1642-47

Waterbouwrapport Flaauwe Werk

Technische analyses t.b.v planstudie versterking Flaauwe Werk

Initiatiefnemer:

waterschap Hollandse Delta

Achtergrondrapport

Waterschap Hollandse Delta
Provincie Zuid-Holland
juli 2006

P1642-47

Waterbouwrapport Flaauwe Werk

Technische analyses t.b.v planstudie versterking Flaauwe Werk

Achtergrondrapport

dossier : W3736-03-001
registratienummer : WG-SE20060489
versie : 3

Waterschap Hollandse Delta
Provincie Zuid-Holland
juli 2006

© DHV B.V. Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. drukwerk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV B.V., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.
Het kwaliteitssysteem van DHV B.V. is gecertificeerd volgens ISO 9001.

INHOUD BLAD

1	INLEIDING	5
2	MORFOLOGIE FLAAUWE WERK	6
2.1	Inleiding	6
2.1.1	Achtergronden	6
2.1.2	Doelstelling	6
2.1.3	Vraagstelling	7
2.2	Conclusies	8
2.3	Werkwijze en methode	9
2.3.1	Analyse literatuur	9
2.3.2	Analyse volumeontwikkelingen verleden	9
2.3.3	Koppeling ingrepen en volumeontwikkelingen	12
2.3.4	Bepaling onderhoudsbehoefte referentie	12
2.4	Analyse literatuur ontwikkeling Haringvlietmonding en kustzone Flaauwe Werk	18
2.4.1	Ingrepen verleden	18
2.4.2	Autonome ontwikkeling	20
2.4.3	Ingrepen toekomst	22
2.5	Analyse volumeontwikkelingen	26
2.5.1	Kustlijnontwikkeling	26
2.5.2	Ontwikkeling zandvolumes in de tijd	31
2.5.3	Longitudinale zandgolf	33
2.5.4	Invloed strandhoofden op morfologie	37
2.6	Koppeling ingrepen en volumeontwikkelingen	41
2.6.1	Afsluiting Haringvliet	41
2.6.2	Aanleg Maasvlakte 1	42
2.6.3	Aanleg Slufter	42
2.6.4	Suppleties	43
2.7	Bepaling onderhoudsbehoefte referentiesituatie	44
2.7.1	Gemiddelde negatieve volumeveranderingen	44
2.7.2	Toekomstige autonome ontwikkelingen	45
2.7.3	Ontwikkeling door ingrepen in toekomst	46
2.7.4	Onderhoudsbehoefte referentiesituatie	47
2.8	Bepaling onderhoudsbehoefte alternatieven	52
2.8.1	Onderhoud Binnendijk-50 en Binnendijk-100	52
2.8.2	Onderhoud Steunduin-50	52
2.8.3	Onderhoud Steunduin-50 (q= 0,1 l/s/m)	56
2.8.4	Onderhoud Steunduin-groei (q = 0,1 l/s/m)	57
2.9	Onzekerheden	58
2.9.1	Morfodynamisch systeem	58
2.9.2	Ingrepen toekomst	58
2.9.3	Zeespiegelstijging	58
2.9.4	Venster berekening volumevariaties	59
2.9.5	Onderhoudsbehoefte toekomst	59
2.9.6	Loopsnelheid zandgolf	59
2.9.7	Ligging geul	60

2.9.8	Suppletieontwerp RIKZ	60
2.9.9	Onderhoudsfactor Steunduin alternatieven	61
3	VEILIGHEIDSBEREKENINGEN FLAAUWE WERK	62
3.1	Inleiding	62
3.2	Aanpak berekeningen	63
3.3	Overzicht resultaten berekeningen	65
3.3.1	Steunduin-groei en Steunduin-50	65
3.3.2	Binnendijk- 50 en Binnendijk-100	66
3.3.3	Voorkeursalternatief	69
3.4	Berekeningsresultaten Steunduin-groei (5 jaar) en Steunduin-50 (q=0,1 l/s/m)	70
3.5	Berekeningsresultaten Binnendijk- 50 en Binnendijk-100 (q=1 l/s/m)	73
4	BEPALING OMVANG AANLEG EN ONDERHOUD ALTERNATIEVEN	76
4.1	Omvang aanleg alternatieven	76
4.1.1	Minimum aanleghoogte Binnendijk alternatieven	76
4.1.2	Minimum aanleg volumes Steunduin alternatieven	76
4.2	Onderhoud alternatieven	79
4.2.1	Referentiesituatie	79
4.2.2	Binnendijk-50	80
4.2.3	Binnendijk-100	80
4.2.4	Steunduin-50 (q = 0,1 l/s/m)	81
4.2.5	Steunduin-groei (q = 0,1 l/s/m)	81
4.3	Totaal aan te brengen zandvolumes alternatieven	82
4.3.1	Referentiesituatie en Binnendijk-50	82
4.3.2	Binnendijk-100	82
4.3.3	Steunduin-50 (q = 0,1 l/s/m)	83
4.3.4	Steunduin-groei (q = 0,1 l/s/m)	84
4.3.5	Vergelijking alternatieven	85
5	GEOTECHNISCHE ANALYSE	86
5.1	Inleiding	86
5.1.1	Doel	86
5.1.2	Conclusies	86
5.2	Gegevens met betrekking tot de geotechnische stabiliteit van het Flaauwe Werk	88
5.3	Beoordeling informatie ten behoeve van geotechnisch ontwerp	89
5.3.1	Piping en heave	89
5.3.2	Macrostabiliteit binnenwaarts	89
5.3.3	Macrostabiliteit buitenwaarts	89
5.3.4	Microstabiliteit	90
5.3.5	Invloed ontstaan ontgrondingskuil op stabiliteit dijklichaam	90
5.4	Resultaten KLIC-melding (kabels en leidingen)	91
5.5	Milieukundig bodemonderzoek	91
6	ANALYSE VEILIGHEIDSELEMENTEN ASFALTBEKLEDING	93
6.1	Inleiding	93
6.2	Conclusies	93
6.3	Uitkomsten per aspect en per type asfalt	94
6.4	Uitwerking van de toetsing	95
6.5	Algemene uitgangspunten	95

7	ANALYSE ASFALTBEKLEDING LEVENSDUUR EN ONDERHOUD	97
7.1	Inleiding	97
7.2	Huidige opbouw asfaltbekleding dijk en restlevensduur	97
7.3	Uitgangspunten	98
7.4	Onderbouwing benodigd onderhoud (kwalitatief)	99
8	ONTWERPKEUZE HARDE BEKLEDING BINNENTALUD	103
8.1	Inleiding	103
8.2	Korte beschrijving harde opties	103
8.3	Onderlinge afweging harde opties	104
8.4	Samenvatting	105
8.5	Conclusie	105
9	ANALYSE STRANDHOOFDEN	106
9.1	Inleiding	106
9.2	Geschiedenis	106
9.3	Huidige situatie	108
9.4	Alternatieven	109
10	REFERENTIES	111
11	COLOFON	115

BIJLAGEN

1 Uitgangspunten morfologie en veiligheid
2 Definities en huidig beleid kustlijn
3 Grafieken profielontwikkeling berekeningsresultaten Binnendijk-50 en Binnendijk-100 (q=1 l/s/m)
4 Grafieken profielontwikkeling berekeningsresultaten Steunduin-groei (5jaar) en Steunduin-50 (q=0,1 l/s/m)
5 Ruimtereservering voor het voorkeursalternatief
6 Gevoeligheidsberekening stormduur voor het voorkeursalternatief
7 Overzicht berekeningsresultaten Binnendijk-50 (overslagdebiet = 0,1 l/s/m)
8 Overzicht berekeningsresultaten Steunduin-groei en Steunduin-50 (overslagdebiet 1 l/s/m)
9 Herberekening raai 12 verzwaarde randvoorwaarden beheerderoordeel
10 Ontwikkeling van raai 11,5 in de loop van de tijd
11 Geotechniek
12 Hydraulische randvoorwaarden en uitgangspunten asfalttoets en uitwerking update toets
13 Ontwerptekeningen Flaauwe Werk

1 INLEIDING

De voorliggende rapportage is een achtergrondrapport bij het MER planstudie versterking zeedijk Flaauwe werk Goeree. Alle waterbouwkundige onderbouwingen die gemaakt zijn in het kader van het MER zijn samen gebundeld in één rapportage.

De volgende analyses zijn geïntegreerd in deze rapportage:

- In hoofdstuk 2 worden de genomen stappen en resultaten van het ***morfologische onderzoek*** beschreven dat is uitgevoerd ten behoeve van de bepaling van de onderhoudsbehoefte van verschillende alternatieven.
- In hoofdstuk 3 komen de aanpak en resultaten van de ***veiligheidsberekeningen*** aan bod die zijn uitgevoerd voor de alternatieven Binnendijk 50 jaar, Binnendijk 100 jaar, Steunduin-50 jaar, en Steunduin-Groei. De hoeveelheden zand en de benodigde kruinhoogte zijn met deze berekeningen bepaald.
- Hoofdstuk 4 combineert de resultaten die voortkomen uit de morfologie en veiligheidsstudie en geeft een ***totaal overzicht van de aan te leggen hoeveelheden zand*** voor aanleg (minimaal) en onderhoud. Deze hoeveelheden vormen de basis voor de kostenraming.
- Hoofdstuk 5 beschrijft de uitgevoerde ***geotechnische analyse***. Het basisontwerp in het versterkingsplan (=VKA binnendijk 50) is beoordeeld ten aanzien van de faalmechanismen en wat de invloed is van een ontgrondingskuil op de stabiliteit van de dijk. Daarnaast is ook informatie verzameld ten aanzie van de kabels en leidingen en de milieukundige aspecten.
- In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van de ***veiligheidstoets van de huidige asfaltbekleding*** opgenomen.
- Hoofdstuk 7 beschrijft de ***levensduur en onderhoud voor de asfaltbekleding*** in de huidige situatie op het buitentalud.
- In hoofdstuk 8 is onderbouwd welke ***bekleding op het binnentalud*** is gekozen voor het alternatief Binnendijk.
- In hoofdstuk 9 is onderbouwd wat er gebeurt met de ***strandhoofden*** bij de verschillende alternatieven en of aanpassing gewenst is.

In de bijlagen 1 tot en met 13 is de aanvullende informatie van de verschillende analyses gebundeld.

2 MORFOLOGIE FLAAUWE WERK

2.1 Inleiding

2.1.1 Achtergronden

In de voorfase planstudie Flaauwe Werk (Alkyon/ Arcadis, 2004) is een eerste inschatting gemaakt van relevante kustmorfologische ontwikkelingen voor het Flaauwe Werk in de toekomst. In kaart is gebracht dat het gebied volop in beweging is en morfologische ontwikkelingen zeer moeilijk te voorspellen zijn. Tijdens de uitvoering van de startnotitie m.e.r. (DHV, 2005-1) is een memo opgesteld 'Hoe omgaan met morfologische onzekerheid?'. Hierin is een overzicht gegeven van onzekere morfologische ontwikkelingen en is een globale beschouwing gegeven van de historische ontwikkeling van de geul voor het Flaauwe werk als maat voor onzekerheid. Er wordt geconcludeerd dat bij een zeewaartse versterking rekening moet worden gehouden met een landwaartse optie vanwege de grote morfologische onzekerheid.

Dit rapport 'Morfologie Flaauwe Werk' wordt geschreven in het kader van de uitvoering van het MER en toont de resultaten van het morfologische onderzoek van de kust nabij het Flaauwe Werk. Morfologische onderzoek is uitgevoerd omdat voor de effectbeoordeling in het MER een inschatting nodig is van de onderhoudsbehoefte van de verschillende alternatieven. In de projectgroep is besproken dat het weinig zinvol is om hiervoor morfologische modellen te gebruiken. Voor een tijdschaal van 50 jaar en een interessegebied van 2 à 3 km is het namelijk onmogelijk een redelijke modelvoorspelling te doen van de morfologische ontwikkeling. Ter indicatie: voor de gehele Haringvlietmonding is een voorspelling gedaan voor 10 jaar (Svasek, 2004) voor de morfologische ontwikkeling van de monding. Svasek concludeert dat bij de modeluitkomsten rekening gehouden moet worden met een bandbreedte van +/- 200 tot 300%. In het geval van het Flaauwe Werk is de ruimteschaal kleiner en de beschouwde tijdschaal groter, waardoor het nog moeilijker is om voorspellingen te doen. Toch is een inschatting van de onderhoudsbehoefte nodig voor de alternatieven om een afweging te kunnen maken in het MER. Er is gekozen om op basis van een morfologische analyse van historische kustmetingen tot een bandbreedte te komen voor de suppletiebehoefte voor de komende 50 jaar. De onzekerheden die gelden bij deze bandbreedte zijn toegelicht in hoofdstuk 2.8.

De verschillende alternatieven waarvoor deze morfologische studie wordt uitgevoerd zijn de referentiesituatie (autonome ontwikkeling) en de vier inrichtingsalternatieven; Binnendijk-50, Binnendijk-100, Steunduin-50 en Steunduin-groei. De uitgangspunten van dit onderzoek, waarin de inrichtingsalternatieven worden toegelicht, worden gepresenteerd in bijlage 1.

2.1.2 Doelstelling

Inzicht krijgen in de morfologische variabiliteit van de kustzone bij het Flaauwe Werk en op basis daarvan een bandbreedte bepalen van de te verwachten onderhoudsbehoefte van referentiesituatie en de verschillende inrichtingsalternatieven (Binnendijk-50 en Binnendijk-100, Steunduin-50 en Steunduin-groei) in de toekomst.

Met behulp van de onderhoudsbehoefte kan een inschatting gemaakt worden van de onderhoudskosten van de verschillende inrichtingsalternatieven van het Flaauwe Werk. Tevens wordt de onderhoudsbehoefte gebruikt voor de effectbeoordeling, waarin onder andere de invloed van de verschillende ingrepen op de morfologie wordt beoordeeld.

2.1.3 Vraagstelling

Hoofdvraag

Wat zijn de minimale en maximale zandvolumes die aangebracht moeten worden om in veiligheid te kunnen voorzien in de verschillende inrichtingsalternatieven van het Flaauwe Werk?

Subvragen

- Welke grootschalige (Haringvlietmonding) morfologische ontwikkelingen hebben in het verleden plaatsgevonden in het kustgebied grenzend aan het Flaauwe Werk?
- Welke kleinschalige (2-3 km) morfologische ontwikkelingen hebben in het verleden plaatsgevonden in de kustzone grenzend aan het Flaauwe Werk?
- Zijn de grootschalige morfologische ontwikkelingen uit het verleden in het kustgebied grenzend aan het Flaauwe Werk te koppelen aan de kleinschalige morfologische ontwikkeling van het Flaauwe Werk? Zo ja, zijn deze ontwikkelingen positief of negatief en over welke tijdsperiode strekken deze ontwikkelingen zich uit?
- Wat betekent de grootschalige morfologische ontwikkeling uit het verleden en de verwachte ontwikkeling in de toekomst rondom het Flaauwe Werk voor de verwachte morfologische ontwikkeling nabij het Flaauwe Werk?
- Wat betekent de kleinschalige morfologische ontwikkeling van de kustzone voor het Flaauwe Werk uit het verleden voor de verwachte morfologische ontwikkeling in de toekomst?
- Wat is het effect van het (gedeeltelijk) afdekken van de strandhoofden en het 'uitsteken' van de kust bij de inrichtingsoptie Steunduin-50 en Steunduin-groei op de suppletielevensduur?

2.2 Conclusies

De onderhoudsbehoefte is ingeschat voor de referentiesituatie (in het geval van het alternatief Binnendijk) en vervolgens voor het alternatief Steunduin.

Voor het inschatten van de onderhoudsbehoefte voor 50 jaar kan geen gebruik gemaakt worden van de gebruikelijke methode voor het inschatten van BKL suppleties. Dit komt door de gebruikte extrapolatiemethode van het RIKZ en de gebruikte ruimteschaal. Om deze redenen is een andere methode ontwikkeld.
Voor het bepalen van de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie is gebruik gemaakt van de gemiddelde negatieve volumeveranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden, waarbij is gekeken naar de zone van de duintop tot 800 m zeewaarts. Bij de vertaling van de opgetreden volumeveranderingen naar onderhoudsbehoefte is rekening gehouden met de verwachte positieve effecten van de longitudinale zandgolf die zich momenteel langs de kust manifesteert. De onderhoudsbehoefte zoals bepaald is voor de referentiesituatie is gelijk aan de onderhoudsbehoefte van de Binnendijk alternatieven.

Bij het Steunduin-50 alternatief is de onderhoudsbehoefte groter dan in de referentiesituatie vanwege het deels bedekken van de strandhoofden, het uitsteken van het alternatief ten opzichte van de kustlijn en het handhaven van het steunduin hoog in het profiel. De verwachting is dat het onderhoud van Steunduin-50 (met q = 0,1 l/s/m) met een factor **2,5** toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie. Tevens wordt geen rekening gehouden met het positieve effect van de zandgolf in deze situatie aangezien een zeewaartse versterking resulteert in een onzekere morfologische ontwikkeling.
Bij het Steunduin-groei alternatief neemt het onderhoud met een factor **2,2** toe ten opzichte van de referentiesituatie. Ook bij dit alternatief wordt geen rekening gehouden met het positieve effect van de zandgolf.
De onderbouwing van de inschatting van het verwachte onderhoud bij de steunduin alternatieven wordt gegeven in paragraaf 2.8 en 4.2.

Een overzicht van de onderhoudsvolumes voor de alternatieven is gegeven in hoofdstuk 4. De uitkomsten zijn omgeven door onzekerheden (zie paragraaf 2.9) door o.a. onzekerheden in het morfodynamisch systeem, de loopsnelheid van de zandgolf en de ligging van een eventuele geul.

2.3 Werkwijze en methode

Om de onderhoudsbehoefte van de referentiesituatie te kunnen voorspellen zijn een aantal stappen gevolgd en methodes gebruikt die in deze paragraaf worden besproken. De bepaling van de onderhoudsbehoefte van de verschillende alternatieven wordt aan de hand van de onderhoudsbehoefte van de referentiesituatie gedaan en wordt besproken in paragraaf 2.8.
De methodische stappen die genomen zijn om de onderhoudsbehoefte te kunnen bepalen zijn:

- Analyse literatuur (zie paragraaf 2.3.1);
- Analyse volumeontwikkelingen in het verleden (zie paragraaf 2.3.2);
- Koppeling ingrepen en volumeontwikkelingen (zie paragraaf 2.3.3);
- Bepaling onderhoudsbehoefte referentiesituatie (zie paragraaf 2.3.4).

2.3.1 Analyse literatuur

De beschikbare literatuur en rapporten die betrekking hebben op de morfologische ontwikkelingen van de Haringvlietmonding en de kustzone voor het Flaauwe Werk worden geanalyseerd om te kunnen bepalen welke ingrepen die in het verleden hebben plaatsgevonden en in de toekomst gepland staan van invloed zijn of kunnen zijn op de morfologische situatie van het Flaauwe Werk. Indien mogelijk wordt een inschatting gemaakt van de grootte van de invloed van de ingrepen, positief of negatief, in het verleden en in de toekomst.

2.3.2 Analyse volumeontwikkelingen verleden

Van de periode 1965-2005 zijn jaarlijkse kustmetingen (JARKUS) beschikbaar van het kustvak Goeree. Deze metingen bevatten hoogtegegevens in raaien dwars op de kust en hebben een onderlinge afstand van 250 meter. Deze metingen zijn gebruikt om de volumeontwikkelingen van het Flaauwe Werk te analyseren.

2.3.2.1 Volumeberekeningen

In twee rapporten van het RIKZ (Walhout, 2002 en Roelse, 2004) waarin de effecten van de bij het Flaauwe Werk uitgevoerde suppleties beschreven staan, is een deel van de Jarkusraaien geanalyseerd. De volumes in de raaien zijn met het programma Winkust 2000 berekend. Het startpunt van de volumeberekening is de duintop, waarna vanaf het startpunt tot 800 meter zeewaarts is gerekend.
Aangezien de uitvoerde analyse van het RIKZ niet het gehele interessegebied beslaat, is het noodzakelijk om volumeberekeningen uit te voeren voor de ontbrekende raaien. Deze berekende volumegegevens kunnen vervolgens worden gebruikt voor de constructie van voor het Flaauwe Werk specifieke figuren en voor verdere analyse. Voor het gehele interessegebied zijn de volumes daarom berekend in het programma Excel.
De uitgangspunten van de berekening die het RIKZ heeft gehanteerd (start duintop en lengte profiel 800 meter) zijn overgenomen bij deze berekeningen. Bij deze studie ligt de interesse namelijk niet alleen in de BKL zone (definitie zie bijlage 2), maar is het tevens zeer belangrijk om te weten welke volumeveranderingen er hoog op het strand en bij het duin plaatsvinden in verband met de veiligheid. Tevens heeft het hanteren van dezelfde methodiek als het RIKZ het voordeel dat de uitkomsten van de berekeningen eventueel vergeleken kunnen worden.

De keuze voor de locatie van de duintop was niet altijd eenduidig. In sommige raaien wisselde de duintop sterk van locatie gedurende de verschillende jaren. In zulke gevallen is de locatie van de duintop t.o.v de Rijks Strand Palen Lijn (RSP) in 1965 als startpositie van de berekening gebruikt. In Tabel 1 staan de start en eindposities van de raaien weergegeven zoals gebruikt bij de volumeberekeningen.

Tabel 1 Start- en eindpositie van de raaien waarover de volumes berekend zijn

Raai	Startpositie duintop (t.o.v. RSP in m)	Eindpositie (t.o.v. RSP in m)	Raai	Startpositie duintop (t.o.v. RSP in m)	Eindpositie (t.o.v. RSP in m)
1000	-50	750	1225	-120	680
1025	-80	720	1250	-110	690
1050	-100	700	1275	-130	670
1075	-140	660	1300	-150	650
1100	-120	680	1325	-120	680
1125	-180	620	1350	-100	700
1150	-160	640	1375	-100	700
1175	-120	680	1400	-120	680
1200	-150	650			

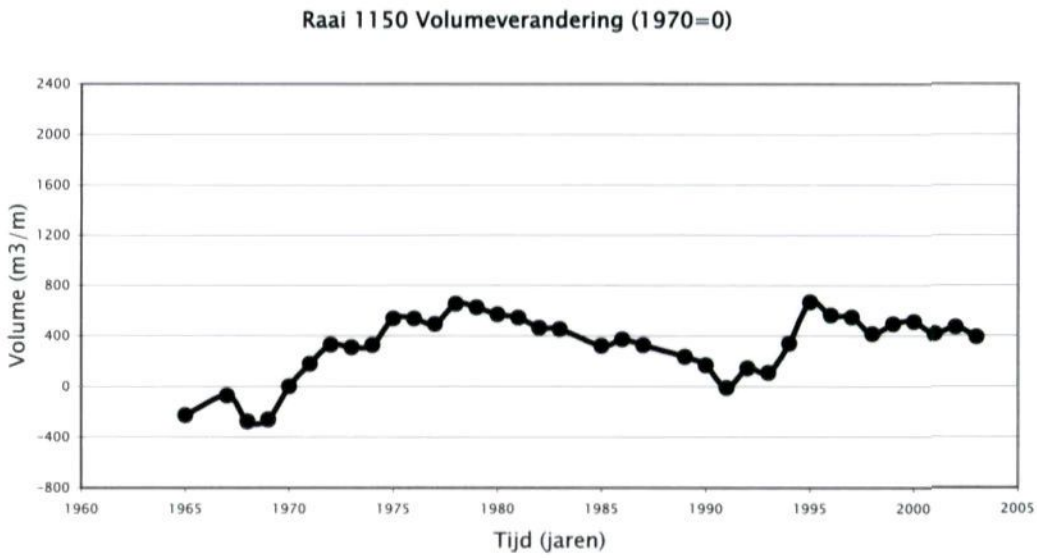
In deze analyse zijn we geïnteresseerd in de volumeveranderingen die plaats hebben gevonden gedurende de geanalyseerde tijdsperiode. Bij de analyse van het RIKZ is het jaar 1970 als referentiesituatie gebruikt. Dit referentiepunt is in deze analyse overgenomen. De volumeverandering in 1970 is dus nul en alle volumeveranderingen zijn ten opzichte van 1970 weergegeven. Echter rekening moet worden gehouden met het feit dat 1970 niet het referentiepunt is voor het uitvoeren van strandsuppleties. De BasisKustLijn (definitie zie bijlage 2) is de referentie voor het uitvoeren van strandsuppleties en beslaat over het algemeen een zandvolume dat groter is dan het aanwezige zandvolume in 1970.

