt gebracht bij de berekening van het erosiecijfer;
- 40.300 m³ per jaar na aftrek van het volume van de badstrandverhogingen; dit erosiecijfer stemt overeen met de erosie bij zgn. autonome ontwikkeling van het strand.

* na de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm is het erosiecijfer gedaald tot 12.800 m³ per jaar. Dit cijfer moet worden vergeleken met dat berekend voor de autonome ontwikkeling van het strand (40.300 m³ per jaar).

4. *De uitvoering van de strandsuppleties (fase 1 en 2a) is gepaard gegaan met een netto zandtransport van het strand naar de vooroever, ook naar de zone met de voedingsberm*

In werkelijkheid heeft de voedingsberm niet alle zand van de aanleg kunnen behouden, maar heeft er reeds enige afslag plaatsgehad. Daarna is er voeding opgetreden vanaf het nieuw opgespoten strand. Zo heeft de zone met de voedingsberm tussen Bredene en De Haan (fase 2a) aangroei gekend bij de uitvoering van de strandsuppletie in deze kuststrook. Blijkbaar is er tijdens de suppletie zandtransport opgetreden naar de zone van de voedingsberm. Dit zand blijft dus beschikbaar voor een eventuele natuurlijke hervoeding vanaf de onderwaterberm.

5. *De zandmassa's aangevoerd voor de aanleg van de voedingsberm en de strandsuppletie (fase 1 en 2a) zijn onderhevig aan het littoraal langtransport, waarbij zand uiteindelijk van west naar oost langs de kust vervoerd wordt*

Tijdens en na de aanleg van de voedingsberm is een zandtransport in oostwaartse richting opgetreden. Zo heeft de latere aanleg van fase 2a, ten westen van De Haan-Centrum, de berm van fase 1 in De Haan-Centrum gevoed. Tevens wordt strand- en vooroeveraangroei geregistreerd in het kustdeel "Vlissegem" ten oosten van De Haan-Centrum.

6. *In De Haan-Centrum ligt de meerjarige onderhoudskost van het strand na de uitvoering van de combinatie strandsuppletie-voedingsberm lager dan wanneer men deze ingreep niet had uitgevoerd*

Men kan de kost voor een onderhoudssuppletie na 50 % erosie ramen op 135 mln. F (prijzenpeil 1992). Ingeval geen structureel herstel van het strand was uitgevoerd, kan de kost voor voortgezette badstrandophogingen geraamd worden op 162 mln. F en zelfs 211 mln. F (prijzenpeil 1992), afhankelijk van het scenario dat men hanteert om de levensduur van de strandsuppletie in te schatten. De kost voor het onderhoud van het strand en de kustveiligheid indien er geen strandsuppletie werd uitgevoerd, ligt in werkelijkheid nog hoger, omdat er dan ook met onderhoud aan de vaste zeeverende infrastructuur rekening dient te worden gehouden.

* * *