2.3.2.2 *Indeling kustvakken t.b.v analyse*

Om de analyse van de volumeveranderingen inhoudelijk overzichtelijk te maken is een indeling in kustvakken van belang. De indeling dient te geschieden op basis van representatieve grenzen (grenzen Flaauwe Werk) en verschillen in trends in volumeontwikkelingen.

Om tot een logische indeling te komen zijn voor de gehele beschikbare meetperiode de volumeontwikkelingen uitgezet per raai. De raaien zijn op het oog geclassificeerd of ze grotendeels eroderend, aanzandend of stabiel zijn (voorbeelden zie Afbeelding 1 tot en met Afbeelding 3). Hierbij is met name gelet op de meest recente tijdsperiode.

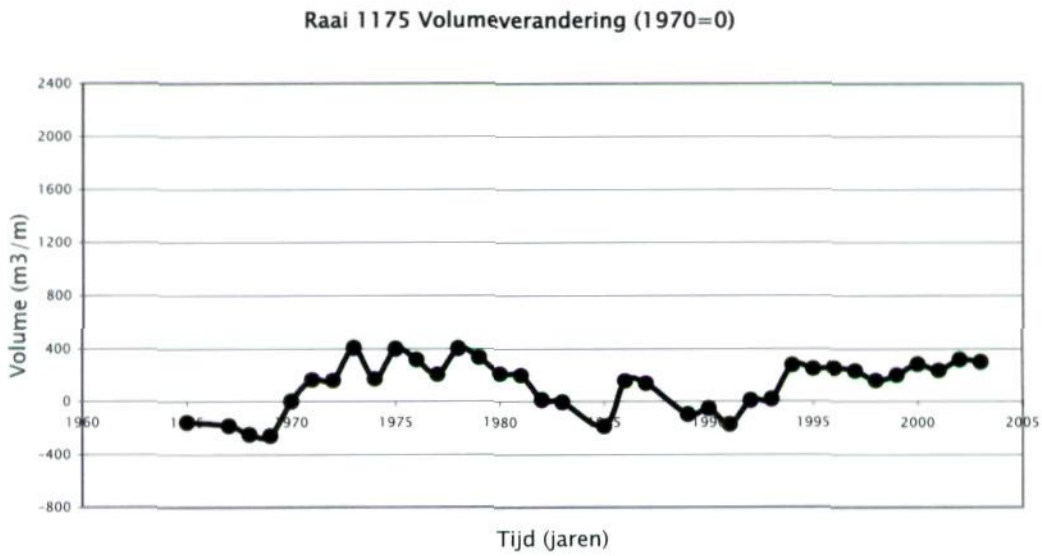
Afbeelding 1 Raai 1150 voor de kust van Goeree voor het Flaauwe Werk met een vanaf 1977 eroderende trend.
De sprongsgewijze toename in 1994 wordt veroorzaakt door een uitgevoerde suppletie.



Afbeelding 2 Raai 1025 voor de kust van Goeree ten oosten van het Flaauwe Werk met een aanzandende/stabiele trend.

De sprongsgewijze toename in 1998 wordt veroorzaakt door een uitgevoerde suppletie.

Afbeelding 3 Raai 1175 voor de kust van Goeree voor het Flaauwe Werk met een stabiele/ eroderende trend.



Op basis van deze classificatie en rekening houdend met de grenzen van het Flaauwe Werk zijn de raaien in 'kustvakken' ingedeeld (zie Tabel 2). Deze kustvakken worden gebruikt in de vervolganalyse, waarbij de gemiddelden van elk kustvak, die de gemiddelde volumes in een kustvak op een bepaald moment weergeven, worden gebruikt als representatie van dat kustvak.

Tabel 2 Indeling kustvakken aan de hand van trend en locatie

Raai	Trend	Locatie	Kustvak
1000	aanzandend	Oost Flaauwe Werk	1
1025	aanzandend/ stabiel	Oost Flaauwe Werk	1
1050	aanzandend	Oost Flaauwe Werk	1
1075	aanzandend	Flaauwe Werk	2
1100	aanzandend/ stabiel	Flaauwe Werk	2
1125	stabiel	Flaauwe Werk	2
1150	eroderend	Flaauwe Werk	3
1175	eroderend/ stabiel	Flaauwe Werk	3
1200	stabiel	Flaauwe Werk	3
1225	stabiel/ aanzandend	Flaauwe Werk	4
1250	stabiel/ aanzandend	Flaauwe Werk	4
1275	stabiel/ aanzandend	Flaauwe Werk	4
1300	stabiel/ aanzandend	Flaauwe Werk	4
1325	aanzandend	West Flaauwe Werk	5
1350	aanzandend	West Flaauwe Werk	5
1375	aanzandend	West Flaauwe Werk	5
1400	aanzandend	West Flaauwe Werk	5

2.3.2.3 Analyse volumeontwikkelingen

De volumeontwikkelingen die hebben opgetreden in iedere raai zijn berekend met de volumeberekeningen op basis waarvan de raaien zijn ingedeeld in kustvakken. De gemiddelde waarden van de aanwezige volumes in een jaar van de raaien die behoren tot een betreffend kustvak zijn gebruikt als representatieve waarde van het kustvak. De opgetreden volumeontwikkelingen in het verleden nabij het Flaauwe Werk worden daarom ook per kustvak gepresenteerd.

2.3.3 Koppeling ingrepen en volumeontwikkelingen

Uit de analyse van de eerder uitgevoerde morfologische studies wordt bekend welke ingrepen die in het verleden hebben plaatsgevonden in de omgeving van het Flaauwe Werk van invloed kunnen zijn op de morfologische ontwikkelingen van de kustzone van het Flaauwe Werk. Uit de analyse van de volumeontwikkelingen in het verleden zal geprobeerd worden op te maken of de ingrepen daadwerkelijk van invloed zijn geweest op de morfologische ontwikkeling van de kustzone bij het Flaauwe Werk. Dit is van belang in verband met de (eventuele) toekomstige ingrepen in het gebied en hun (eventuele) effect op de morfologie en daarmee ook de onderhoudsbehoefte die moet worden ingeschat voor de verschillende alternatieven.

2.3.4 Bepaling onderhoudsbehoefte referentie

2.3.4.1 Voorspelling BKL-suppleties RIKZ

De onderhoudsbehoefte van de kustzone in de referentiesituatie moet worden ingeschat voor een planperiode van 50 jaar en een relatief kleine ruimteschaal (ongeveer 2 tot 3 kilometer). Het onderhoud van de kustlijn vindt in het huidige beleid plaats door het uitvoeren van BKL suppleties (zie bijlage 2). De voorspelling van de BKL suppleties vindt plaats door ieder de jaar de geëxtrapoleerde TKL (te Toetsen Kust Lijn) aan de ligging van de vastgestelde norm BKL (Basis Kust Lijn) te toetsen. De TKL is een

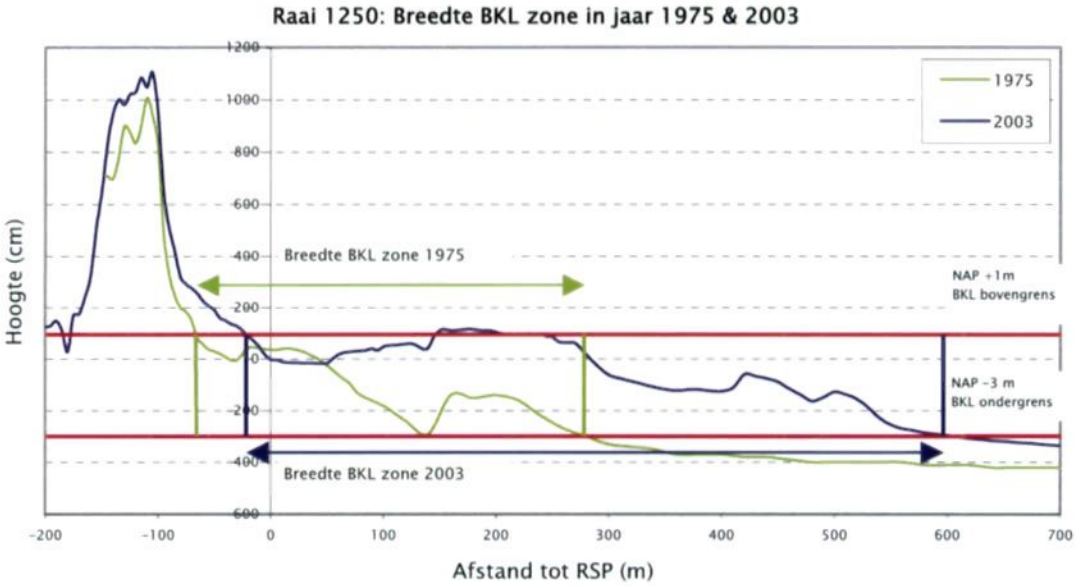
geëxtrapoleerde kustlijn naar 1 januari van het volgende jaar op basis van de ligging van de MKL (Momentane Kust Lijn) van de afgelopen 10 jaren. Op basis van deze uitkomst besluit het RIKZ of het komende jaar een suppletie nodig is.
In principe zou voor een inschatting van het onderhoud in de referentiesituatie een inschatting gemaakt moeten worden van de benodigde BKL suppletie gedurende de planperiode. De methode die het RIKZ gebruikt (zie bijlage 2) is daarvoor echter niet geschikt gezien de gebruikte extrapolatiemethode en de ruimteschaal. Dit wordt hieronder toegelicht.

Extrapolatiemethode
Het RIKZ maakt met behulp van metingen van de kustlijn uit de 10 voorgaande jaren een voorspelling van de ligging van de kustlijn (TKL). Indien de TKL landwaarts van de BKL ligt dient een suppletie uitgevoerd te worden. Ter plaatse van het Flaauwe Werk hebben in het verleden suppleties plaatsgevonden met een frequentie van gemiddeld eens per 5 jaar (=levensduur van 5 jaar), waarna steeds evaluatie plaatsvond. Gezien de suppletiefrequentie in het verleden is de verwachting dat een onderhoudsperiode van 5 jaar in de toekomst benodigd is bij het Flaauwe Werk.
Het benodigd suppletievolume wordt met een formule voorspeld (zie bijlage 2) waar onder andere de parameters "kustachteruitgang per jaar" en "levensduur van de suppletie" zitten. In theorie is het dus mogelijk om met die formule en de beschikbare metingen van de afgelopen 10 jaar een voorspelling te doen van de benodigde suppletie voor de komende onderhoudsperiode. Voor de hierop volgende onderhoudsperiodes kan echter geen voorspelling meer worden gedaan, omdat er geen metingen beschikbaar zijn waar de ligging van de MKL uit kan worden afgeleid. Er kan na een voorspelde suppletie niet geëvalueerd worden wat het effect van deze suppletie is, omdat niet bekeken kan worden of na een voorspelde suppletie de TKL nog zeewaarts van de BKL ligt. Daarom kan deze methode niet gebruikt worden voor de inschatting van de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie voor een planperiode van 50 jaar.

Ruimteschaal
De methode van het RIKZ voor het voorspellen van de suppletiebehoefte maakt slechts gebruik van een kleine zone, namelijk de BKL zone van NAP +1m – NAP -3m. Omdat de planperiode een tijdsperiode van 50 jaar beslaat is het zinvol om ook een relatief grote ruimteschaal te bekijken. Zou men dit niet doen dan worden fluctuaties die op een kleine ruimteschaal (en wellicht ook tijdschaal) plaatsvinden geëxtrapoleerd naar een grote tijdschaal, waardoor een verkeerde inschatting van de onderhoudsbehoefte kan ontstaan.
Dit kan worden geïllustreerd door naar de breedte van de BKL zone te kijken in een specifieke raai in twee verschillende jaren in Afbeelding 4.
Door grote fluctuaties in deze zone door o.a. het verplaatsen van zandbanken en het 'langslopen' van een zandgolf (zie paragraaf 2.5.3 (in 2003), is de BKL zone in 2003 een stuk breder dan in 1975. Het berekende volume in deze zone is daarmee ook een stuk groter. Met name de bovengrens van de BKL zone (op Goeree op NAP +1 m) is erg dynamisch omdat die midden op het strand ligt. De bovengrens van de BKL zone in andere kustvakken in Nederland waar de zone niet 'geknepen' is i.v.m een ondiepe vooroever, komt ongeveer overeen met de duinvoet. Deze begrenzing is stabieler dan de NAP +1 m lijn midden op het strand. Dit verklaart een deel van de grote volumevariaties die in de BKL zone kunnen worden waargenomen.
In een breder venster (duintop – 800 meter zeewaarts) worden volumevariaties binnen het profiel uitgemiddeld (het verplaatsen van een zandbank wordt dus niet opgemerkt) en representeren de volumevariaties slechts de veranderingen die optreden door het verlies/ toevoer van naar de nabijgelegen kustvakken, dieper water of hoger op het duin. Dit zijn de volumevariaties waar bij dit onderzoek de interesse naar uit gaat, omdat dit variaties zijn die een lange termijn trend weergeven. Daarom zullen de

resultaten uit dit venster gebruikt worden om de onderhoudsbehoefte van de kustzone in de toekomst te voorspellen.

Afbeelding 4 Variatie van breedte in de BKL zone tussen 1975 & 2003 in raai 1250



Tevens is het van belang bij kustonderhoud dat de gehele kustzone in beschouwing wordt genomen, omdat het hele profiel en niet alleen de BKL zone moet worden gewaarborgd. De Jarkusprofielen die namelijk gebruikt zijn bij het uitvoeren van veiligheidsberekeningen (zie hoofdstuk 3) zijn magere profielen die de basiskustlijn het best benaderen. Het Jarkusprofiel beslaat ruimtelijk gezien meer dan alleen de BKL zone, waardoor zand aanwezig in de hoger gelegen zone niet 'meetelt' bij de keuze voor het magere profiel. Dit zand draagt in de uitgevoerde veiligheidsberekeningen echter wel bij aan de veiligheid. Mocht dit zand hoger in het profiel in de toekomst eroderen, dan wordt dit zand in theorie met het uitvoeren van het huidige beleid (= uitvoeren BKL suppleties) niet aangevuld.
Om deze redenen is de relatief kleine ruimteschaal niet geschikt voor het voorspellen van de onderhoudsbehoefte van de referentiesituatie voor een planperiode van 50 jaar.

2.3.4.2 Gebruikte methode voorspelling onderhoudsbehoefte referentiesituatie

Omdat de ligging van de kustlijn niet gebruikt kan worden bij het voorspellen van onderhoudssuppleties is een methode opgesteld die geschikt is voor een langere tijdschaal en bruikbaar is voor de beschikbare data. De gemiddelde negatieve volumeveranderingen die hebben plaatsgevonden in de zone duintop tot 800 meter zeewaarts zijn bepaald en vervolgens gerelateerd aan de onderhoudsbehoefte van de verschillende alternatieven. De methode, die resulteert in een conservatieve inschatting van de onderhoudsbehoefte, wordt hieronder toegelicht.

Analysevenster

Zoals gezegd is er voor gekozen om een breder venster te analyseren dan de BKL zone vanwege de te beschouwen planperiode. Tevens is gebleken dat indien de volumeveranderingen in slechts de BKL zone worden beschouwd hier grote veranderingen optreden. Dit heeft te maken met de begrenzing van de BKL zone; de grenzen van de zone liggen in een erg dynamische zone, waardoor door versteiling en verflauwing van het profiel grote volumevariaties op kunnen treden (zie Afbeelding 4).

Een consequentie van het gebruik van een breder venster dan alleen de BKL zone is dat de *onderhoudsbehoefte die met dit venster wordt voorspeld niet slechts een inschatting van de BKL* suppleties is, maar een inschatting van het benodigde onderhoud van de gehele kustzone representeert.

Volumeveranderingen

Grafieken waarin de volumeontwikkelingen in een bepaald kustvak zijn uitgezet tegen de tijd zijn 'op het oog' ingedeeld in periodes waarin een verschillende groei-/ dalingstrend in onderscheiden kan worden. Zo wordt rekening gehouden met eventuele 'sprongen' die optreden. Een voorbeeld van een dergelijke indeling is te vinden in Afbeelding 5.

Afbeelding 5 Voorbeeld van indeling van een kustvak in periodes met aanzandende/ stabiele periodes

De data van iedere periode die is onderscheiden aan de hand van de hierboven beschreven indeling is apart geplot in een grafiek, samen met de bijbehorende trendlijn. Een voorbeeld van een periode uit Afbeelding 5 is weergegeven in Afbeelding 6. Met behulp van de in de grafiek aanwezige trendlijn is voor iedere periode bepaald wat de volumeverandering in (m^3/m)/ jaar is. De resultaten van deze analyse worden gepresenteerd in paragraaf 2.5.

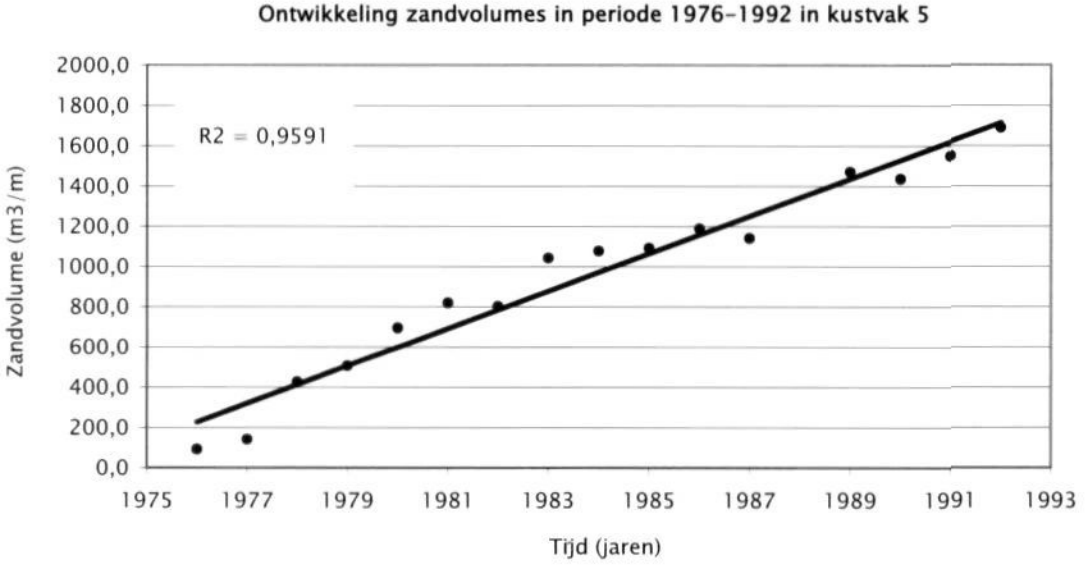
Aangezien een onderhoudsbehoefte ingeschat dient te worden voor de komende 50 jaar gaat de interesse uit naar de negatieve volumeveranderingen die hebben plaatsgevonden in de kustzone nabij het Flaauwe Werk. Het optreden van negatieve volumeveranderingen kan namelijk resulteren in een ongunstige verschuiving van de kustlijn.
De aanname is dat de negatieve volumeveranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden in de toekomst weer op kunnen treden. Dit is een conservatieve aanname. Daarom worden voor ieder kustvak de gemiddelde negatieve volumeveranderingen bepaald. De waarde van de 'gemiddelde negatieve volumeverandering' is een *gewogen* gemiddelde. Hierdoor wordt aan een periode met een langere tijdsduur meer gewicht toegekend dan aan een periode met een korte tijdsduur.

Deze bepaalde gemiddelde negatieve volumeveranderingen die bepaald zijn per kustvak worden representatief geacht voor de volumeveranderingen die in de toekomst weer op kunnen treden. Dit is een

conservatieve aanname aangezien in het verleden tevens positieve volumeveranderingen op hebben getreden en dit in de toekomst weer kan plaatsvinden.

De bepaalde gemiddelde negatieve volumeverandering is hiermee in principe gelijk aan de onderhoudsbehoefte van het betreffende kustvak. Echter dient tevens rekening gehouden te worden met eventuele invloeden van ingrepen in het gebied en de verwachte autonome ontwikkeling. De aanpassing van de onderhoudsbehoefte aan deze ontwikkelingen wordt indien nodig in de betreffende paragraaf 2.7 behandeld.

Afbeelding 6 Trendlijn in periode 1976-1992 met de ontwikkeling van zandvolumes in kustvak 5



Effect suppleties

De data die gebruikt is voor het bepalen van de gemiddelde negatieve volumeveranderingen is niet gecorrigeerd voor de uitgevoerde suppleties omdat de interesse uitgaat naar de negatieve volumeveranderingen die optreden. Bij het uitvoeren van een suppletie treedt een trendbreuk op in tijdserie door de invoer van een groot volume zand. Echter wanneer het beschouwde kustvak een eroderende trend vertoont, dan zal deze trend zich in het kustvak voortzetten na de tijdelijke toename. Bij het Flaauwe Werk is het echter wel zo dat in het oostelijk van het suppletievak gelegen kustvak een (tijdelijke) aangroei van de zandvolumes waargenomen kan worden of mogelijk een verminderde eroderende trend.

Tevens treedt bij de correctie voor een uitgevoerde suppletie een fout op. Bij het uitvoeren van een correctie voor het suppletievolume wordt er van uit gegaan dat het gesuppleerde volume in de betreffende raai blijft terwijl in werkelijkheid kustlangs herverdeling van het suppletiezand zal plaatsvinden of naar dieper water verdwijnt. Ook kan een over- onderschatting optreden bij het omrekenen van het zandvolume van m^3/m naar m^3, vanwege het niet parallel lopen van de Jarkusraaien.

Om bovenstaande redenen wordt de data van de volumeontwikkelingen niet gecorrigeerd voor de uitgevoerde suppleties. Dit is een conservatieve aanname.

Tijdshorizon analyse

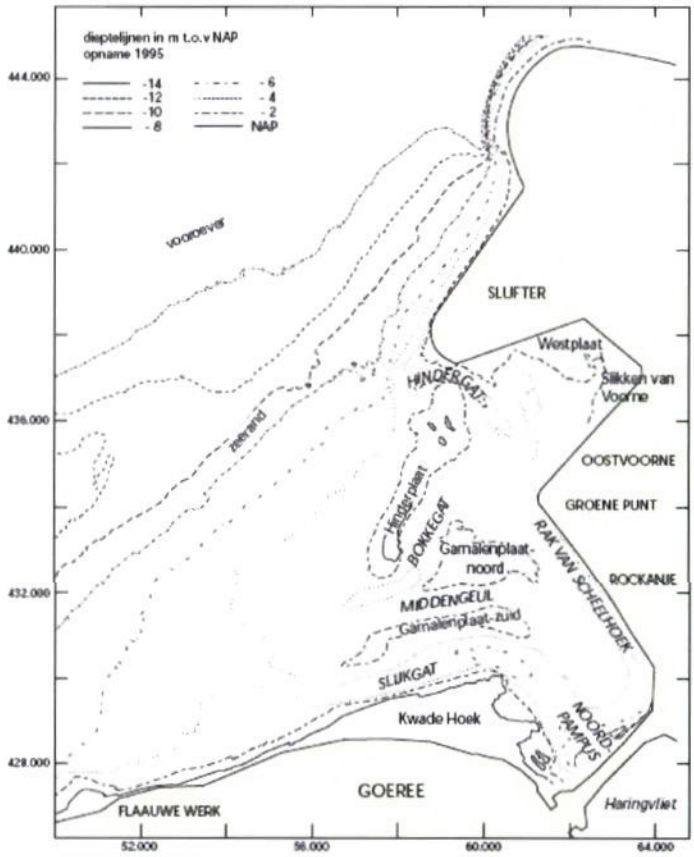
Sinds het vaststellen van de BKL wordt de kustlijn op zijn plaats gehouden door het uitvoeren van suppleties. In 1994 is ter hoogte van het Flaauwe Werk voor het eerst zo'n suppletie uitgevoerd, gevolgd

door een suppletie in 1998 en 2004. In de toekomst zal dit suppletiebeleid worden voortgezet. In principe zijn de volumeontwikkelingen zoals in deze periode hebben plaatsgevonden representatief voor de volumeontwikkelingen die in de toekomst plaats kunnen vinden. Omdat echter de periode waarin in het verleden suppleties zijn uitgevoerd slechts 10 jaar beslaat en een voorspelling gedaan moet worden voor de gehele planperiode van 50 jaar gaat de voorkeur uit naar gegevens uit een langere analyseperiode. Morfologische verschijnselen die op de lange termijn optreden zoals de longitudinale zandgolf worden tevens niet goed meegenomen in de voorspelling indien de periode vanaf 1994 wordt beschouwd.

2.4 Analyse literatuur ontwikkeling Haringvlietmonding en kustzone Flaauwe Werk

In deze paragraaf wordt de morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmonding en de kustzone bij het Flaauwe Werk beschreven als gevolg van in het gebied gedane ingrepen. Tevens wordt de morfologische verwachting geschetst van geplande ingrepen op grote (Haringvlietmonding) en op kleine schaal (kustzone Flaauwe Werk). Bij de beschrijving van de morfologische ontwikkelingen in deze paragraaf wordt verwezen naar locaties met specifieke namen. In onderstaande figuur staan alle locatienamen weergegeven.

Afbeelding 7 Locatienamen monding Haringvliet (Van Vessem, 1998)



2.4.1 Ingrepen verleden

2.4.1.1 Afsluiting van het Haringvliet (1957-1970)

Grootschalige morfologische ontwikkeling

De afsluiting van het Haringvliet heeft belangrijke morfologische gevolgen gehad voor het mondingsgebied van het Haringvliet (Stam et al,. 2002), inclusief de kust van het Flaauwe Werk. Het getijklimaat is met name veranderd, het getijvolume is afgenomen, waardoor de invloed van golven is toegenomen (Svasek, 2004 en Stam et al., 2002). Het zand uit de buitendelta wordt door de toegenomen invloed van golven naar de kust getransporteerd. De Haringvlietmonding werkt als zandvang voor dit sediment en voor het sediment dat langs de Noordzeekust wordt getransporteerd. Een gevolg is dat in het gebied een netto sedimentatie plaatsvindt. De sedimentvolumes in de monding tonen na de afsluiting een negatief exponentieel verloop in de tijd: het zandvolume is na afsluiting sterk toegenomen en de toename vermindert in de tijd (Tönis et al., 2002).

De karakteristieke aanpassingstijd van het systeem is 11 jaar (Tönis et al, 2002, Stam et al., 2002). Dit betekent dat in 11 jaar tijd 63% van het evenwichtsvolume wordt bereikt. Door de snelle aanpassing van het systeem aan de nieuwe hydrodynamische condities is in 2000 93% van het evenwicht bereikt, in 2020 zal dit zelfs 99% zijn (Tönis et al., 2002).
In het rapport van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) wordt echter gesteld dat het systeem zich in 2000 voor 60% heeft aangepast aan de hydraulische situatie die is ontstaan na de bouw van de Haringvlietdam. Deze studie is echter gedaan op basis van een minder uitgebreide bodem dataset dan de studie van Tönis et al. (2002) die meer recent is.

Sinds de afsluiting stromen de hoge spuidebieten van het Haringvliet in de monding voornamelijk door het Slijkgat, wat resulteert in erosie van de zuidelijke rand van de Garnalenplaat Zuid en aanzanding bij de Kwade Hoek.

Sinds de afsluiting hebben de volgende grootschalige morfologische ontwikkelingen plaatsgevonden (Stam et al., 2002):
Voor 1970: De monding wordt gedomineerd door twee geulen. De noordelijkste geul splitst zich in twee geulen waar tussen de Hinderplaat ligt.
1970-1986: De monding wordt als geheel ondieper door toename van het sedimentvolume. De Hinderplaat en de Garnalenplaat groeien aan en de laatste verschuift naar het noorden. De geulen verzanden langzaam, waardoor een hoofdgeul ontstaat, namelijk 'het Slijkgat' welke de meest zuidelijke geul is en eb-gedomineerd. Deze geul loopt langs de kust van Goeree.
1986- nu: De Hinderplaat en de Garnalenplaat groeien verder aan. Ten zuiden van de Garnalenplaat ontstaat een nieuwe plaat (Garnalenplaat Zuid) met dezelfde oriëntatie en vorm als de Garnalenplaat Noord. Het Slijkgat is nog steeds de belangrijkste eb-gedomineerde geul. Tussen de Hinderplaat en de Garnalenplaat Noord ontwikkelt zich een complex van vloedscharen.

Morfologische ontwikkeling voor het Flaauwe Werk
Voor de afsluiting van het Haringvliet was de monding morfologisch in balans en vond er door de grote invloed van het getij een heen en weer transport van zand plaats voor de kust van Goeree. Na de afsluiting veranderde dit transport in een dominant oostwaarts brandingstransport lang de kust (Arcadis/ Alkyon, 2004). Anno 2000 vindt er vanaf het Flaauwe Werk en de punt van Goeree golfgedreven oostwaarts sedimenttransport plaats. Dit sediment wordt met name afgezet in de Kwade Hoek (Stam et al., 2002 en Arcadis/ Alkyon, 2004). De uitbouw van de Kwade Hoek verlegt zich hierdoor naar het westen wat vervolgens leidt tot het bijdraaien van de kust. Dit is het gevolg van het hervinden van het dynamisch evenwicht tussen aanvoer en afvoer van zand in de brandingszone. Deze ontwikkeling heeft plaatsgevonden over tientallen jaren en heeft een positief gevolg op de waterkerende functie van het Flaauwe Werk. Het vergroot namelijk het voorliggende strand en het onderwaterprofiel (Arcadis/ Alkyon, 2004). Op Goeree laten de raaien namelijk een toename van de MKL zien (Stam et al,. 2002).

2.4.1.2 *Aanleg Maasvlakte 1 (1967-1976)*
Het effect van de aanleg van Maasvlakte 1 is klein en slechts beperkt tot het noordelijk deel van de monding van Haringvliet (Svasek, 2004).

2.4.1.3 *Aanleg baggerspeciedepot de Slufter (1986-1987)*
Het effect van de aanleg van de Slufter beperkt zich tot het noordelijk deel van de monding van het Haringvliet (Svasek, 2004). Het effect op de kustzone van het Flaauwe Werk is klein. Bij de bouw van de

slufterdam is de sedimentinhoud in het systeem van de Haringvlietmonding met zo'n $20*10^6$ m^3 toegenomen.

2.4.1.4 *Afsluiting Grevelingen (1965-1971)*

In 1965 is de Grevelingendam aangelegd, waarna in 1971 de Grevelingen van de Noordzee werd afgesloten door de aanleg van de Brouwersdam. Als gevolg van de afsluiting is de getijbeweging in de Grevelingen verdwenen. Sinds 1978 staat de Grevelingen weer in verbinding met de Noordzee door middel van een sluis in de Brouwersdam. Hierdoor wordt het water in de Grevelingen permanent ververst met zout Noordzeewater (www.grevelingen.nl). Door het afnemen van de oost-west gerichte getijdestromen is ook hier de invloed van golven toegenomen. De getijdegeulen zijn verondiept en de golfslag heeft sediment mee naar de kust verplaatst met als gevolg dat parallel aan de kust zandplaten zijn ontstaan, namelijk de 'Bollen van Ooster'. De verwachting is dat de platen in zowel hoogte als omvang niet meer toenemen. (Withagen, 2000).

Over de gevolgen van het afsluiten van de Grevelingen voor de morfologische ontwikkeling van de voordelta in het algemeen en het Flaauwe Werk in het bijzonder is weinig literatuur beschikbaar. Uit hetgeen wat beschikbaar is valt op te merken dat de ontwikkelingen die voor het gebied worden aangegeven overeenkomen met de ontwikkelingen die hebben plaatsgevonden als gevolg van het afsluiten van het Haringvliet. Bovendien heeft de afsluiting van de Grevelingen gelijktijdig plaatsgevonden met de afsluiting van het Haringvliet.

2.4.1.5 *Suppleties (1994-2004)*

In 1994, 1998 en 2004 hebben suppleties plaatsgevonden voor het Flaauwe Werk. Bij analyse van de effecten van de strandsuppleties 1994 en 1998 door Walhout (2002) blijkt dat aantoonbare effecten van de strandsuppletie alleen te zien is in de vakken waar de suppletie heeft plaatsgevonden. In de betreffende suppletievakken is een sprongsgewijze toename te zien door de strandsuppletie van het gemiddeld raaivolume. Ten westen van de suppletievakken is geen aantoonbaar effect te zien als gevolg van de uitgevoerde suppleties. Ten westen van de suppletievakken zijn geen duidelijke sprongen door de suppleties op te merken. Wel is te zien dat in beide gevallen een gestage groei van het kustvolume plaats vindt ten oosten van de suppletievakken. Een west-oost transport van zand is volgens Walhout (2002) de reden van de gestage groei van het zandvolume ten oosten van het suppletievak. Het is tevens meteen de reden voor het feit dat ten westen van het suppletievak geen aantoonbare groei van het zandvolume plaats vindt. Het golfgedreven transport dat relatief groter is geworden na de afsluiting van het Haringvliet (Stam et al., 2002 en Svasek, 2004) is de oorzaak van het west-oost transport van zand dat plaats vindt.

2.4.2 Autonome ontwikkeling

Het Haringvliet heeft zich nog niet geheel aangepast aan de ingrepen die in het verleden hebben plaatsgevonden. Om deze reden zal in de toekomst zonder eventuele andere ingrepen de algehele aanzanding voortzetten totdat het evenwichtsvolume behorende bij de huidige hydrodynamische situatie bereikt is. Hoe sterk deze aanzanding nog zal zijn hangt af van de karakteristieke aanpassingstijd van het systeem. In verschillende studies (Tönis et al., 2002 en Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht, 2000) worden verschillende waarden van deze karakteristieke aanpassingstijd gevonden. Dit resulteert in een andere waarde voor de procentuele aanpassing aan de nieuwe hydrodynamische condities in 2000. De meest recente studie door Tönis et al. (2002) heeft de meest uitgebreide set digitale bodemdata geanalyseerd. Het is dus zeer aannemelijk dat deze studie de karakteristieke aanpassingstijd van het systeem het beste weergeeft. Toch worden ook de resultaten uit de eerder uitgevoerde studies gepresenteerd, omdat bij deze studies voorspellingen worden gedaan voor de toekomst.

In de studie van Tönis et al. (2002) wordt geconcludeerd dat de Haringvlietmonding zich in 2000 voor 93% aan de nieuwe hydrodynamische condities heeft aangepast. Door deze grote aanpassing vallen in de toekomst geen ingrijpende morfologische veranderingen meer te verwachten in de Haringvlietmonding. De aanzanding zal zich nog geleidelijk voortzetten.
In het rapport van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) wordt gesteld dat de geuldoorsneden in 2000 voor 60% zijn aangepast aan de nieuwe hydrodynamisch condities. Door van Vessem (1998) wordt gesteld dat in 1995 40-80% van de evenwichtsituatie is bereikt. De aanzanding zal in deze laatste gevallen dus sterker zijn bij de autonome ontwikkeling dan in de eerste situatie en zal zich voort blijven zetten. Hierdoor worden de getijgeulen kleiner en nemen de stroomsnelheden toe (van Vessem, 1998). In de nieuwe evenwichtssituatie zullen de stroomsnelheden de waarde van voor de afsluiting bereiken. Van Vessem (1998) verwacht dat de aanpassing van het Haringvliet nog 50-60 jaar duurt, waarbij de hydrodynamiek en de morfodynamiek geleidelijk af zullen nemen.
Aangenomen wordt dat de studie van Tönis et al. (2002) gezien het gebruik van de meest uitgebreide dataset de mate huidige aanpassing aan de nieuwe hydrodynamische condities het beste weer geeft.

De sedimentatietrend zal dus doorzetten bij het nul-alternatief (= autonome ontwikkeling), zij het in minder grote mate dan wordt voorspeld door Van Vessum (1998). De opvulling van de Haringvlietmonding kan namelijk door blijven gaan, omdat het grootste deel van het sediment vanaf de zeerand wordt geïmporteerd en de sedimenttoevoer niet afhankelijk is van de import via de Haringvlietsluizen (van Vessem, 1998).

De ontwikkeling van de zuidelijke platen in het gebied is van belang omdat dit van invloed kan zijn op het sedimentvolume van de kust van Goeree. De Garnalenplaat Zuid bouwt nu uit naar het zuidwesten wat een extra toevoer van zand naar het drempelgebied kan opleveren (Arcadis/ Alkyon, 2004). De uitbouw van de Garnalenplaat Zuid kan tevens van invloed zijn op de ligging van het geulensysteem in de toekomst. De uitbouw kan er namelijk voor zorgen dat het Slijkgat naar de kust wordt afgebogen. Wanneer er niet meer gebaggerd zou worden is het denkbaar dat het Slijkgat zich in twee aparte geulen splitst; een westelijke vloedgedomineerde geul en een oostelijke ebgedomineerde geul. De ontwikkeling van de ligging van de geul het Slijkgat is van belang omdat de eventuele nieuwe vloedschaar dan wellicht in de BKL zone kan komen te liggen voor het Flaauwe Werk. Het kan een ongunstige uitwerking hebben op de waterkerende functie van het Flaauwe Werk omdat het ervoor kan zorgen dat de strandbreedte afneemt. Deze ontwikkeling speelt op een termijn van mogelijk tientallen jaren (Arcadis/ Alkyon, 2004).

De uitbouw van de Hinderplaat in de Haringvlietmonding kan positieve of negatieve gevolgen hebben voor de kustontwikkeling van het Flaauwe Werk. Het kan een gunstig effect hebben omdat het de golfwerking vanuit het noordwesten afremt. Het effect kan ongunstig zijn als blijkt dat door lenswerking lokaal een toename van golven optreedt ter plaatse van het Flaauwe Werk (Alkyon/ Arcadis, 2004)

2.4.2.1 *Invloed zeespiegelstijging*

Voor de planperiode van 50 jaar wordt een meetbare zeespiegelstijging voor de gehele Nederlandse kust voorspeld tussen de 10 en 30 cm. Een zeespiegelstijging kan op verschillende wijzen de zandbalans in het kustsysteem beïnvloeden. Een direct effect van zeepiegelstijging op de zandbalans vindt plaats door toename van de gemiddelde waterhoogte, een indirect effect vindt plaats door een verandering in zandtransporterende processen (Mulder, 2000).

Directe effecten van zeespiegelstijging

Wordt de zandbalans van een kustsysteem over een periode van tientallen jaren in een vaststaand venster beschouwd, dan kunnen in dit venster zandreserves aanwezig zijn. Een deel van de zandreserves

nabij de ondergrens van het venster komt bij zeespiegelstijging buiten het bereik van het kustsysteem te liggen, waardoor de beschikbare zandreserves in het systeem afnemen (Mulder, 2000).
Een vergelijkbaar effect treedt op voor de zandverliezen in de ondiepe zone. Een stijging van het gemiddeld zeeniveau leidt tot overschrijding van de BasisKustLijn. De grootte van de overschrijding hangt samen met de afname van de zandinhoud binnen de rekenzone van de BasisKustLijn door de gestegen waterspiegel.
De afname van het zandvolume in beide rekenvensters dient volgens het huidige beleid aangevuld te worden met het uitvoeren van zandsuppleties.

Indirecte effecten zeespiegelstijging
Veranderingen in zandtransport door golven en stromingen zijn een indirect effect van zeespiegelstijging. De hoofdoorzaak van deze veranderingen is de toename van de zandvraag door estuaria en voornamelijk de Waddenzee. Om mee te kunnen groeien met de stijging van de zeespiegel hebben deze gebieden namelijk een evenredige hoeveelheid extra sediment nodig.
Mulder (2000) heeft een voorspelling gedaan van de zandbalans van het gehele Nederlandse kustsysteem in de toekomst op basis van verschillende zeespiegelstijging scenario's. Bij een zeespiegelstijging van 20 cm/ eeuw varieert de toekomstige zandbalans gemiddeld tussen –9 en –16 Mm^3/jaar, bij een zeespiegelstijging van 60 cm/ eeuw ligt het negatieve saldo naat verwachting tussen –16 en –31 Mm^3/jaar.

2.4.3 Ingrepen toekomst

2.4.3.1 Gewijzigd spuiregime Haringvliet

Op basis van waarnemingen van morfologische veranderingen tussen 1970 en heden kan inzicht verkregen worden in de morfologische processen die zich afspelen in de Haringvlietmonding. Beter inzicht in huidige en vroegere morfologische ontwikkeling kan bijdragen een betere voorspelling van het gedrag na het openen van de sluizen (Stam et al., 2002).

Grootschalige morfologische ontwikkeling
De voorgenomen ingrepen (Kier en Getemd Getij) kunnen tot ingrijpende veranderingen leiden van de ontwikkelingsrichting van het Haringvliet (Svasek, 2004). Wijzigingen in het spuiregiem zullen voornamelijk van invloed zijn op de zuidelijke helft van de Haringvlietmonding (Steijn, 1998 en van Vessem, 1998). Na invoering zullen op korte termijn de veranderingen van een gewijzigd spuiregiem het grootst zijn. In het begin zal de aanpassing snel gaan door het optreden van grote sedimenttransporten, waarna de ontwikkelingssnelheid in de loop der tijd afneemt (van Vessem, 1998).

Kier
Bij de Kier worden de Haringvlietsluizen ook bij vloed geopend. Dit houdt in dat de Haringvlietsluizen 95% van de tijd op een kier gaan op ongeveer 10% van de totale opening (www.haringvlietsluizen.nl). De sluizen zullen dicht gaan dicht bij stormvloed en een lage rivierafvoer. De Kier zal naar verwachting 1 januari 2008 ingevoerd gaan worden.
Het effect van het op een kier zetten van het Haringvliet is onzeker. Verwacht wordt dat de dagelijkse getijstroom toe zal nemen, met als gevolg een verdieping van de getijgeulen. De grootste veranderingen worden verwacht bij het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek. De grootte van de morfologische verandering is waarschijnlijk zeer klein (www.haringvlietsluizen.nl), omdat het verschil in getijslag nauwelijks zal veranderen (www.riza.nl).

Getemd Getij
Bij de ingreep Getemd Getij worden de sluizen verder worden opengesteld dan bij de ingreep de Kier. De sluizen zullen 95% van de tijd voor ongeveer 1/3 open staan. Het getij zal terugkeren in het Haringvliet, het

Hollandsch Diep en de Biesbosch (www.haringvlietsluizen.nl), waardoor de rol van extreme rivierafvoeren kleiner zal worden. De rivierafvoeren zijn namelijk relatief klein vergeleken met de getijvolumes die door de sluizen gaan (Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht, 2000). Het invoeren van Getemd Getij zal nog zeker 10-15 jaar duren, omdat eerst de belangen voor de zoetwatervoorziening veilig moeten worden gesteld. In een aantal stappen die elk een aparte inspraak en besluitvormingsprocedure vergt kan naar het sluisbeheer Getemd Gerij worden gewerkt (www.haringvlietsluizen.nl).

Bij het openzetten van de sluizen krijgt het Haringvliet zijn rol als kombergingsgebied terug, waardoor de getijvolumes zullen toenemen (van Vessum, 1998). De buitendelta van de Haringvlietmond zal zich aan deze nieuwe situatie aan gaan passen, omdat deze te klein is voor de nieuwe hydrodynamische condities. Een natuurlijke buitendelta wordt namelijk gekenmerkt door een vaste verhouding tussen de omvang van de buitendelta en het achterliggende kombergingsgebied.

Door de toegenomen getij-invloed zal het huidige netto oostwaarts (landwaarts) gerichte zandtransport omslaan in een netto zeewaarts transport. De huidige sedimentatietrend slaat hierdoor om in een erosieve trend, waardoor de ontwikkeling zoals die heeft plaatsgevonden sinds 1970 gedeeltelijk zal worden terug gedraaid. De situatie van voor 1970 zal echter niet geheel kunnen worden hersteld, omdat het getijvolume niet zijn oorspronkelijke waarde kan bereiken (van Vessum, 1998). De totale doorstroomopening is door het plaatsen van de dam kleiner dan de oorspronkelijke doorsnede van het Haringvliet op de locatie van de dam.
In het rapport van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) wordt gesteld dat het nieuwe getijvolume bij het scenario Getemd Getij 60 % beslaat van het getijvolume van vóór 1970. In het rapport van van Vessum (1998) wordt echter gesteld dat het maximaal haalbare volume bij het volledig openzetten van de dam (scenario stormvloedkering) 52% bedraagt van het getijvolume van vóór 1970. Bij het scenario Getemd Getij zal niet de gehele doorstroomopening van de sluizen gebruikt worden, zoals bij het scenario stormvloedkering wel het geval is. Het nieuwe getijvolume bij Getemd Getij zal op basis van bovenstaande gegevens in ieder geval kleiner zijn dan 60% van het getijvolume van vóór 1970.

De voorspelde omslag van een sedimenterend naar een eroderend systeem komt ook uit het model van Svasek (2004) naar voren. Er vindt in ieder geval tijdelijk een omslag plaats van een sedimenterend naar een eroderend systeem. Het model van de Haringvlietmonding van Svasek voorspelt een snelle morfologische aanpassing na de invoering van Getemd Getij. Vrijwel alle geulen in de Haringvlietmonding vertonen een eroderende trend in de voorspelling door het toegenomen getijvolume. Volgens het model vindt erosie voornamelijk plaats in het Slijkgat.

Erosie van de getijdengeulen in de Haringvlietmonding wordt ook voorspeld door Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) en Tönis et al. (2002). De mate van erosie hangt echter af van de grootte van de morfologische aanpassing die verwacht wordt op basis van de nieuwe hydrodynamische condities. Dit hangt weer af van de karakteristieke aanpassingstijd van het huidige systeem en de grootte van het evenwicht getijvolume van het nieuwe systeem.

In het rapport van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) wordt gesteld dat de geuldoorsneden uit het jaar 2000 (60% aangepast) ongeveer overeenkomen met de geuldoorsneden voor de evenwichtssituatie van het scenario Getemd Getij (evenwichtssituatie is 60% van origineel 1970 volume). Volgens Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) komen de dwarsdoorsneden van de geulen bij Getemd Getij redelijk overeen met de huidige (2000) doorsnede van de geulen. De geulen moeten echter nog minimaal 20% van het originele getijvolume eroderen om in evenwicht te zijn.

Aangezien uitgegaan wordt van de studie van Tönis et al. (2002) heeft het gebied waarschijnlijk een karakteristieke aanpassingstijd van 11 jaar, waarbij het gebied in 2000 voor 93 % is aangepast aan de nieuwe hydrodynamische condities. Bij het invoeren van Getemd Getij zal dan een aanzienlijker deel eroderen in de Haringvlietmonding dan in de studie van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht (2000) wordt verondersteld, omdat er meer zand in het systeem ligt dan nodig is voor een nieuwe evenwichtsvolume. Het te eroderen percentage van het originele getijvolume ligt dan minimaal op 33%. Rekening moet echter worden gehouden met het feit dat de aanpassingtijd is bepaald over een sedimenterend deel van het systeem. Het is echter niet zeker of in het geval van erosie een zelfde karakteristieke aanpassingstijd kan worden aangenomen (Tönis et al., 2002).

De toename van getijvolumes resulteert in het toenemen van de gemiddelde stroomsnelheid in de monding. Door de toename van de stroomsnelheden zal er een toename zijn in het bodemtransport en van zwevend materiaal. Met name in de eerste jaren na de ingreep zal er een snelle aanpassing plaatsvinden met grote sedimentverplaatsingen. Er zal geen sediment in de verticaal meer kunnen bezinken, doordat de sluizen niet meer dicht zijn. Na enkele decennia zal de ontwikkelingssnelheid en de zandtransporten in het gebied afnemen. Verwacht wordt dat over 20-30 jaar de morfologie zich aan de nieuwe hydraulische randvoorwaarden heeft aangepast (van Vessum, 1998). Aangezien van Vessum (1998) uit is gegaan van een systeem dat in mindere mate is aangepast dan Tönis et al (2002) zal de aanpassing van de morfologie aan de nieuwe situatie waarschijnlijk iets meer tijd in beslag nemen.

Morfologische ontwikkeling voor het Flaauwe Werk

Kier

Volgens Stam et al., (2002) kan het strand van Goeree door de Kier worden beïnvloed, maar is onzeker of dit positief dan wel negatief zal zijn. Volgens Arcadis/ Alkyon, (2004) zal het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen vermoedelijk weinig gevolgen hebben voor het Flaauwe Werk. Op de internetsite van Haringvlietsluizen wordt ook gesteld dat het alternatief beheer de Kier zeer waarschijnlijk weinig invloed heeft op de morfologie. Het is mogelijk dat er lokaal erosie optreedt.

Getemd Getij

Bij verdergaand spuiregime 'Getemd Getij' zijn er mogelijke positieve en negatieve ontwikkelingen. Door erosie van de Kwade Hoek zou de kustuitbouw ter plaatse van het Flaauwe Werk toe kunnen nemen. Een versterkte vloeddominantie in het Slijkgat zou echter een kustwaartse migratie van de geul kunnen veroorzaken. De doorsnede van het Slijkgat zal iets toenemen. Het ruimer worden van het Slijkgat zal ten koste gaan van de bufferzone voor de kustlijn. Hierdoor zal het onderhoud van de kustlijn met zo'n 10% kunnen toenemen. Dit zal zich vermoedelijk het sterkst voordoen op Goeree ter hoogte van het Flaauwe Werk (Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht, 2000).

2.4.3.2 Aanleg Maasvlakte 2

Grootschalige morfologische ontwikkeling

De aanleg van de tweede Maasvlakte in het noorden van de Haringvlietmonding zal zijn invloed grotendeels beperken tot het noordelijke deel van de monding (Steijn, 1998). De invloed van golven in de monding van het Haringvliet zal door de aanleg gereduceerd worden. Uit bepaalde richtingen kan de invloed sterk verminderd worden of zelfs wegvallen. Door afname van de hydrodynamiek bij beide varianten zal het fijne sediment eerder bezinken (van Vessem, 1998).

De totale zandvoorraad van het mondingsgebied van het Haringvliet zal door de aanleg toenemen. Dit zand zal echter alleen ten goede komen aan de kust van Voorne en het effect op de kust van Goeree is vermoedelijk gering (Arcadis/ Alkyon, 2004).

Met de aanleg van een tweede Maasvlakte wordt de buitendelta zeewaarts geschoven. Het vormen van een volledige nieuwe buitendelta zal meer dan 100 jaar in beslag nemen. Door de grotere waterdiepte van deze verder naar zee gelegen buitendelta én een geringere aanvoer van sediment omdat de Haringvlietsluizen het bodemtransport blokkeren, zal het ontstaan van een nieuwe buitendelta langer duren dan de vorming van de huidige.

Morfologische ontwikkeling voor het Flaauwe Werk

Door de aanleg van Maasvlakte 2 wordt het Flaauwe Werk beschermd tegen golven uit een westelijke tot noordelijke richting. De golfhoogte kan met golven uit deze richting afnemen met 70-90% tussen het Flaauwe Werk en de Kwade Hoek indien de meest zuidelijke variant van de tweede Maasvlakte wordt beschouwd (Steijn, 1996). Door de afname van de golfhoogte neemt de transportcapaciteit in de monding af, waardoor het golfgedreven transport met 10-30% verminderd zal worden. De noordelijke variant biedt de getijdegolf de mogelijkheid om rond te gaan stromen en schermt de kust van Goeree nauwelijks af voor aanvallende golven (van Vessem, 1998).

Volgens Arcadis/ Alkyon (2004) zijn de golven op dit moment uit deze richting echter al van ondergeschikt belang voor het kustvak Goeree, omdat de golven al zouden zijn bijgedraaid of gebroken, waardoor de invloed op het Flaauwe Werk vermoedelijk gering is.

2.4.3.3 *Getemd Getij én Maasvlakte 2*

Bij Getemd Getij inclusief de zuidelijke variant van Maasvlakte 2 is de zandexport kleiner dan bij alleen Getemd Getij. Dit wordt veroorzaakt door de afscherming van de meer noordwestelijke golfrichtingen waardoor er minder zand in de monding wordt opgewoeld en kan worden getransporteerd. (Arcadis/ Alkyon (2004) stelt echter dat de golven uit deze richting nu al van ondergeschikt belang zijn.) Zandtransport bij Getemd Getij en de noordelijke variant van Maasvlakte 2 is vergelijkbaar met dat van alleen Getemd Getij.

Wordt de onderlinge verhouding van de zandtransporten vergeleken dan blijkt dat het effect van Getemd Getij 5 x groter is dan het effect van de Maasvlakte 2 varianten. Tevens verandert bij Getemd Getij het netto transport van richting en wordt de omvang van de buitendelta van voor de afsluiting gedeeltelijk hersteld (www.haringvlietsluizen.nl). Deze veronderstelling is echter in tegenspraak met de conclusie van Arcadis/ Alkyon/ Nieuwe Gracht [2000] en van Vessem [1998]. Hieruit kan worden opgemaakt dat de morfologische ontwikkeling als gevolg van ingrepen in het gebied erg onzeker is.

2.4.3.4 *Delta-synergie*

Het project Delta-synergie houdt in de aanleg van getijcentrales in de Brouwersdam. Op dit moment lijkt zich een evenwicht in te stellen voor de Brouwersdam en de westkop van Goeree. Mocht dit evenwicht verstoord worden dan kan dit leiden tot een vermindering van de zandaanvoer vanuit het zuiden. Deze eventuele veranderingen in de zandtoevoer uit het zuiden door de invoering van het project kunnen gevolgen hebben voor de zandvoorraad bij het Flaauwe Werk. Dit heeft dan in eerste instantie gevolgen voor het strand ten westen van het Flaauwe Werk, maar kan op termijn leiden tot erosie voor het Flaauwe Werk (Arcadis/ Alkyon, 2004).

Op de website van deltasynergie (www.deltasynergie.nl) wordt gesproken over het handhaven van veiligheid na invoering van het project. Om de veiligheid te kunnen blijven waarborgen dient op het strand van Goeree te worden gesuppleerd. Hieruit kan worden afgeleid dat de invoering van Delta-synergie negatieve gevolgen heeft voor de kust van Goeree.

2.5 Analyse volumeontwikkelingen

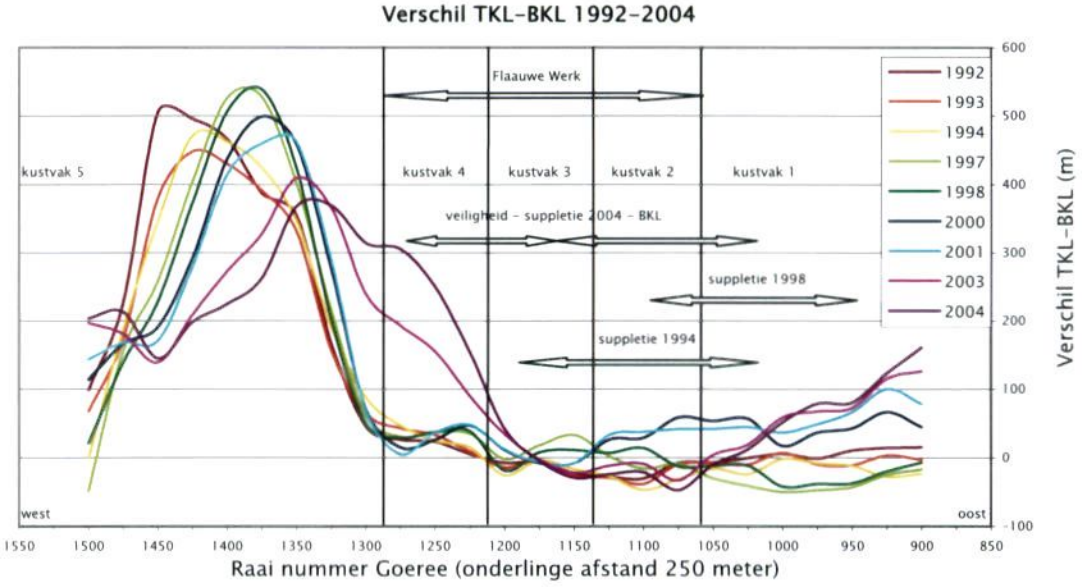
De resultaten van de uitgevoerde analyse op de beschikbare meetgegevens komen in deze paragraaf aan bod. De verschillende onderzochte parameters worden per kustvak (indeling kustvakken zie paragraaf 2.3.2.2). De definities van de kustlijnparameters die in deze paragraaf worden gebruikt kunnen worden gevonden in bijlage 2.

2.5.1 Kustlijnontwikkeling

De ligging van de kustlijn in een bepaald jaar wordt weergegeven door de MKL (Momentane Kust Lijn). Op basis van de 10 voorgaande metingen van de MKL wordt door extrapolatie de verwachte ligging van de kustlijn in het komende jaar bepaald, de TKL (te Toetsen Kust Lijn). De TKL en MKL worden vergeleken met de door de overheid vastgestelde norm van de kustlijn, de BKL (Basis Kust Lijn).
Voor het onderzoeksgebied zijn gegevens van de ligging van de te Toetsen Kust Lijn (TKL) ten opzichte van de BKL beschikbaar sinds 1992. De ligging van de MKL is voor de periode 1975-2005 beschikbaar.

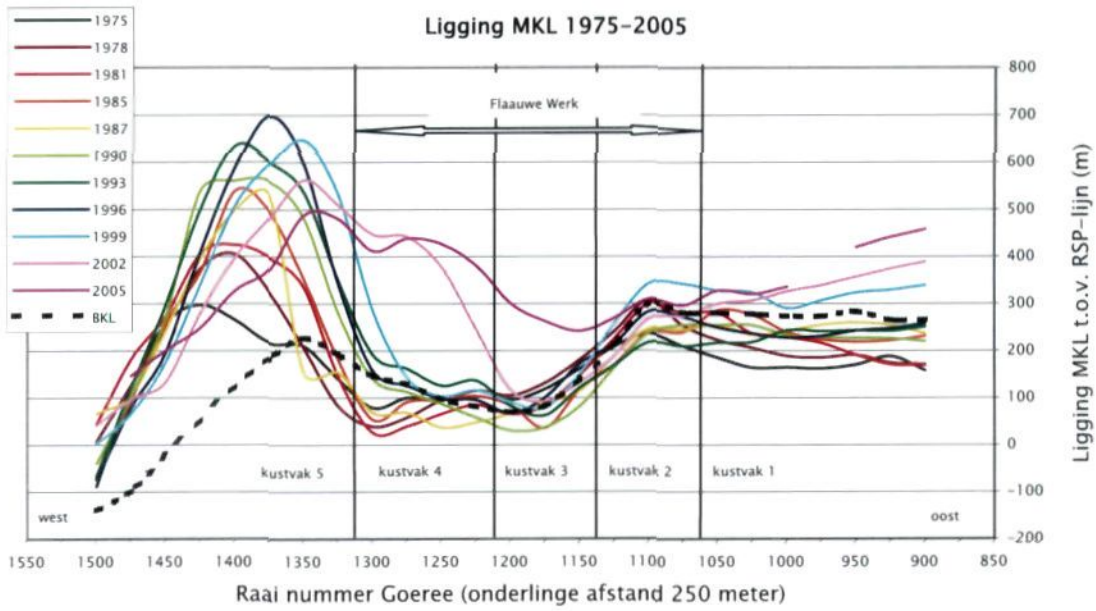
Het verschil tussen de TKL en de BKL geeft de afstand weer tussen de verwachte ligging van de kustlijn en de ligging van de BKL. Hoe groter het (positieve) getal, hoe verder de kustlijn zeewaarts af ligt van de BKL. Een groot getal betekent dus een marge in de zandvoorraad en dat er op deze locatie voorlopig niet gesuppleerd hoeft te worden om de BKL te handhaven. Indien de TKL beneden de BKL komt dient er in de betreffende raai een strandsuppletie uitgevoerd te worden. In Afbeelding 8 staat het verschil tussen de TKL en BKL voor het onderzoeksgebied weergegeven voor de periode 1992-2004.

Afbeelding 8 Verschil tussen de te Toetsen Kust Lijn en de Basis Kust Lijn in de periode 1992-2004.



In Afbeelding 9 staat naast de ligging van de berekende MKL tevens de in 1990 vastgestelde BKL weergegeven in de periode 1975-2005 voor het onderzoeksgebied.

Afbeelding 9 Ligging van de Momentane kustlijn in de periode 1975 - 2005

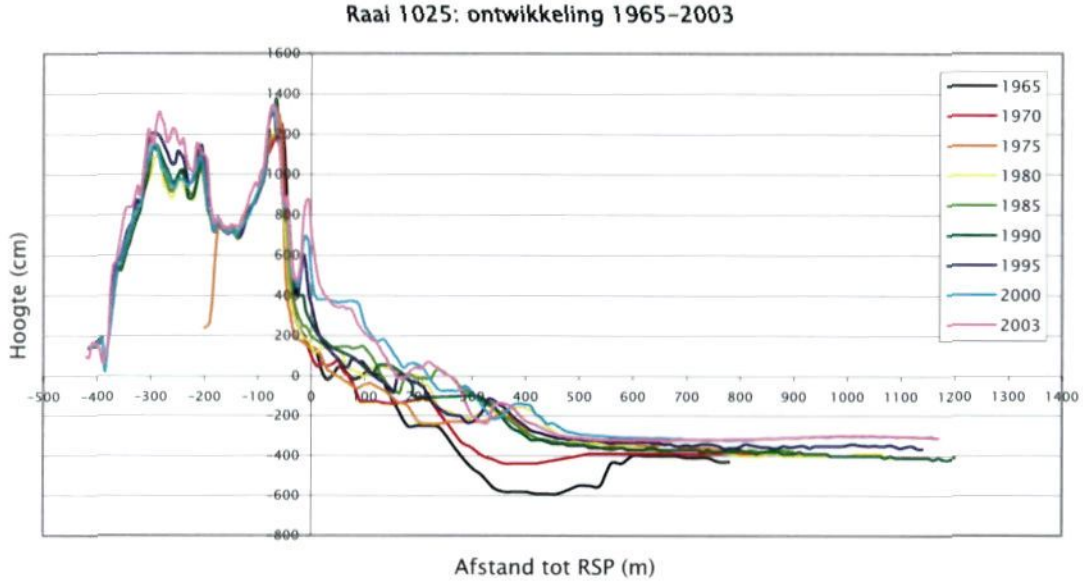


Voor elk kustvak (indeling kustvakken zie paragraaf 2.3.2 en tevens Afbeelding 8 en Afbeelding 9) is een raai liggende in het betreffende kustvak gekozen als representatieve raai. Deze raaien zijn te zien in Afbeelding 10 tot en met Afbeelding 14, waarin de ontwikkeling van het profiel in de tijd wordt getoond.
De kustlijnontwikkeling zal aan de hand van de Afbeelding 8 tot en met Afbeelding 14 worden geïnterpreteerd per kustvak:

Kustvak 1

Een vooruitgang in de ligging van de kustlijn is te zien ten oosten van het Flaauwe Werk in Afbeelding 8 en Afbeelding 9. Direct naast het Flaauwe Werk vindt echter in het begin van de jaren '90, waarbij de kustlijn de BKL overschrijdt en dus te ver landwaarts komt te liggen. Dit is de reden geweest voor de uitgevoerde strandsuppletie in 1994 op deze locatie ten behoeve van het handhaven van de BKL. De noodzaak voor strandsuppletie van 1998 is ook af te leiden uit Afbeelding 8. In 1997 en 1998 ligt de TKL namelijk maximaal zo'n 50 meter landwaarts van de BKL. De uitgevoerde strandsuppletie in 1998 is in 1999 te herkennen door een toename in MKL (Afbeelding 9). Uit Afbeelding 9 kan tevens worden afgeleid dat de gehele meetperiode tot en met 1996 de MKL landwaarts van de BKL heeft gelegen.
In de laatste jaren (1999-2005) ligt de kustlijn in dit kustvak zeewaarts van de BKL.
Het dwarsprofiel van 1965 in kustvak 1 (Afbeelding 10) laat een geul zien die in de daarop volgende jaren uit het profiel verdwijnt. Het voorkomen van deze geul voor het Flaauwe Werk is eerder beschreven door DHV (2005-1). Gedurende de gehele periode zandt het profiel aan in het zeewaartse deel van het profiel. Ter hoogte en zeewaarts van de RSP lijn vindt alleen in de laatste jaren een sterke aanzanding plaats door het uitvoeren van de strandsuppletie in 1998.

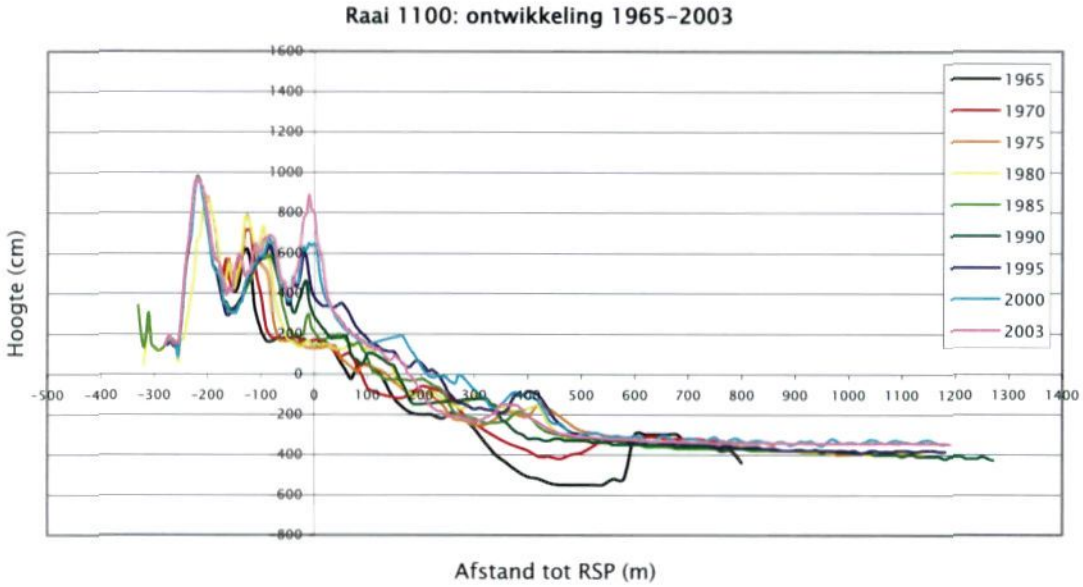
Afbeelding 10 Profielontwikkeling van een raai uit kustvak 1



Kustvak 2

Kustvak 2 vertoont afwisselend een afname, toename en vervolgens weer afname in het verschil tussen TKL-BKL. Deze wisseling is over een langere tijdsperiode ook te herkennen in de ligging van de MKL is Afbeelding 9. Door de initiële afname overschrijdt de TKL de BKL dusdanig dat in 1994 een strandsuppletie noodzakelijk was en is uitgevoerd. Hierdoor vindt tot 2001 een zeewaartse verschuiving van de TKL plaats. In Afbeelding 9 waarin de MKL en BKL staan uitgezet is echter te zien dat een zeewaartse verschuiving van de TKL niet altijd hoeft te betekenen dat de MKL ook zeewaarts van de BKL komt te liggen. In 2003 en 2004 ligt de TKL weer landwaarts van de BKL. Om deze reden is in 2004 een strandsuppletie ten behoeve van het behoud van de BKL uitgevoerd.

Afbeelding 11 Profielontwikkeling van een raai uit kustvak 2



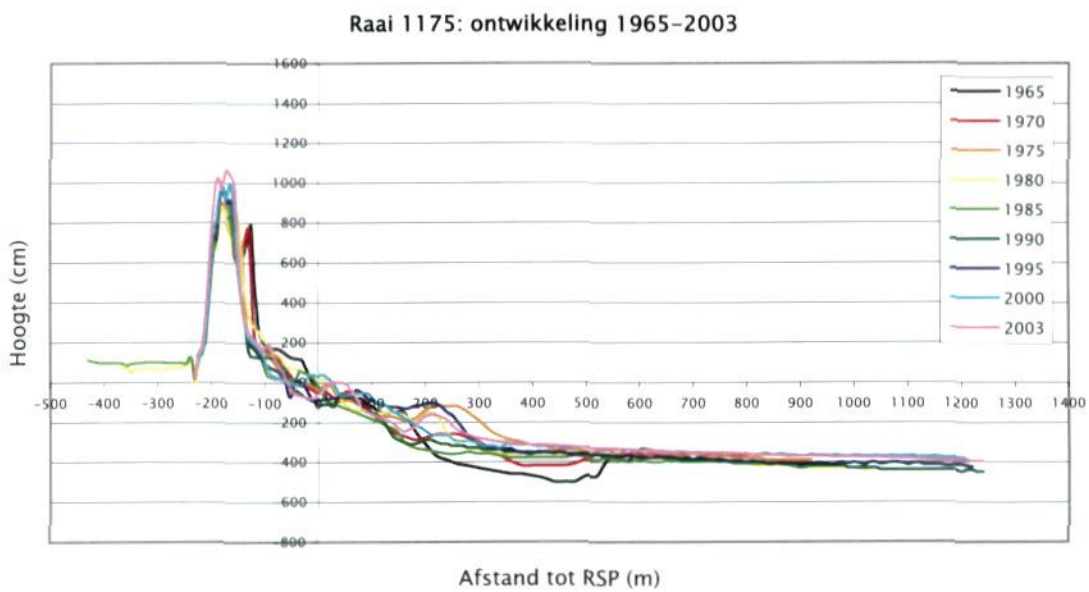
In het profiel representatief voor kustvak 2 (Afbeelding 11) kan net als in kustvak 1 een geul worden geobserveerd. Ook hier verdwijnt deze geul in de daarop volgende jaren uit het profiel. De algehele helling van het profiel in dit kustvak is minder steil dan in kustvak 1. De volumeveranderingen in het profiel vinden plaats van –150 tot 500 meter ten opzichte van de RSP lijn.

Kustvak 3

In kustvak 3 vinden relatief kleine veranderingen plaats in de ligging van de kustlijn. Slechts in het afgelopen jaar (2005) is een sterke zeewaartse verschuiving in de ligging van de MKL waarneembaar (Afbeelding 9). De veranderingen die zichtbaar zijn in het kustvak hebben geen eenduidige trend. In het begin van de meetperiode (+/- 1975 – begin '80) ligt de MKL zeewaarts van de BKL. Eind jaren '80 en begin jaren '90 ligt de MKL landwaarts van de BKL. Omdat de ligging van de TKL in de buurt en aan de landwaartse zijde van de BKL fluctueert zijn in dit deel strandsuppleties ten behoeve van het behoud van de BKL uitgevoerd in 1994 en 2004 en ten behoeve van de veiligheid in 2004. De suppletie uit 2004 is duidelijk te herkennen in Afbeelding 9.

De raai gekozen als representatieve raai voor kustvak 3 (Afbeelding 12) ligt precies op een omslagpunt waar weinig tot geen variatie in de kustlijn plaats vindt (Afbeelding 8). Dit is ook terug te zien in de profielen van de opeenvolgende jaren die nauwelijks verschillen (Afbeelding 12). De geul die duidelijk zichtbaar was in kustvak 1 en 2 in 1965 is in dit kustvak nog wel te herkennen, maar de geul is minder uitgesproken en verdwijnt na 1970.

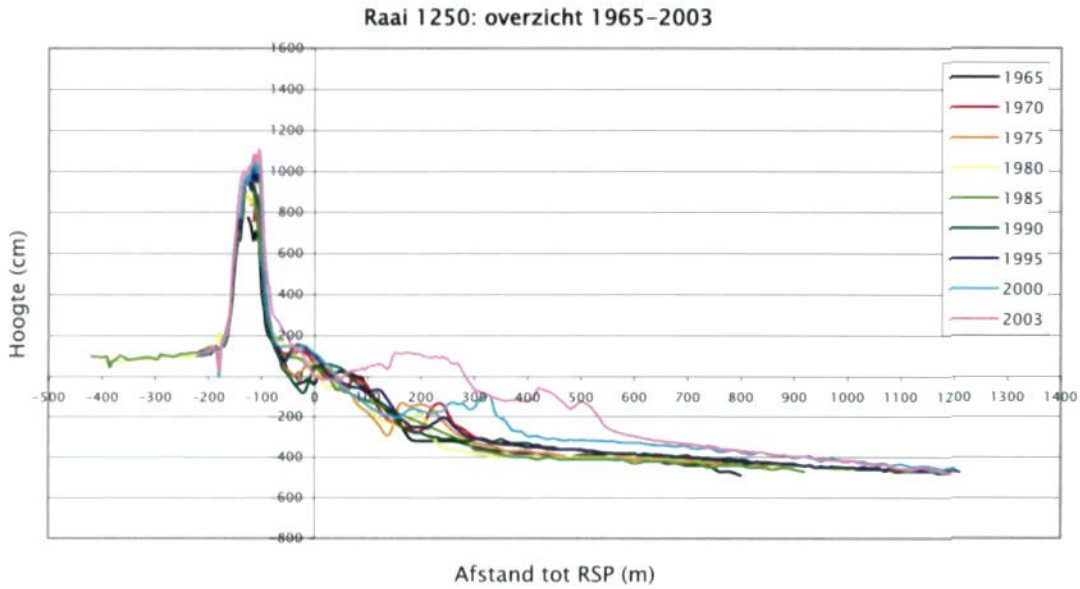
Afbeelding 12 Profielontwikkeling van een raai uit kustvak 3



Kustvak 4

In kustvak 4 vinden relatief weinig schommelingen in de TKL plaats tot aan 2001 (zie Afbeelding 8). Dit beeld komt min of meer ook naar voren in de ligging van de MKL. Tot aan 1993 heeft de kustlijn landwaarts van de BKL gelegen. Vanaf 2002 heeft een sterke kustuitbouw plaatsgevonden met zand dat afkomstig is uit het westelijk gelegen kustvak. De sterke kustuitbouw is ook zichtbaar in de raai 12,50 in Afbeelding 13. De profielen zijn stabiel tot aan 2000. Vanaf 2000 neemt het volume zeewaarts van de RSP sterk toe.

Afbeelding 13 Profielontwikkeling van een raai uit kustvak 4



Ondanks de sterke zeewaartse verschuiving van de kustlijn en de zandvolumes in de laatste jaren is in dit kustvak in 2004 een suppletie ten behoeve van de veiligheid uitgevoerd. Dit was noodzakelijk, omdat het zand te ver zeewaarts in het profiel is gesedimenteerd om bij te kunnen dragen aan vergroting van de veiligheid. Dit is duidelijk te zien in Afbeelding 13. Waarschijnlijk is bij de suppletie van 2004 ten behoeve van de veiligheid het zand aangebracht ter hoogte en landwaarts van de RSP lijn.

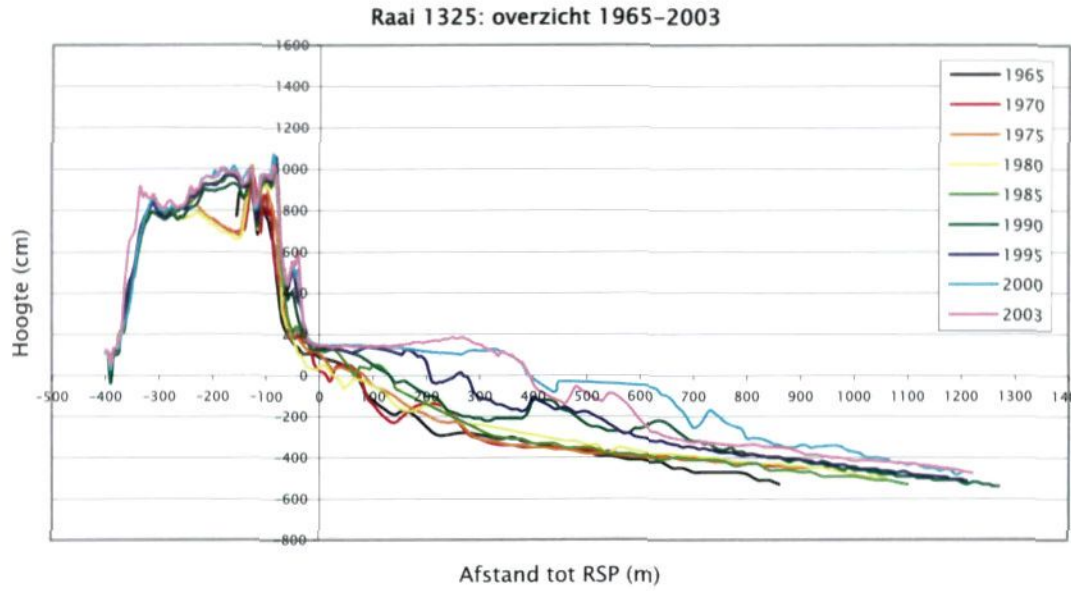
Kustvak 5

De grootste afstand tussen de TKL en BKL komt voor ten westen van het Flaauwe Werk. Dit betekent dat in dit kustvak de grootste 'reserve' aanwezig is wat betreft ligging van de kustlijn. Echter in de periode 1992-2004 verschuift de locatie waar de kustlijn het verst af ligt van de BKL op naar het oosten, dus richting het Flaauwe Werk. Tevens wordt de top breder en lager wat betekent dat het aantal raaien waar de TKL de BKL ruim overschrijdt in de tijd toeneemt, maar dat de afstandsmarge op die locaties afneemt. Uit Afbeelding 9 valt op te merken dat sinds 1975 deze trend al zichtbaar is in de ligging van de MKL. In 2005 heeft deze trend al een positieve invloed op de ligging van de MKL in kustvak 3.

Roelse (2004) spreekt in het suppletieontwerp van 2004 over een grootschalig naar het oosten verplaatsend zandgolfsysteem, ook wel longitudinale zandgolf genoemd. De resultaten in Afbeelding 8 & Afbeelding 9 wijzen hier op.

Kijkend naar de verandering van het dwarsprofiel in kustvak 5 (Afbeelding 14) is te zien dat gedurende de geanalyseerde periode het profiel in de loop der tijd versteilt. Aan de zeewaartse zijde van de RSP zandt het profiel sterk aan, terwijl aan de landwaartse zijde van de RSP het profiel nagenoeg niet verandert. Hierdoor ontstaat landwaarts van de RSP een sterke knik.

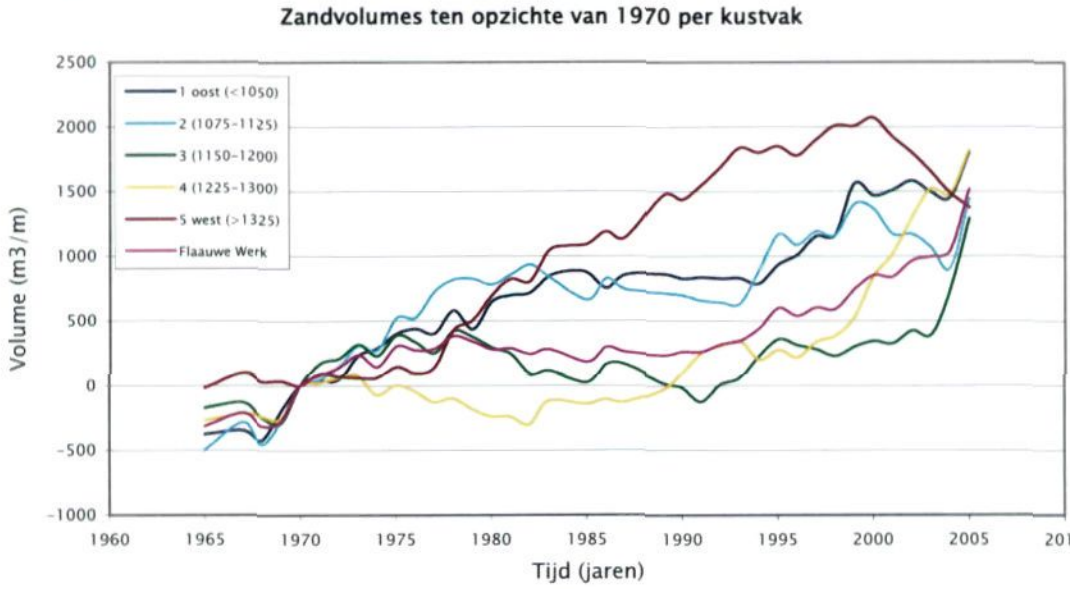
Afbeelding 14 Profielontwikkeling van een raai uit kustvak 5



2.5.2 Ontwikkeling zandvolumes in de tijd

Uit de ontwikkeling van de zandvolumes per strekkende meter per kustvak (zie Afbeelding 15) blijkt dat alle beschouwde kustvakken een toename in het zandvolume tonen ten opzichte van 1970. Over het algemeen vindt voor het Flaauwe Werk dus aanzanding plaats, afgewisseld met stabiele en/ of eroderende periodes.

Afbeelding 15 Ontwikkeling van de zandvolumes ten opzichte van 1970 gemiddeld per kustvak



In de laatste jaren verloopt de aanzanding echter minder snel voor het Flaauwe Werk (kustvak 2 en 3), terwijl hier bovendien suppleties zijn uitgevoerd in 1994 en 2004. De reden voor het uitvoeren van de strandsuppleties in deze kustvakken is niet in de eerste plaats de afname in de aanzanding die kan worden waargenomen, maar de ligging van de kustlijn. Vanaf 1990 wordt namelijk de ligging van de kustlijn getoetst aan de ligging van de BKL. Indien de kustlijn landwaarts van de BKL komt te liggen, dient dit verschil opgeheven te worden met het uitvoeren van strandsuppleties. Aangezien in 1994 en 2004 de te toetsen kustlijn (TKL) landwaarts van de BKL kwam te liggen (zie Afbeelding 8) en om een kustlijn met minimaal de ligging van de BKL te kunnen behouden zijn strandsuppleties uitgevoerd.

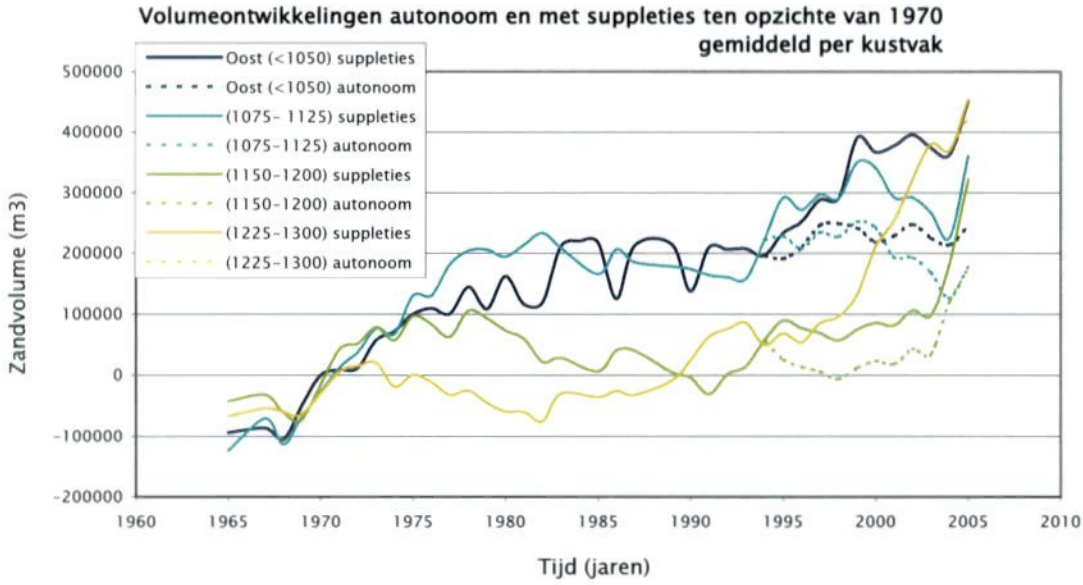
Kijkend naar de gemiddelde ontwikkeling van zandvolumes van het gehele Flaauwe Werk, dan is zichtbaar dat over de gehele meetreeks bekeken aanzanding plaatsvindt. Echter een groot deel van de meetreeks (1977-1994) zijn de netto zandvolume ontwikkelingen voor het Flaauwe Werk relatief constant. De ingezette aanzanding die vanaf 1994 kan worden waargenomen wordt veroorzaakt door een uitgevoerde strandsuppletie.

Hier onder wordt de ontwikkeling van de zandvolumes beschreven per kustvak aan de hand van Afbeelding 15 en Afbeelding 16 waar de invloed van de uitgevoerde suppleties in de kustvakken is weergegeven.

Afbeelding 16 Ontwikkeling van zandvolumes ten opzichte van 1970 met en zonder effect van suppleties (=autonoom) gemiddeld per kustvak

(De uitgezette volumes geven in kustvak 2 (1075-1125) een overschatting van het totale volume, aangezien de raaien in dit deel van het Flaauwe Werk convergeren. Bij de kustvak 1, 3 en 4 lopen de raaien parallel of zijn divergerend. De weergegeven volumes in deze kustvakken geven dus een iets conservatief beeld.

Kustvak 5 wordt in deze figuur niet weergegeven aangezien ten westen van het Flaauwe Werk geen suppleties hebben plaatsgevonden.)



Kustvak 1

Het kustvak ten oosten van het Flaauwe Werk maakt gedurende de gehele periode een groei door, zij het in afwisselend tempo. Het volume groeit gestaag van 1970 tot 1980, waarna het tot 1994 redelijk stabiliseert. Na 1994 maakt het kustvak weer een groei door, onder andere door het uitvoeren van

strandsuppleties. In Afbeelding 16 is te zien dat de periode van stabilisatie hoogstwaarschijnlijk zou zijn voortgezet indien geen strandsuppleties zouden zijn uitgevoerd.

Kustvak 2

Het oostelijk deel van het Flaauwe Werk maakt in de periode 1970-1982 de grootste groei door van alle kustvakken. Na deze periode van aanzanding vindt er tot 1993 een lichte daling in het zandvolume plaats. De sterke sprong die vervolgens zichtbaar is in de volumeontwikkeling wordt deels veroorzaakt door de strandsuppletie die is uitgevoerd in 1994. Vanaf 2000 neemt het aanwezige zandvolume in het kustvak af. Door het uitvoeren van een strandsuppletie in 2004 neemt het zandvolume weer toe. Zou in 2004 geen strandsuppletie zijn uitgevoerd, dan zou het zandvolume in het kustvak verder afgenomen zijn (zie Afbeelding 16).

Kustvak 3

Kustvak 3 krijgt na een periode van aanzanding een eroderend karakter van 1979-1991, waarbij het zandvolume in begin jaren '90 onder het niveau van 1970 komt. Na dit minimum stijgt het zandvolume weer tot 1995. Slechts het laatste deel van deze stijging is te danken aan het uitvoeren van de strandsuppletie in 1994. Na het uitvoeren van de strandsuppletie blijft het zandvolume relatief stabiel. Vanaf 2003 groeit het zandvolume in het kustvak sterk deels door het uitvoeren van een strandsuppletie en deels door het verplaatsen van de longitudinale zandgolf die van west naar oost verplaatst. Zonder het uitvoeren van de strandsuppletie zou het volume iets minder zijn gestegen en vervolgens zou het stabiel zijn gebleven.

Kustvak 4

Het westelijke deel van het Flaauwe Werk zandt een beetje aan tot 1973, waarna het zandvolume afneemt tot aan 1982, en in 1975 onder het basisvolume van 1970 terechtkomt. Het gebied zandt de rest van de meetperiode aan, maar tot aan 1990 blijft het zandvolume onder het niveau van 1970. In de periode 1997 tot 2005 maakt het kustvak een hele sterke groei door. Dit zand is afkomstig uit het gebied ten westen van het Flaauwe Werk, waar een afname in het zandvolume te zien is. Tevens is in 2004 in dit kustvak een zandsuppletie uitgevoerd. Uit Afbeelding 16 kan het effect en gevolg van de uitgevoerde veiligheidssuppletie in 2004 moeilijk worden afgeleid.

Kustvak 5

Het gebied ten westen van het Flaauwe werk heeft de grootste groei doorgemaakt in de gehele meetperiode van alle vakken. De periode waarin deze groei heeft plaatsgevonden is van 1976-2000. Na 2000 is er een aanzienlijke afname te zien in de zandvolumes in dit kustvak die in ieder geval door gaat tot in 2005. De vrijgekomen hoeveelheid zand is met name ten goede gekomen aan kustvak 4 en al deels aan kustvak 3, de kustvakken oostelijk gelegen van kustvak 5. Dit is het gevolg van de naar het oosten verplaatsende longitudinale golf (zie ook Afbeelding 8, Afbeelding 9 en Afbeelding 17).

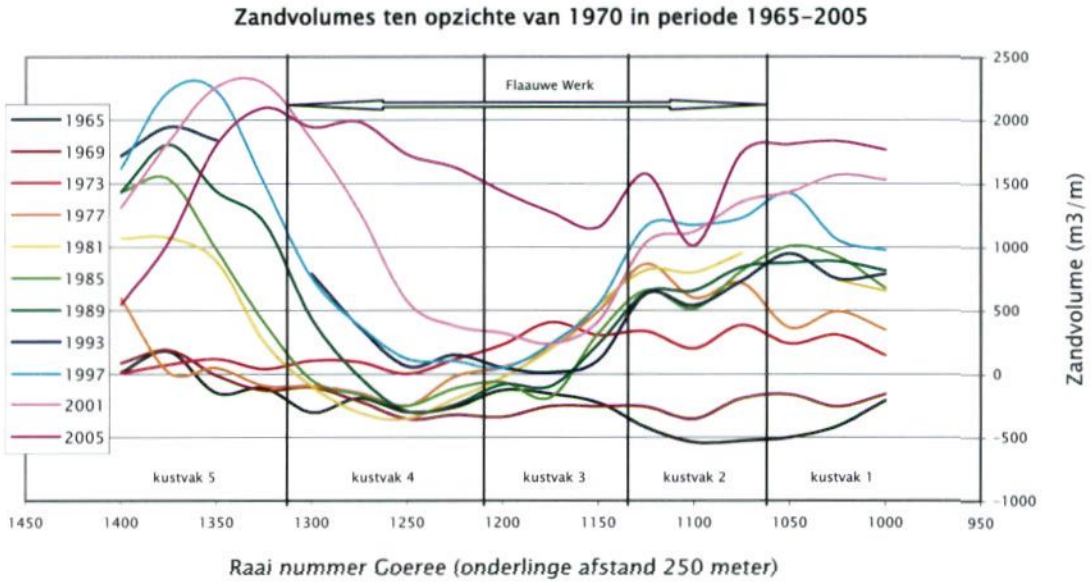
2.5.3 Longitudinale zandgolf

Observatie verschijnsel longitudinale zandgolf

In een rapport van RIKZ (Roelse 2004) wordt gesproken van een van west naar oost verplaatsende longitudinale zandgolf in het gebied. Een zandgolf is een morfologisch verschijnsel waarbij een hoeveelheid zand zich langs de kust verplaatst. Het ontstaan van de longitudinale zandgolf kan een gevolg zijn van het netto oostwaarts golfgedreven sedimenttransport dat in het gebied aanwezig is sinds de afsluiting van het Haringvliet. Een zandgolf kan goed worden waargenomen als zandvolumes op een bepaalde locatie in de tijd worden uitgezet.

In Afbeelding 17 staan de volumeveranderingen die hebben plaatsgevonden in de gehele analyseperiode ruimtelijk uitgezet tegen de raaien langs de kust van Goeree. In deze afbeelding is de longitudinale zandgolf die zich in het gebied verplaatst goed zichtbaar. Tevens kan worden waargenomen dat de zich naar het oosten verplaatsende zandgolf een verschijnsel is dat al een lange periode in het studiegebied kan worden waargenomen.

Afbeelding 17 De variatie van zandvolumes per strekkende meter t.o.v. 1970 langs de kust van Goeree
(de onderbroken lijnen in 1981 en 1993 zijn het gevolg van een onvolledige meetreeks in deze jaren in de betreffende raaien)



De longitudinale zandgolf kan niet alleen worden waargenomen door het analyseren van de aanwezige zandvolumes in een bepaalde raai. De ontwikkeling van de kustlijn (zie Afbeelding 8 en Afbeelding 9) beschrijft het morfologische verschijnsel door een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn op het moment dat de zandgolf 'langsloopt'.

Kijkend naar de afbeeldingen waarin de zandgolf kan worden waargenomen naar een serie van opeenvolgende jaren dan is op te merken dat de top van de zandgolf zich van west naar oost verplaatst in de loop van de tijd. In de beschikbare meetreeks kan de zandgolf voor het eerst waargenomen worden in 1977 in Afbeelding 17. De zandgolf kan in het gebied dus al bijna 30 jaar waargenomen worden. Indien het netto oostwaarts golfgedreven sedimenttransport langs de kust van Goeree blijft bestaan, is het waarschijnlijk dat de longitudinale zandgolf ook waarneembaar blijft.

Effecten zandgolf verleden en huidig

In het jaar 2005 heeft de zandgolf een positief effect op de waterkerende functie van het Flaauwe Werk in kustvak 3 & 4 aangezien de zandvoorraad voor het Flaauwe Werk is toegenomen. De piek van de zandgolf ligt echter nog steeds in kustvak 5. Indien dit verschijnsel blijft bestaan kan deze zandgolf de komende jaren een positief effect blijven hebben op de waterkerende functie van het Flaauwe Werk. In Afbeelding 8 is bovendien zichtbaar dat ten westen van het meest westelijk beschouwde kustvak een nieuwe zandgolf het analysegebied binnen komt lopen.

De verplaatsingssnelheid van de zandgolf kan uit Afbeelding 8, Afbeelding 9 en Afbeelding 17 worden afgeleid. Iedere afbeelding representeert echter óf een andere tijdsperiode, óf een andere parameter, namelijk TKL, MKL en zandvolumes. De loopsnelheid van de zandgolf is aan de hand van alle drie de afbeeldingen bepaald, om een indicatie te krijgen van de werkelijke loopsnelheid van de zandgolf. Hiermee kan een voorspelling worden gemaakt van het moment wanneer het morfologische verschijnsel een positieve uitwerking kan hebben op de aanwezige zandvolumes en de kustlijn voor het Flaauwe Werk. Voor het bepalen van de loopsnelheid zijn de snelheid van de 'piek' van de zandgolf en het 'front' van de zandgolf (maximale helling aan oostelijke zijde) bepaald. De resultaten van deze analyse zijn zichtbaar in Tabel 3.

Tabel 3 Loopsnelheid longitudinale zandgolf volgens verschillende parameters en tijdsperiodes.

Afbeelding [#]	Tijdsperiode [jaren]	Parameter	*Loopsnelheid* piek [m/j]	*Loopsnelheid* front [m/j]
Afbeelding 8	1992 – 2004 (12 jaar)	TKL - BKL [m]	85	87,5
Afbeelding 9	1975 – 2005 (30 jaar)	MKL t.o.v. RSP [m]	29	51
Afbeelding 17	1981 – 2005 (24 jaar)	Zandvolume t.o.v. 1970 [m^3/m]	16	58

In alle gevallen blijkt dat de verplaatsing van de piek met een kleinere snelheid plaatsvindt dan de verplaatsing van het front. Dit heeft te maken met de vormverandering van de zandgolf die door de jaren heen op is getreden. De zandgolf is namelijk over het algemeen breder geworden in oostelijke richting. Dit proces is met name zichtbaar sinds 2002. Mede hierdoor zijn de gevonden waarden van de loopsnelheid van de zandgolf groter in Afbeelding 8 waarin een kortere tijdsperiode staat afgebeeld.

Het verschil in berekende loopsnelheid tussen de grafieken kunnen bovendien nog twee oorzaken hebben:

- In de eerste jaren dat de top zichtbaar is in Afbeelding 9 en Afbeelding 17 neemt met name respectievelijk de ligging van de MKL en het volume toe en verplaatst de zandgolf nauwelijks naar het oosten. Pas vanaf 1996/ 1997 vindt een aanzienlijke verschuiving plaats in de locatie van de maximale MKL/ het maximale volume.
- De gegevens die in Afbeelding 8 en Afbeelding 9 zijn uitgezet zijn verkregen door berekeningen in een ander deel van het profiel dan de gegevens uit Afbeelding 17. De BKL, TKL en MKL worden namelijk aan de hand van de BKL zone bepaald (NAP +1m tot NAP –3m), terwijl de volumes voor het Flaauwe Werk zijn berekend vanaf de duintop (NAP +6 tot 10m) tot 800 meter zeewaarts (NAP –2,5 tot NAP –4m).

N.B. Het voorbijkomen van een zandgolf kan door de wijze van berekening van de TKL gevolgen hebben voor de werkelijke ligging van de kustlijn. Doordat een zandgolf in een bepaalde raai/ kustvak terechtkomt neemt het zandvolume toe en verplaatst over het algemeen de ligging van de kustlijn naar zee. Dit proces kan in een raai/ kustvak enkele jaren aanhouden, totdat de top van de zandgolf de raai/ het kustvak heeft bereikt. In de hierop volgende periode vindt hoogstwaarschijnlijk een sterke afname in het zandvolume plaats en zal de kustlijn zich landwaarts verplaatsen. Op dit 'omslagpunt' zal de TKL, vanwege de aanzandende trend uit het verleden, naar een zeewaarts punt geëxtrapoleerd worden. Dit terwijl de ligging

van de MKL op dat moment in theorie al weer landwaarts van de BKL kan liggen. Het zal enkele jaren duren voordat de geëxtrapoleerde ligging van de TKL verder landwaarts zal komen te liggen dan de TKL van het vorige jaar in plaats van zeewaarts. Hiermee zal met het ontwerp van strandsuppleties in de toekomst rekening gehouden moeten worden.

Verwachte effecten zandgolf

Het 'langslopen' van de zandgolf is een autonome ontwikkeling waar voor de voorspelling van de onderhoudsbehoefte van de referentiesituatie rekening mee kan worden gehouden. Met behulp van de loopsnelheid van de longitudinale zandgolf, die is weergegeven in Tabel 3, is te voorspellen gedurende welke periode de zandgolf een positief effect kan hebben op een bepaald kustvak en wanneer de zandgolf naar verwachting geen effect meer heeft. Een dergelijke voorspelling zal in kustvak 4, het kustvak waar de zandgolf op dit moment aanwezig is, beter verlopen dan de voorspelling voor kustvak 1, welke het verste af ligt van de huidige ligging van de top van de golf. In de loop van de tijd zal de zandgolf namelijk kunnen vervormen, in volume afnemen doordat een hoeveelheid zand eventueel uit het systeem verdwijnt en/ of een andere loopsnelheid aannemen. Al deze factoren beïnvloeden het uiteindelijke effect dat de zandgolf kan hebben op de ligging van de BKL in een bepaald kustvak.

In Tabel 3 worden 3 verschillende loopsnelheden van de zandgolf gepresenteerd met 3 verschillende parameters. De onderhoudsbehoefte dient voorspeld te worden voor ten behoeve van het onderhoud van de kustlijn. De kustlijn mag immers niet landwaarts van de BKL komen te liggen. Om die reden is de loopsnelheid van de zandgolf die afgeleid kan worden uit de kustlijnparameters (dus Afbeelding 8 en Afbeelding 9) hoogstwaarschijnlijk het best bruikbaar. Daarom zal de loopsnelheid van de zandgolf, afgeleid uit Afbeelding 17 niet worden meegenomen in de voorspelling van verwachte positieve effecten van de zandgolf.
Eén van grafieken waarin de kustlijnparameters staan weergegeven (Afbeelding 8 en Afbeelding 9) beslaat echter een langere tijdsperiode, waaruit blijkt dat de gemiddelde loopsnelheid van de zandgolf lager is dan wanneer een korte tijdsperiode wordt beschouwd. Dit heeft te maken met de vormverandering die in de loop der tijd heeft opgetreden. Omdat onbekend is hoe de zandgolf zich in de komende jaren zal gaan ontwikkelen wordt de gemiddelde waarde van de loopsnelheid van front en piek gebruikt uit Afbeelding 8 en Afbeelding 9 die de ligging van de kustlijn representeren.

Uit de verschillende afbeeldingen waarin de zandgolf zichtbaar is kan worden afgeleid dat de piek in 2005 ter hoogte van raai 13,30 ligt. Het front van de zandgolf ligt ter hoogte van raai 12,10. Met de bijbehorende gemiddelde loopsnelheid van het front van 69 m/j en een gemiddelde loopsnelheid van de piek van 57 meter/jaar kan worden berekend op welk tijdstip front en piek een bepaald kustvak bereiken. De berekende tijdshorizonten staan weergegeven in Tabel 4.

Vanwege de onzekerheid van de werkelijke loopsnelheid van de zandgolf zal bij de inschatting van de onderhoudsbehoefte alleen rekening gehouden worden met een positief effect van de zandgolf in de eerste 25 jaar van de planperiode. Hoe de zandgolf in de hierop volgende periode zich zal gaan ontwikkelen is onzeker. In de voorspelling wordt daarom na 25 jaar (dus tot 2030) geen rekening gehouden met de zandgolf.
Hoe in de voorspelling van de onderhoudsbehoefte rekening is gehouden met het verwachte positieve effect van de zandgolf wordt in paragraaf 2.7.4.1 uitgewerkt.

Tabel 4 Tijdshorizon waarin naar verwachting de piek en het front van de zandgolf de grenzen van de kustvakken zullen bereiken.

Tijdshorizon (jaren)					
	Oost	Flaauwe Werk			West
	Kustvak 1 (<1050)	Kustvak 2 (1075-1125)	Kustvak 3 (1150-1200)	Kustvak 4 (1225-1300)	Kustvak 5 (>1325)
PIEK					
Piek bereikt westgrens	49	36	23	5	al aanwezig
Piek bereikt oostgrens	58	45	32	18	1
FRONT					
Front bereikt westgrens	23	12	1	al aanwezig	al aanwezig
Front bereikt oostgrens	30	20	9	al aanwezig	al aanwezig

2.5.4 Invloed strandhoofden op morfologie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de aanwezige strandhoofden voor het Flaauwe Werk en de invloed van de strandhoofden op de morfologie.

2.5.4.1 Strandhoofden voor het Flaauwe Werk

Strandhoofden zijn smalle lange (tot 300 meter) constructies loodrecht tot schuin op de kust en strekken zich uit tot aan de laagwaterlijn. Ze kunnen om verschillende redenen worden aangelegd:

- Om een (potentiële) geul op afstand uit de kust te houden;
- Om de kustlangse stroming te verminderen, zodat het zand tussen beide strandhoofden blijft en dus kustachteruitgang tegen gaat (Van Rijn, 1998).

Voor de zeedijk het Flaauwe Werk liggen negen strandhoofden (zie Afbeelding 18 en Afbeelding 19) die aansluiten op de zeedijk. In het verleden hebben minimaal 11 strandhoofden voor het Flaauwe Werk gelegen. De eerste strandhoofden op de huidige locatie van het Flaauwe Werk, bestaande uit rijzenhout, stammen uit het begin van de 18de eeuw. Halverwege de 19de en 20ste eeuw worden extra strandhoofden aangelegd, waarbij in het laatste geval de bestaande strandhoofden worden verbeterd. De huidige bekleding van de strandhoofden bestaat uit diverse soorten zetsteen, ingegoten met gietasfalt.

De primaire functie van de strandhoofden is het op een afstand houden van een (potentiële) geul en daarmee het risico van erosie en eventuele ondergraving van de dijk te verminderen. De negen nog aanwezige strandhoofden voor het Flaauwe Werk liggen op de locatie waar het Flaauwe Werk het verst zeewaarts ligt tussen raai 11,75 en raai 13,00. Strandhoofden zijn dus aanwezig in het gehele kustvak 4 en deels in kustvak 3. Uit een ontwerptekening van een aanpassing van één van de strandhoofden blijkt dat de lengte van deze strandhoofden niet sterk varieert (RWS, 1954). Uit een tekening van de verlenging van de strandhoofden uit 1987 blijkt dat strandhoofd 5 een lengte heeft van 200 meter (RWS, 1987). Deze lengte wordt aangehouden voor alle strandhoofden. De teen van de strandhoofden ligt op ongeveer NAP – 0,4 m en de strandhoofden sluiten aan op het Flaauwe Werk op ongeveer NAP +1,3 m.

Vanaf 1981/1982 is het strand dusdanig verlaagd dat de strandhoofden achterloops zijn geworden (Robijn, 1986). Deze verlaging in het strand wordt in de ontwerpstaat gespecificeerd: ter hoogte van strandhoofd 5 is er sprake van aanzanding, terwijl bij strandhoofd 7 het strand zeer laag ligt en bij standhoofd 9 het strand wordt verlaagd (Robijn, 1987). De hoogteligging van het strand wisselt dus sterk. Volgens de beheerder in 1987 moest de gemiddelde hoogte van het strand minimaal op NAP liggen (Johanson, 1987). De achterloopsheid die is ontstaan door de beschreven verlaging resulteert in het ontstaan van muistromen relatief dicht bij de kust. Er zijn muien geobserveerd die zich kunnen verdiepen tot circa NAP – 1,3 m (Johanson, 1987). Daarom zijn in 1987 de strandhoofden om en om achterwaarts verlengd zodat ze aansluiten op de zeedijk het Flaauwe Werk (Robijn, 1986).

2.5.4.2 *Morfologische invloed strandhoofden*

Naast het uit de kust houden van een (potentiële) geul zouden de strandhoofden voor het Flaauwe Werk het kustlangse zandtransport kunnen reduceren. Of dit het geval is kan worden afgeleid uit de morfologische studie, uit de beschrijving van de morfologie ter plaatse van de strandhoofden uit de rapporten van de aanpassingswerkzaamheden (zie vorige alinea) en de luchtfoto's van de kust (Afbeelding 18 tot en met Afbeelding 20).

Afbeelding 18 Strandhoofden voor het Flaauwe Werk nabij paal 14.00 (RIKZ, 1993)

Afbeelding 19 Strandhoofden voor het Flaauwe Werk nabij paal 13.50 (RIKZ, 1999)

Afbeelding 20 Strandhoofden voor het Flaauwe Werk (bedekt met zand), opname in september 2005

In Afbeelding 18 is zichtbaar dat de strandhoofden in 1993 deels bedekt zijn met zand. De strandbreedte is in 1993 in vergelijking met 1999 klein. Bij een veldbezoek in december 2005 bleken de strandhoofden

geheel onder het zand verdwenen te zijn (ook zichtbaar in Afbeelding 20). Het bedekken van de strandhoofden is grotendeels het gevolg van het uitvoeren van een suppletie ten behoeve van de veiligheid in dit kustvak in 2004.

Kijkend naar Afbeelding 15, de ontwikkeling van de zandvolumes in de tijd, dan blijkt dat in de periode 1970-1990 het zandvolume in kustvak 4 onder het niveau van 1970 is komen te liggen. In afbeelding 4 is te zien dat de zandvolumes in dit kustvak toenemen sinds 1989 door het 'langslopen' van de zandgolf. De stijgende trend die sinds 1982 in afbeelding 24 te zien is wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door het langslopen van de zandgolf en heeft weinig te maken met de werking van de strandhoofden. De periode vóórdat de zandgolf in kustvak 4 aanwezig was kan als representatieve periode gebruikt worden om de eventuele werking van de strandhoofden te onderzoeken.

In de periode 1973-1982 vindt in kustvak 4 een gemiddelde afname van het zandvolume van 39 (m^3/m)/jaar plaats. In de daarop volgende periode 1982-1993 vindt een positieve volumeverandering van 55 (m^3/m)/jaar plaats, deels veroorzaakt door de sinds 1989 in het kustvak aanwezige zandgolf. De waargenomen verlaging in het strand die is ingezet in 1981/1982 (Robijn, 1986) kan dus niet worden opgemerkt uit de volumeveranderingen. Opgemerkt dient te worden dat de volumeveranderingen in Afbeelding 15 gemiddelde waarden voor het gehele kustvak aangeven en dat de beschreven verlaging van het strand een lokaal verschijnsel is.

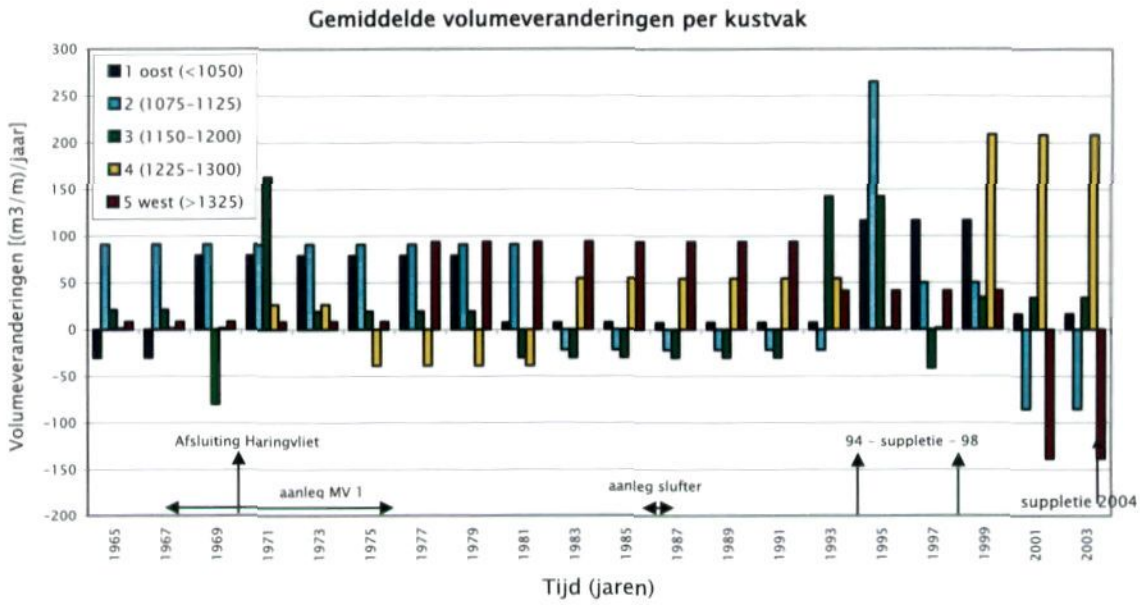
In het begin van de jaren 80 hebben werkzaamheden aan de dijk en de strandhoofden plaatsgevonden. De aangebrachte veranderingen kunnen een bijdrage hebben geleverd aan de vermindering van het ontstaan van muistromen en daarmee aan de geobserveerde positieve volumeveranderingen.
Er blijkt dus dat zowel negatieve als positieve volumeveranderingen in kustvak 4 plaatsgevonden hebben. Hieruit blijkt dat de aanwezigheid van strandhoofden niet zonder meer resulteert in een aanzandend kustvak en dat een eventuele secundaire functie van de strandhoofden, het verminderen van kustlangs transport onzeker is.
Echter rekening moet worden gehouden met het feit dat de periode waar gegevens over bekend zijn relatief kort is vergeleken met de periode waarin de strandhoofden voor het Flaauwe Werk aanwezig zijn. Wellicht hebben de strandhoofden in de periode vóór de beschikbare meetreeks beter gefunctioneerd met betrekking tot het vasthouden van zand.

De primaire functie van de strandhoofden, het op afstand houden van een geul blijken de strandhoofden wel te vervullen indien Afbeelding 10 tot en met Afbeelding 14 in beschouwing worden genomen. In kustvak 1 tot en met 3 is in het begin van de meetreeks een geul in het profiel te zien. Bij raai 11,75 in kustvak 3 is de geul aanzienlijk minder diep dan in de andere kustvakken. Ten westen van raai 11,75 zijn de strandhoofden aanwezig en kan in kustvak 4 geen geul geobserveerd worden. De primaire functie van deze strandhoofden wordt dus goed vervuld.

2.6 Koppeling ingrepen en volumeontwikkelingen

De gemiddelde volumeveranderingen die in de meetperiode hebben plaatsgevonden in ieder kustvak staan weergegeven in Afbeelding 21. De ingrepen die in het verleden hebben plaatsgevonden staan tevens in deze afbeelding geplot, zodat een eventuele koppeling gemaakt kan worden tussen de grootschalige ingrepen in de Haringvlietmonding en de morfologische ontwikkelingen nabij het Flaauwe Werk.

Afbeelding 21 Gemiddelde zandvolume veranderingen per kustvak per jaar.
(De gedane ingrepen in de analyseperiode staan weergegeven in de afbeelding)



2.6.1 Afsluiting Haringvliet

Kijkend naar de grootte van de aanzandende trend in de kustvakken vóór en na het afsluiten van het Haringvliet in Afbeelding 15, dan kan geen duidelijk verschil in aanzandingssnelheid worden waargenomen. De beschikbare meetperiode vóór het afsluiten van het Haringvliet is erg kort én kan tevens beïnvloed zijn door de al in gang zijnde werkzaamheden (sinds 1957) bij het bouwen van de dam.

Na afsluiting van het Haringvliet kunnen op korte termijn geen grote duidelijk waarneembare veranderingen in de gemiddelde volumeveranderingen die plaatsvinden in de kustvakken nabij het Flaauwe Werk worden geobserveerd in Afbeelding 21. Alleen in kustvak 3 is een stijging in het zandvolume aanwezig in de periode 1969-1972. Dit is een relatief kortdurende trend en kan een lokaal verschijnsel zijn. Tevens maakt kustvak 4 een korte aanzandende periode door vanaf 1971 tot 1973.
De beschreven aanzanding in literatuur en rapporten (zie paragraaf 2.4) die in de gehele Haringvlietmonding is waargenomen na afsluiting van het Haringvliet op de lange termijn kan over het algemeen ook worden geobserveerd nabij het Flaauwe Werk. Kustvakken 1, 2 en 5 vertonen namelijk de eerste 15 jaar na afsluiting een aanzandende trend. Kustvak 4 daarentegen vertoont vlak na de afsluiting een afname in het zandvolume, en kustvak 3 vertoont een afname vanaf eind jaren 70 (zie Afbeelding 15). In beide kustvakken nemen de zandvolumes uiteindelijk weer toe. Kijkend naar het Flaauwe Werk als geheel dan vindt over de gehele periode aanzanding plaats. De aanzanding is echter minimaal en tot 1994

blijft het gemiddelde volume voor het Flaauwe Werk stabiel. De aanzandende trend in de laatste jaren wordt veroorzaakt door het uitvoeren van suppleties.

Over het algemeen kan dus gesteld worden dat de aanzanding die is ingezet door het afsluiten van het Haringvliet geobserveerd kan worden in de naast het Flaauwe Werk gelegen kustvakken (kustvak 1 en 5). Voor het Flaauwe Werk (kustvakken 2, 3 en 4) is de aanzanding minimaal aanwezig en blijft het zandvolume nagenoeg stabiel.

Door het afsluiten van het Haringvliet is voor de kust van Goeree een netto oostwaarts golfgedreven transport ontstaan. Het effect van dit golfgedreven transport is het ontstaan van een langs de kust van Goeree lopende longitudinale zandgolf die zichtbaar is vanaf 1977. Het is mogelijk dat de zandgolf enkele jaren eerder in kustvak 5 aanwezig was, gezien het feit dat de data om de vier jaar wordt gepresenteerd in Afbeelding 17.
De sprong in de volumeontwikkeling die in 1977 zichtbaar is in kustvak 5 (Afbeelding 21) kan het gevolg zijn van de zandgolf die het kustvak in komt 'gelopen'. Gelijktijdig met de waarneming van de zandgolf in Afbeelding 17 kan namelijk deze sterke volumeontwikkeling worden waargenomen. Dit verklaart ook waarom in 1977 alleen in kustvak 5 een verandering in volumeontwikkelingen optreedt en niet in de andere kustvakken. In de overige kustvakken blijft namelijk de trend gelijk in de jaren voor en na 1977.

Het verdwijnen van de geul in Afbeelding 10 tot en met Afbeelding 14 in kustvak 1 tot en met 3 kan te maken hebben met het afsluiten van het Haringvliet. In de drie oostelijke kustvakken is de geul namelijk zichtbaar in de jaren 1965 en 1970, waarna de geul uit het profiel verdwijnt. Door het afsluiten van het Haringvliet heeft in de gehele monding aanzanding plaatsgevonden. Het is goed mogelijk dat de eerste tekenen van de aanzanding zich al tijdens de constructie van de dam voor hebben gedaan en dat dit resulteerde in het opvullen van de geulen.
Mocht het verdwijnen van de geul uit het profiel een direct gevolg zijn van het afsluiten van het Haringvliet, dan is het zeer goed mogelijk dat een dergelijke geul bij de invoering van het scenario Getemd Getij weer in het profiel terechtkomt. Dit zou een ongunstige ontwikkeling zijn voor de ligging van de kustlijn nabij het Flaauwe Werk.

2.6.2 Aanleg Maasvlakte 1

Volgens de beschikbare rapporten heeft het aanleggen van de eerste Maasvlakte geen effect gehad op de kust van Goeree. De aanleg van Maasvlakte 1 heeft deels gelijktijdig plaatsgevonden met de werkzaamheden voor het afsluiten van het Haringvliet. Eventuele effecten die veroorzaakt zijn door de aanleg van Maasvlakte 1 kunnen om deze reden niet apart worden geobserveerd. Aangezien uit de rapporten en theorie blijkt dat het effect van het Haringvliet op de kust van Goeree vele malen groter is dan het effect van de aanleg van Maasvlakte 2, zijn alle geobserveerde veranderingen in het gebied in die periode geplaatst bij het Haringvliet. Het is echter heel goed mogelijk dat de aanleg van Maasvlakte 1 ook een aandeel heeft gehad in de oorzaak van de waargenomen volumeveranderingen.

2.6.3 Aanleg Slufter

De aanleg van de slufter kan in geen van de kustvakken worden geobserveerd. Volgens de beschikbare rapporten heeft de aanleg van de Slufter geen invloed gehad op het Flaauwe Werk.

2.6.4 Suppleties

De strandsuppleties van 1994 (raai 1025-1200, 505.678 m^3) en 2004 (raai 1025-1275). 850.000 m^3) hebben een aanzienlijk effect gehad op de ontwikkeling van de volumeveranderingen in de betreffende kustvakken. De invloed van de strandsuppletie van 1998 (raai 925-1075, 745.376 m^3) is minder uitgesproken in de ontwikkeling van de volumeveranderingen, maar is wel zichtbaar in de verandering van de ligging van de kustlijn (Afbeelding 8). De effecten van de uitgevoerde suppleties zijn eerder aan bod gekomen in paragraaf 2.5.1 en 2.5.2 waarin de effecten van de suppleties op de kustlijnontwikkeling en de ontwikkeling van de zandvolumes aan bod komt.

2.7 Bepaling onderhoudsbehoefte referentiesituatie

Een inschatting van het verwachte onderhoud van de kustzone is van belang om te kunnen bepalen wat de onderhoudskosten van de verschillende inrichtingsalternatieven zullen zijn. Bij de inschatting van het onderhoud wordt onderscheid gemaakt tussen het verwachte onderhoud in het geval van toekomstige autonome ontwikkeling en het verwachte onderhoud in het geval van de geplande ingrepen. Beide effecten worden omgeven door onzekerheden (zie paragraaf 2.9). In de volgende paragrafen wordt toch geprobeerd een inschatting te maken van het verwachte onderhoud.
De onderhoudsbehoefte is bepaald op basis van de volgende punten:

- gemiddelde negatieve volumeveranderingen in het verleden;
- autonome ontwikkeling;
- verwachte effecten zandgolf komende jaren.

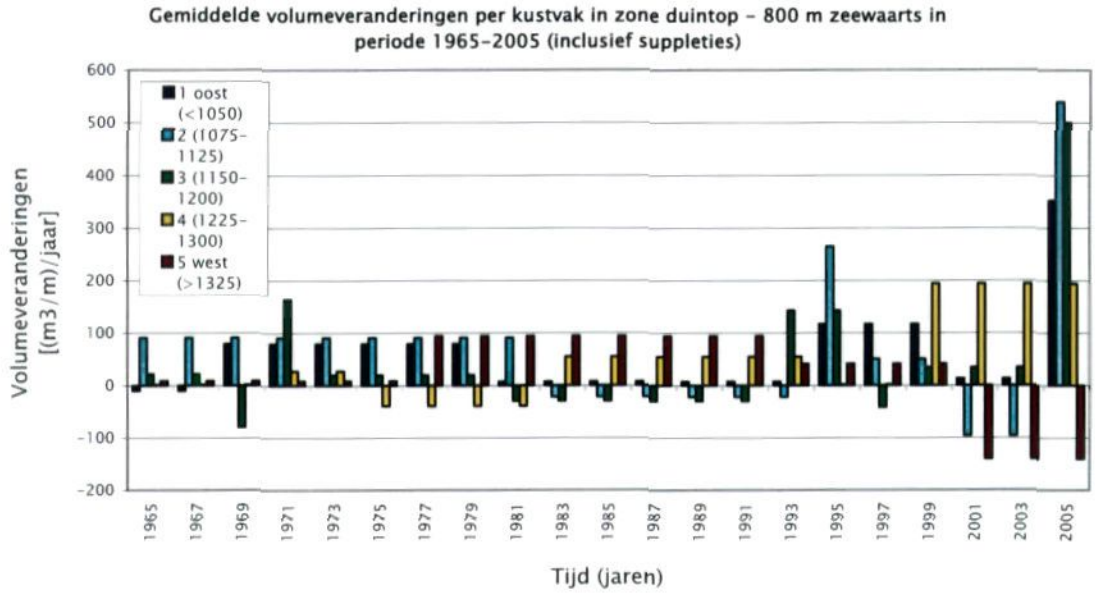
2.7.1 Gemiddelde negatieve volumeveranderingen

De gemiddelde volumevariaties die zijn opgetreden tijdens de analyseperiode worden in onderstaande tabel per kustvak gepresenteerd (zie ook Afbeelding 21). Deze ontwikkeling van de zandvolumes als basis gediend voor het inschatten van de toekomstige onderhoudsbehoefte. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.3.4.2. zijn we geïnteresseerd in de gemiddelde negatieve volumeveranderingen die zijn opgetreden in het verleden op basis waarvan een onderhoudsbehoefte wordt ingeschat.

Tabel 5 Volumeveranderingen in zone duintop tot 800 m zeewaarts in periode 1965 - 2005

Inclusief effect van suppleties									
Kustvak 1 oost (1000-1050)		**Kustvak 2 (1075-1125)**		**Kustvak 3 (1150-1200)**		**Kustvak 4 (1225-1300)**		**Kustvak 5 west (1325-1400)**	
periode	volume verandering [(m3/m)/jaar]	periode	volume verandering [(m3/m)/jaar]	periode	volume verandering [(m3/m)/jaar]	periode	volume verandering [(m3/m)/jaar]	periode	volume verandering [(m3/m)/jaar]
1965-1968	-10,00	1965-1982	91,18	1965-1967	21,00	1965-1969	1,25	1965-1976	8,18
1968-1980	79,17	1982-1993	-21,82	1967-1969	-80,00	1969-1970	252,60	1976-1992	93,75
1980-1994	7,14	1993-1995	265,00	1969-1972	163,33	1970-1973	26,67	1992-2000	41,25
1994-2000	116,67	1995-1999	50,00	1972-1979	19,29	1973-1982	-38,89	2000-2005	-140,00
2000-2004	12,50	1999-2004	-96,00	1979-1991	-30,00	1982-1993	54,55		
2004-2005	352,43	2004-2005	539,74	1991-1995	142,50	1993-1997	1,25		
				1995-1998	-41,67	1997-2005	193,75		
				1998-2003	34,00				
				2003-2005	500,00				
Jaargemiddeld	53,1	Jaargemiddeld	52,5	Jaargemiddeld	44,1	Jaargemiddeld	53,6	Jaargemiddeld	30,5
Gemiddelde negatieve verandering	**-10,0**	Gemiddelde negatieve verandering	**-45,0**	Gemiddelde negatieve verandering	**-40**	Gemiddelde negatieve verandering	**-40**	Gemiddelde negatieve verandering	**-140,0**

Afbeelding 22 Gemiddelde volumeveranderingen per kustvak per jaar van 1965-2005



Kustvak 1 tot en met 4

De gemiddelde negatieve volumeveranderingen die in kustvak 1 tot en met 4 plaatsvinden liggen tussen de –10 en –45 (m^3/m)/ jaar. Deze negatieve volumeveranderingen kunnen echter wel een belangrijke invloed hebben op het verschil tussen TKL en BKL, omdat het verschil hiertussen in de drie kustvakken voor het Flaauwe Werk niet ruim is (zie Afbeelding 8 en Afbeelding 9). De waarden zullen daarom gebruikt worden voor de inschatting van de onderhoudsbehoefte van de referentiesituatie.

Kustvak 5

Een opvallende waarde in Tabel 5 bij de gemiddelde negatieve volumeveranderingen is de grote afname van 140 (m^3/m)/jaar die heeft plaatsgevonden in kustvak 5. Deze grote afname heeft te maken met het voorbij komen van de top van de zandgolf gedurende de meetperiode, waardoor in kustvak 5 op dit moment (2005) een sterke afname plaatsvindt. Kijkt men echter in Afbeelding 8 en Afbeelding 9 dan is te zien dat ondanks de aanzienlijke afname in het zandvolume de TKL & MKL nog steeds ruim zeewaarts van de BKL liggen. Het gebruik van de waarde van 140 (m^3/m)/jaar als onderhoudsbehoefte van dit kustvak lijkt daarom ook niet representatief. Op basis van de gebruikte methode is het echter ook niet mogelijk om een andere onderhoudsbehoefte in te schatten.

Om de gebruikte methode consequent door te voeren wordt daarom toch een onderhoudsbehoefte van 140 m^3/m gehanteerd voor kustvak 5, met als kanttekening dat deze waarde niet realistisch is. Kustvak 5 valt echter buiten het Flaauwe Werk en zal in het MER niet meegenomen worden voor de inschatting van de onderhoudsbehoefte. Deze extreem hoge waarde heeft dus geen consequenties voor de vergelijking van de alternatieven in het MER.

2.7.2 Toekomstige autonome ontwikkelingen

Autonome ontwikkeling door ingrepen

Met de toekomstige autonome ontwikkeling wordt de ontwikkeling bedoeld die het gebied door zou maken indien geen ingrepen (dus ook geen suppleties) plaatsvinden. De ontwikkeling in het verleden en de

huidige trend die geobserveerd is in de beschikbare data, samen met de theoretische kennis over hoe het gebied zich in de toekomst zal ontwikkelen, is gebruikt om een voorspelling te doen voor de toekomst.

Aangezien volgens Tönis et al. (2002) de Haringvlietmonding zijn evenwichtsvolume grotendeels heeft bereikt, valt in de toekomst geen sterke aanzanding in het gebied meer te verwachten. Wel is het waarschijnlijk dat het in gang gezette west oost transport langs de kust van Goeree zal blijven bestaan, aangezien het aandeel van de golven op het transport niet zal veranderen, omdat het getijvolume gelijk blijft. Om die reden wordt bij de inschatting van de onderhoudsbehoefte rekening gehouden met een positief effect van de zandgolf.

Zeespiegelstijging
In de toekomst wordt gedurende de planperiode een zeespiegelstijging verwacht van 30 cm. Dit heeft effecten op de zandbalans van het kustsysteem. Een deel van de zandreserves aan de zeezijde van het rekenvenster komt namelijk buiten het rekenvenster van de BKL te liggen (uitleg zie kader bijlage 2), waardoor de beschikbare zandreserves afnemen. Als uitgangspunt in de veiligheidsberekeningen is gesteld dat de bodem de zeespiegelstijging volgt. Indien dit niet het geval is en door de stijging van het gemiddeld zeeniveau de BKL wordt overschreden, zal het ontstane tekorten aangevuld dienen te worden met het uitvoeren van strandsuppleties.
Door een stijging van de zeespiegel zal de zandvraag van estuaria en met name de Waddenzee toenemen. Hierdoor zullen veranderingen optreden in zandtransport door golven en stromingen.
Grove voorspellingen voor de toename van de zandvraag zijn gedaan voor de gehele Nederlandse kust, ingedeeld in deelgebieden, door Mulder (2000). Voor de kleine kustzone het Flaauwe Werk is in de betreffende studie uiteraard geen voorspelling gedaan. Vaststaat dat als gevolg van zeespiegelstijging de zandvraag in het kustvak toe zal nemen. Hierdoor zullen wellicht grotere zandvolumes benodigd zijn dan met behulp van de negatieve volumeveranderingen wordt voorspeld.

Aangezien niet bekend is hoe groot het effect van de zeespiegelstijging zal zijn op de onderhoudsbehoefte van de kustlijn nabij het Flaauwe Werk en of de bodem de zeespiegelstijging kan volgen wordt met deze factor geen rekening gehouden. De kans bestaat dus wel dat de voorspelde onderhoudsbehoefte te klein is en door het effect van zeespiegelstijging mogelijk meer gesuppleerd dient te worden.

2.7.3 Ontwikkeling door ingrepen in toekomst

In deze paragraaf worden de eventuele effecten (positief of negatief) van de mogelijke ingrepen in de toekomst op de kustzone van het Flaauwe Werk uiteengezet. Aan de hand van de status en het eventuele effect van de ingreep wordt beargumenteerd of met de ingreep wel of geen rekening wordt gehouden voor het inschatten van de onderhoudsbehoefte. Vanwege het conservatieve karakter van de morfologische voorspelling wordt geen rekening gehouden met eventuele positieve effecten van een ingreep.

Gewijzigd spuiregime Haringvliet
Kier
Aan de hand van de literatuurstudie kan worden geconcludeerd dat de gevolgen van de invoering van de Kier vermoedelijk gering zijn op de morfologie van het Flaauwe Werk. Daarom wordt geen rekening gehouden met eventuele effecten die op zullen treden. Mochten er toch negatieve effecten optreden bij het Flaauwe Werk door het invoeren van de Kier, en deze negatieve effecten kunnen niet opgevangen worden door de geplande suppleties, dan dient voor dit negatieve effect extra gesuppleerd te worden.

Getemd Getij

Het invoeren van het spuiregime Getemd Getij heeft naar verwachting een negatief effect op de morfologische ontwikkeling van het Flaauwe Werk. Of het alternatieve beheer van de Haringvlietsluizen 'Getemd Getij' ingevoerd gaat worden is nog niet zeker. Op dit moment is het spuiregime 'De Kier' nog niet ingevoerd (verwachting 2008). Voordat Getemd Getij ingevoerd gaat worden zal eerst het effect van de Kier geëvalueerd worden. Tevens zal een uitgebreide procedure voorafgaan aan de invoering van Getemd Getij. Op de website van de Haringvlietsluizen wordt gesproken over de volgende stap naar Getemd Getij vanaf 2010. Vanaf die datum zullen de procedures dus eventueel in gang gezet worden. De invoering en datum van invoering van Getemd Getij zijn dus onzeker. Daarom wordt in deze studie ook geen rekening gehouden met het verwachte negatieve effect van de invoering van Getemd Getij op de morfologische ontwikkeling nabij het Flaauwe Werk.

Aanleg Maasvlakte 2

Aan de hand van de literatuurstudie die is uitgevoerd naar de mogelijke effecten van eventueel geplande ingrepen in de toekomst kan worden geconcludeerd dat de aanleg van Maasvlakte 2 een positief effect kan hebben op de kust van Goeree. Gezien het conservatieve karakter van de ingreep wordt met dit eventuele positieve effect geen rekening gehouden in de voorspelling van de onderhoudsbehoefte.

Delta Synergie

Uit de literatuurstudie blijkt dat de invoering van het project Delta Synergie een negatieve invloed kan hebben op de morfologische ontwikkeling van het Flaauwe Werk. De invoering van het project Delta Synergie, een inrichtingsoptie voor de Brouwersdam, is echter onzeker. Op de website van Delta Synergie wordt niet gesproken over te ondernemen stappen met betrekking tot invoering van het project. Gezien de grootte van de ingreep zal voorafgaand aan de invoering van dit plan een procedure plaatsvinden waarin de effecten van Delta Synergie zullen worden bekeken (idem Getemd Getij). In de voorspelling wordt geen rekening gehouden met eventuele negatieve effecten van dit plan, omdat het niet zeker is of het ingevoerd wordt. Mocht na de eventuele invoering blijken dat het project grote negatieve gevolgen heeft op het Flaauwe Werk, dan kan daar op dat moment op in worden gespeeld met aanpassing van de onderhoudssuppleties.

2.7.4 Onderhoudsbehoefte referentiesituatie

2.7.4.1 Bepaling onderhoud referentiesituatie

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat voor de inschatting van de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie uitgegaan wordt van de gemiddelde negatieve volumeveranderingen in een kustvak, gecorrigeerd voor de verwachte positieve effecten van de langs de kust lopende longitudinale zandgolf. Er wordt geen rekening gehouden met de effecten van de zeespiegelstijging en de verwachte effecten van (eventueel) in te voeren ingrepen (zie paragraaf 2.9).

Kustvak 1

Het verwachte onderhoud van dit kustvak is volgens de gebruikte methode 10 (m^3/m)/jaar (zie Tabel 5). Omdat de piek van de zandgolf naar verwachting pas na 49 jaar de westelijke grens van het kustvak zal bereiken, wordt geen rekening gehouden met een eventueel positief effect van de zandgolf. Voor dit kustvak wordt daarom uitgegaan van een suppletievolume van 10 (m^3/m)/ jaar voor de gehele planperiode. In totaal is op basis hiervan is in dit kustvak voor in de periode 2005-2055 een te suppleren volume van 300.000 m^3 nodig (zie Tabel 6).

Kustvak 2

In dit kustvak bedraagt het benodigde onderhoud 45 (m^3/m)/ jaar (zie Tabel 5). Over ongeveer 12 jaar zal het front van de zandgolf de westzijde van het kustvak bereiken. De piek van de zandgolf zal waarschijnlijk pas over ongeveer 36 jaar de westgrens bereiken. In Afbeelding 9 is zichtbaar dat de westelijke uitloper van de zandgolf in het westelijke deel van kustvak 2 al een beperkt positief effect heeft. Vanwege deze observatie wordt een positief effect van de zandgolf op het gehele kustvak verwacht over 15 jaar (2020). Dit positieve effect houdt naar verwachting in ieder geval 5 jaar aan, aangezien het front de oostelijke grens van het kustvak over ongeveer 20 jaar bereikt (2025). Gezien deze verwachte ontwikkelingen wordt beperkt rekening gehouden met een positief effect van de zandgolf van 2020 tot 2030. Voor de overige periodes wordt uitgegaan van een suppletievolume van 45 (m^3/m)/ jaar. Dit resulteert in een te suppleren volume van 1.350.000 m^3 voor de periode 2005-2055 (zie Tabel 1).

Kustvak 3

In dit kustvak is een onderhoud benodigd van ca 40 (m^3/m)/ jaar (zie Tabel 5). Naar verwachting bereikt over ongeveer 9 jaar (2014) het front van de zandgolf de oostzijde van het kustvak. De piek van de zandgolf bereikt naar verwachting over ongeveer 23 jaar (2028) de westgrens van het kustvak. In Afbeelding 9 en Afbeelding 17 kan echter worden opgemerkt dat in de laatste 2 jaar grote volumeveranderingen waarneembaar zijn. Er vindt een toename van het zandvolume en verschuiving van de kustlijn in zeewaartse richting plaats als gevolg van de longitudinale zandgolf. Op basis van bovenstaande wordt de komende 20 jaar in ieder geval een positief effect van de zandgolf op het dit kustvak verwacht. Wordt voor de overige periode uitgegaan van een suppletievolume van 40 (m^3/m)/ jaar dan dient in de periode 2025-2055 een volume van 900.000 m^3 gesuppleerd te worden in dit kustvak (zie Tabel 6).

Kustvak 4

Het verwachte benodigde onderhoud in dit kustvak bedraagt ca 40 (m^3/m)/ jaar (zie Tabel 5). In Afbeelding 9 en Afbeelding 17 is te zien dat met name in de periode vanaf 1997 de ontwikkeling van zandvolumes een toename vertoont en de ligging van de kustlijn sinds 2002 sterk zeewaarts is verplaatst. Beide effecten zijn het gevolg van de zich naar het oosten verplaatsende longitudinale zandgolfsysteem. Rekening houdend met de loopsnelheid van de zandgolf wordt verwacht dat gedurende 15 jaar (tot 2020) de zandgolf een positief effect heeft. Voor de vervolgperiode wordt uitgegaan van een onderhoudsbehoefte van de kustlijn van 40 (m^3/m)/ jaar. In deze periode wordt verwacht dat 1.400.000 m^3 gesuppleerd dient te worden (zie Tabel 6).

Kustvak 5

Zoals in paragraaf 2.7.1 is aangegeven is de gemiddelde negatieve volumeverandering van 140 (m^3/m)/ jaar. Gezien de loopsnelheid van de golf en de vorm van de huidige zandgolf wordt verwacht dat de zandgolf nog zeker 5 jaar een positief effect zal hebben op de ligging van de kustlijn. Kijkend naar het huidige grote verschil tussen MKL/ TKL en BKL dat aanwezig is kan worden aangenomen dat de daarop volgende 5 jaar (tot 2015) geen strandsuppleties nodig zullen zijn. Voor de vervolgperiode wordt uitgegaan van een onderhoudsvolume van 140 (m^3/m)/ jaar. Voor de periode 2015-2055 dient 1.980.000 m^3 gesuppleerd te worden.

Tabel 6 Verwachte te suppleren volumes (m^3/m)/jaar per kustvak voor de komende 50 jaar (≈midden schatting). In geel staat het Flaauwe Werk weergegeven.

Kustvak	Breedte kustvak [m]	Verwachte volumeverandering [(m3/m)/jaar] in periode										Totaal te suppleren volume [m3] in periode 2005-2055 per kustvak
		2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020 2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2050-2055	
1	600	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	300.000
2	750	-45	-45	-45	++	++	-45	-45	-45	-45	-45	1.350.000
3	750	++	++	++	++	-40	-40	-40	-40	-40	-40	900.000
4	1000	++	++	++	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	1.400.000
5	900	++	++	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	5.040.000
Te suppleren volume per periode (5 jaar) [m^3]		198.750	198.750	828.750	860.000	1.010.000	1.178.750	1.178.750	1.178.750	1.178.750	1.178.750	Totaal 8.990.000 m^3

2.7.4.2 *Vergelijking onderhoudsbehoefte met suppleties verleden*

Om inzicht te krijgen of de voorspelde onderhoudsbehoefte voor de referentiesituatie in de vorige paragraaf een realistische inschatting is, zijn de geplande suppletievolumes vergeleken met de in het verleden uitgevoerde suppleties nabij het Flaauwe Werk.

In het verleden zijn in 1994, 1998 en 2004 strandsuppleties uitgevoerd. De suppletievolumes staan in *onderstaande tabel weergegeven. Ondanks dat de uitgevoerde suppleties deels overlappen (zie* Afbeelding 41, bijlage 1) worden de uitgevoerde suppleties als op zich staande gebeurtenissen gezien. Tussen de uitgevoerde strandsuppleties zit namelijk een periode van 4 tot 6 jaar.

Tabel 7 Overzicht uitgevoerde strandsuppleties

Jaar	Uitgevoerde strandsuppletie [m^3]	Afstand uitgevoerde strandsuppletie [m]	Uitgevoerde strandsuppletie [m^3/m]
1994	505.678	1750	289
1998	745.376	1500	497
2004	595.764	1250	477
Gemiddelde	615.606	1500	421

Vanwege de suppletiefrequentie in het verleden wordt in de toekomst uitgegaan van een suppletiefrequentie van 5 jaar voor het behoud van de kustlijn.
In het verleden is gesuppleerd in een kustvak met een breedte van gemiddeld 1500 meter. Er kan echter van uit worden gegaan dat dit suppletievolume een groter deel van de kust heeft onderhouden. Aangenomen wordt dat de uitgevoerde suppletie een kustvak heeft onderhouden gelijk aan het onderzoeksgebied (ca 4 km). De gesuppleerde volumes zijn hiermee direct te vergelijken met de berekende onderhoudsbehoefte zoals staat weergegeven onderin Tabel 6. Opgemerkt kan worden dat beide volumes een zelfde ordegrootte hebben (630.000 m^3 versus 200.000 – 1.000.000 m^3.

Gezien bovenstaande vergelijking is de verwachting dat de voorspelde onderhoudsbehoefte voor de toekomst volgens de gebruikte methode een redelijke inschatting is van het benodigde kustonderhoud.

2.7.4.3 Bandbreedte onderhoudsbehoefte referentiesituatie

De uitgevoerde inschatting van de onderhoudsbehoefte is een middenschatting. Het kan echter zo zijn dat de werkelijke morfologische ontwikkeling positiever of negatiever uitpakt dan is ingeschat (zie paragraaf 2.9, onzekerheden). Daarom wordt in deze paragraaf een inschatting gemaakt van de onderhoudsbehoefte bij een meer positieve ontwikkeling (inschatting ondergrens onderhoudsbehoefte) en een meer negatieve ontwikkeling (inschatting bovengrens onderhoudsbehoefte). De range tussen deze schattingen (bandbreedte) kan worden gebruikt voor een inschatting van de onderhoudskosten in de referentiesituatie. De boven en ondergrens representeren niet de minimum en maximum onderhoudsbehoefte voor de toekomst. Deze kunnen respectievelijk lager dan wel hoger zijn.

Ondergrens

Een ondergrens schatting van het te suppleren volume in de beschouwde kustvakken is wordt weergegeven in Tabel 8. In deze schatting wordt rekening gehouden met een erg positief effect van de zandgolf (positiever dan in de middenschatting). Dit betekent dat er meerdere periodes zijn in vergelijking met de middenschatting waarin een positief effect van de zandgolf wordt verwacht. Voor de overige periodes wordt een onderhoudsvolume aangehouden dat op basis van de negatieve volumeveranderingen kan worden verwacht (idem midden schatting). Gedurende de gehele planperiode wordt voor het studiegebied een volume van 6.685.000 m^3 voorspeld.

Tabel 8 Te suppleren volume (m^3/m)/jaar in de komende 50 jaar volgens de onder schatting. In geel staat het Flaauwe Werk weergegeven.

Kustvak	Breedte kustvak [m]	Verwachte volumeverandering [(m3/m)/jaar] in periode										Totaal te suppleren volume [m3] in periode 2005-2055 per kustvak
		2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2050-2055	
1	600	-10	-10	-10	-10	-10	++	++	++	++	++	150.000
2	750	-45	-45	-45	++	++	++	++	++	++	-45	675.000
3	750	++	++	++	++	++	++	++	-40	-40	-40	450.000
4	1000	++	++	++	++	++	-40	-40	-40	-40	-40	1.000.000
5	900	++	++	++	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	7.732.500
Te suppleren volume per periode (5 jaar) [m^3]		198.750	198.750	198.750	660.000	660.000	830.000	830.000	980.000	980.000	1.148.750	Totaal 6.685.000 m^3

Bovengrens

Een bovengrens schatting kan worden gerepresenteerd door voor het verwachte onderhoud de suppletievolumes uit het verleden (420 (m^3/m)/ 5 jaar) aan te houden voor het gehele analysevak voor de periodes waarin geen positief effect van de zandgolf (idem midden schatting) wordt verwacht. Het suppletievolume is hierbij berekend op basis van het volume in het suppletievak en is er geen rekening

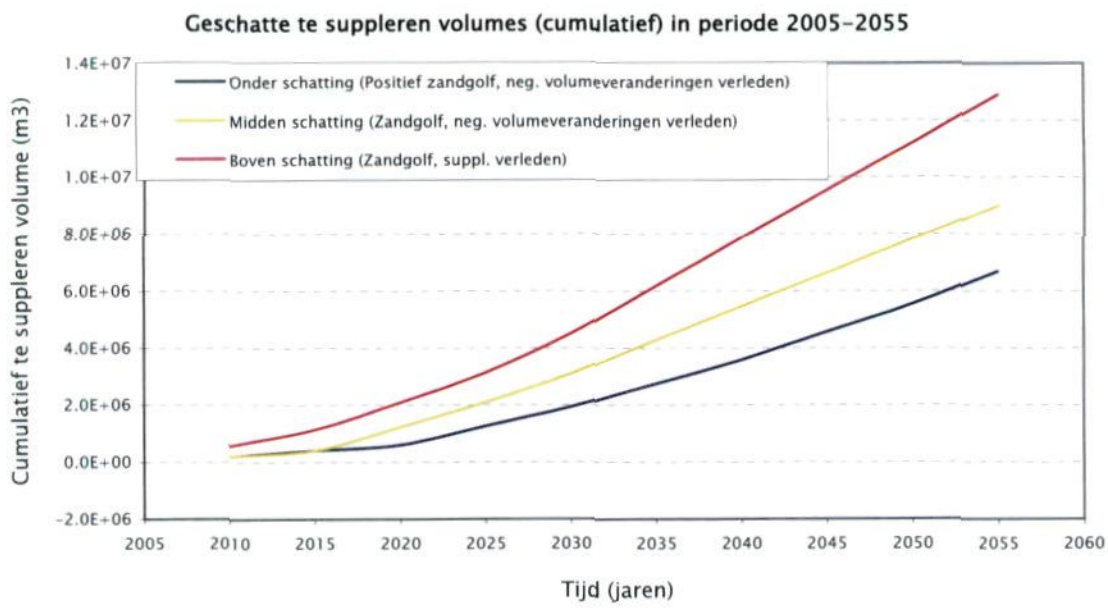
gehouden met de verwachting dat het suppletievolume mogelijk een positief effect heeft op de naastgelegen kustvakken.
De te suppleren volumes volgens dit scenario staan weergegeven in Tabel 9. In totaal moet volgens deze schatting in het analysegebied een volume van 12.894.000 m^3 gesuppleerd worden. De inschatting is dus een zee conservatieve inschatting van de bovengrens.

Tabel 9 Te suppleren volumes m^3/5 jaar in de komende 50 jaar volgens de bovenschatting. In geel staat het Flaauwe Werk weergegeven.

Kustvak	Breedte kustvak [m]	Te suppleren volume [m^3] in periode										Totaal te suppleren volume [m3] in periode 2005-2055 per kustvak
		2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2050-2055	
1	600	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	252.000	2.520.000
2	750	315.000	315.000	315.000	++	++	315.000	315.000	315.000	315.000	315.000	2.520.000
3	750	++	++	++	++	315.000	315.000	315.000	315.000	315.000	315.000	1.890.000
4	1000	++	++	++	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000	2.940.000
5	900	++	++	378.000	378.000	378.0 00	378.000	378.000	378.000	378.000	378.000	3.024.000
Te suppleren volume per periode (5 jaar) [m^3]		567.000	567.000	945.000	1.050.000	1.365.000	1.684.000	1.680.000	1.680.000	1.680.000	1.680.000	Totaal 12.894.000 m^3

De geschatte volumes behorende bij de onder-, midden en bovengrens schatting staan cumulatief weergegeven in Afbeelding 23.

Afbeelding 23 Geschatte (onder, midden en boven) te suppleren cumulatieve zandvolumes voor het gehele analysegebied in de periode 2005-2055.
De jaartallen op de x-as representeren het einde van iedere onderhoudsperiode (van 5 jaar).



2.8 Bepaling onderhoudsbehoefte alternatieven

2.8.1 Onderhoud Binnendijk-50 en Binnendijk-100

Bij de inrichtingsalternatieven Binnendijk-50 en Binnendijk-100 wordt de ingreep om de veiligheid te vergroten alleen aan de landwaartse zijde van het Flaauwe Werk uitgevoerd. De huidige kustlijn blijft behouden en om die reden zal het benodigde onderhoud van de Binnendijkalternatieven hetzelfde zijn als in de referentiesituatie. De ingreep heeft, aangezien de versterking aan de landwaartse zijde plaatsvindt, geen effecten op de naastgelegen kustvakken.

2.8.2 Onderhoud Steunduin-50

Door de aanleg van een steunduin die benodigd is om de veiligheid te kunnen waarborgen voor 50 jaar (ontworpen voor een overslagdebiet van 1 l/s/m) wordt de kustlijn over een klein traject zeewaarts verplaatst. Er wordt namelijk een duin hoog in het profiel tegen de huidige dijk aan gelegd. Door middel van veiligheidsberekeningen is de minimale hoeveelheid zand die aanwezig moet zijn voor het Flaauwe Werk bepaald (zie hoofdstuk 3, paragraaf 3.3) voor een planperiode van 50 jaar.
Om te kunnen garanderen dat op ieder moment de minimaal aanwezige hoeveelheid zand aanwezig is, dient initieel te worden gestart met het onderhouden van het steunduin. Om die reden wordt een extra volume naast het minimale volume aangelegd. Tijdens een gekozen onderhoudsperiode kan dit onderhoudsvolume uit het profiel eroderen. Het inschatten van het onderhoud van het steunduin wordt in de komende paragrafen toegelicht.
De onderhoudsbehoefte van het steunduin is naar verwachting groter dan de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie. Hiervoor zijn drie redenen aan te geven: door het uitsteken van het steunduin ten opzichte van de kustlijn, door het gedeeltelijk afdekken van de strandhoofden en het handhaven van het steunduin hoog in het profiel (boven NAP + 3m). Deze aspecten worden in de volgende paragraaf beschreven.
Geconcludeerd wordt dat door het aanleggen van het Steunduin-50 alternatief het onderhoud met een factor 2 (Steunduin-50 met q = 1 l/s/m) tot 2,5 (Steunduin-50 met q = 0,1 l/s/m) maal toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie.

N.B.1 Door de aanleg van het steunduin aan de zeewaartse zijde van het Flaauwe Werk is de morfologische ontwikkeling onzeker en wordt geen rekening meer gehouden met de positieve effecten van een zandgolf, zoals wordt gedaan in de referentiesituatie.
N.B.2 Door de aanleg van een Steunduin aan de zeewaartse zijde van het Flaauwe Werk zal zoals gezegd het onderhoud van de kustlijn toenemen. Een deel van het zand dat hier zal eroderen zal naar verwachting ten goede komen aan de kustvakken grenzend aan het vak waar de versterking heeft plaatsgevonden. In deze aangrenzende kustvakken zal het onderhoud door aanleg van het Steunduin gedurende de planperiode af nemen ten opzichte van de huidige situatie.

2.8.2.1 Toename onderhoudsbehoefte

Toename onderhoud door uitsteken steunduin
Het Flaauwe Werk in zijn huidige vorm steekt iets uit in zeewaartse richting ten opzichte van de kustlijn (zie Afbeelding 41, bijlage 1). Bij het aanleggen van een steunduin wordt deze vorm van het Flaauwe Werk versterkt en steekt dit alternatief extra uit ten opzichte van het westelijk en oostelijk gelegen deel van de kust. Morfologisch gezien is dit geen optimale situatie. Verwacht wordt dat op de locatie waar het steunduin het verst uitsteekt in zeewaartse richting de grootste erosie op zal treden. De vrijgekomen hoeveelheid zand zal deels uit het profiel verdwijnen en deels ten goede komen aan de naast het

steunduin gelegen kustvakken. Hierdoor neemt het onderhoud ter plaatse van het steunduin toe, terwijl het onderhoud in de aangrenzende kustvakken af zal kunnen nemen.

Toename onderhoud door deels bedekken strandhoofden steunduin

Het aanleggen van een steunduin beïnvloedt de werking van de strandhoofden, omdat de strandhoofden deels met zand worden bedekt bij aanleg van het minimum profiel (zie Afbeelding 24). Initieel zal meer zand worden aangelegd dan het minimum profiel, namelijk ook een hoeveelheid onderhoudszand. Hierdoor komen de strandhoofden (geheel) onder het zand te liggen. In de loop van de onderhoudsperiode zal het onderhoudszand uit het profiel eroderen waardoor de strandhoofden weer deels onder het zand vandaan komen.

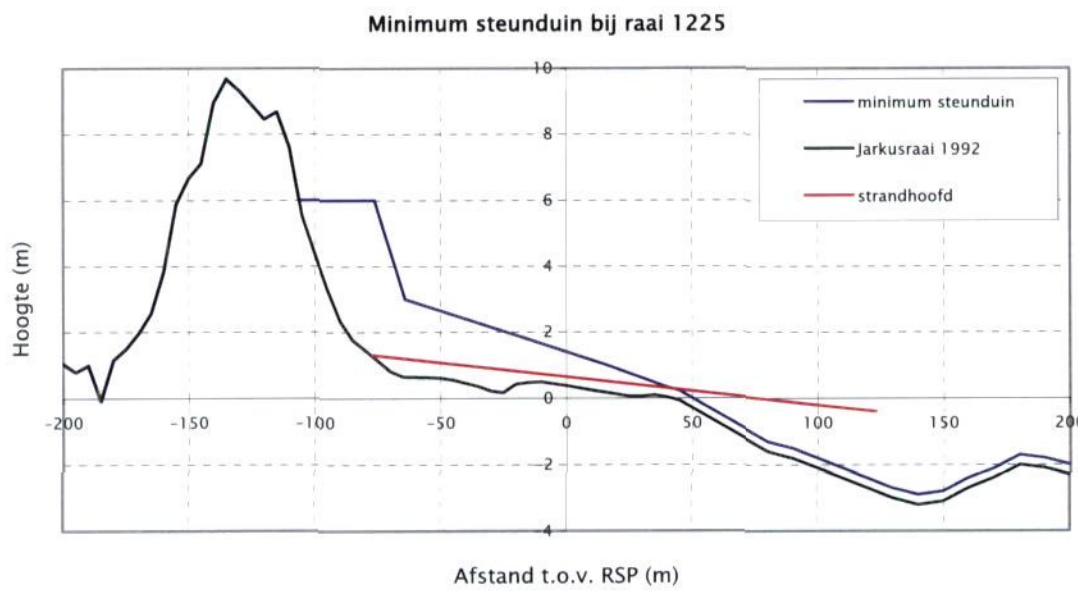
Door het (deels) bedekken van de strandhoofden neemt naar verwachting de erosie toe vanwege de volgende oorzaken:

- Verminderde functie met betrekking tot vasthouden zand: De strandhoofden houden in de huidige situatie zand vast voor het Flaauwe Werk. Ze verliezen deze functie bij het (deels) bedekken van de strandhoofden waardoor het steunduin sneller zal eroderen
- Ontstaan muistromen: Bij het deels bedekken van de strandhoofden met zand wordt de effectieve lengte van de strandhoofden verkort, waardoor relatief gezien de afstand tussen de strandhoofden groter wordt. Als de relatieve afstand tussen de strandhoofden te groot wordt bestaat de kans op het ontstaan van muistromen (van Rijn, 1998). Aangezien muistromen het zand het kustvak uit transporteren zal dit een nadelig gevolg hebben op de erosiesnelheid van het tussen de *strandhoofden liggende strand.*

De primaire functie van de strandhoofden blijft bestaan in het geval van het deels bedekken van de strandhoofden. De strandhoofden blijven hun functie vervullen met betrekking tot het uit de kust houden van de geul. Indien de strandhoofden geheel onder het zand komen te liggen (afhankelijk van gekozen onderhoudsfrequentie) zal door de ligging van het steunduin op de locatie van de strandhoofden een eventuele geul niet dicht bij de dijk kunnen komen.

Afbeelding 24 Minimale afmeting van het Steunduin-50 (q= 1 l/s/m) bij raai 12,25

De afmeting van het minimum steunduin is afkomstig uit de veiligheidsberekeningen



Toename onderhoud door handhaven hoogte steunduin

Volgens het huidige ontwerp (zie hoofdstuk 3 veiligheidsberekeningen) wordt het steunduin aangelegd op NAP +6m. Voor de veiligheid is het van belang dat het minimum steunduin op deze hoogte gewaarborgd blijft, aangezien de berekende hoeveelheid zand direct gekoppeld is aan de hoogte. Indien het aangebrachte zand op een lager niveau ligt is een relatief groter volume zand nodig.

De verwachting is dat bij stormen (en dus hogere waterstanden) een profielverandering op zal gaan treden. Hierbij verdwijnt zand hoog in het profiel en wordt het laag in het profiel neergelegd. In een rustige periode zou een deel van dit zand door middel van o.a eolisch transport hogerop in het profiel getransporteerd kunnen worden. Dit proces verloopt echter minder snel dan de afslag bij storm, waardoor duinontwikkeling na afslag onzeker is. Hierdoor zal het noodzakelijk zijn om periodiek het steunduin op hoogte aan te vullen met zand. Wellicht dat een aanvullende maatregel, het inplanten van het steunduin met helm, kan resulteren in een stabieler steunduin.

2.8.2.2 Onderhoudsbehoefte Steunduin-50 (q = 1 l/s/m)

De onderhoudsbehoefte van het steunduin is groter dan de referentiesituatie als gevolg van de drie hierboven beschreven processen. De morfologische processen die op gaan treden na aanleg van het steunduin zijn niet met formules en/ of modellen te voorspellen. Er kan slechts een inschatting worden gemaakt van het verwachte toegenomen onderhoud bij aanleg van een steunduin. Deze inschatting is echter wel onzeker (zie paragraaf 2.9).

In overleg met RIKZ is aangenomen dat 50 % meer erosie op zal treden (onderhoudsfactor 1,5) als gevolg van het uitsteken van het steunduin en het deels bedekken van de strandhoofden. Aangezien bij het steunduin echter tevens van belang is dat het zand op hoogte gehandhaafd wordt in verband met de veiligheid dient een grotere onderhoudsfactor voor het berekenen van de onderhoudsbehoefte gebruikt te worden. Verwacht wordt namelijk dat het hoog gelegen zand van het steunduin zich zal herverdelen in het profiel. Daarom is besloten uit te gaan van een onderhoudsfactor **2**. Dit betekent dat rekening wordt gehouden met 2 x zo veel erosie ten opzichte van de referentiesituatie ter plaatse van het steunduin als gevolg van bovengenoemde factoren.

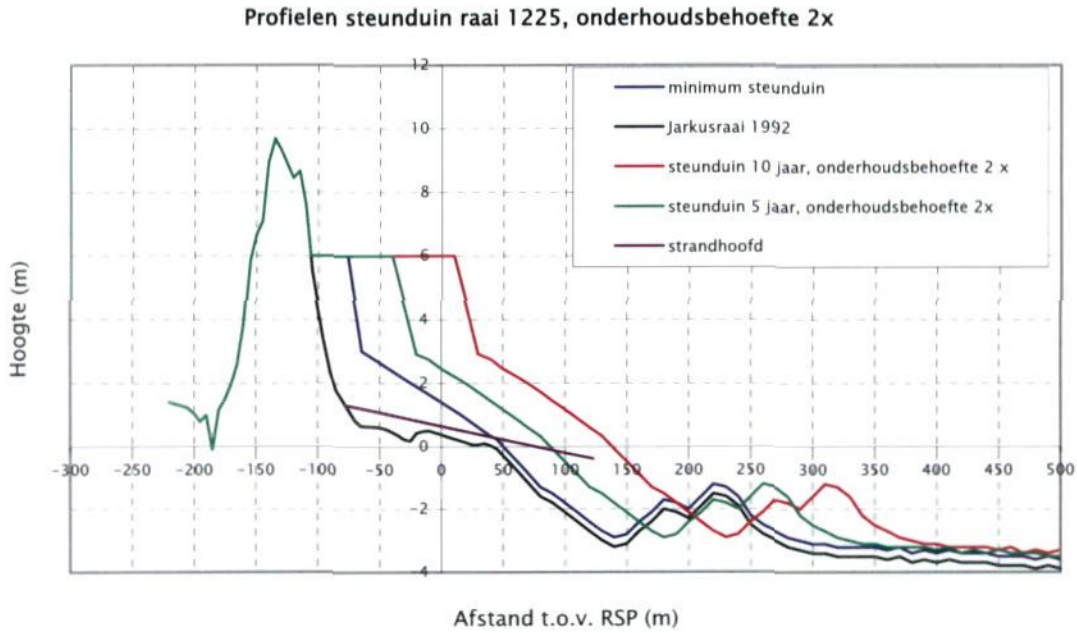
De onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie ter plaatse van het steunduin is 40 (m^3/m)/jaar. Uitgaande van een 2 maal zo grote onderhoudsbehoefte van het steunduin in vergelijking met de referentiesituatie wordt verwacht dat de onderhoudsbehoefte van het steunduin ongeveer 80 (m^3/m)/jaar zal zijn. Met behulp van deze onderhoudsbehoefte kan worden bepaald, afhankelijk van de ontwerpperiode van het steunduin, hoe groot het onderhoudsvolume moet zijn dat extra náást het minimumvolume aangelegd dient te worden. Dit onderhoudsvolume wordt bij iedere onderhoudssuppletie opnieuw aangelegd.

Besloten is door Rijkswaterstaat dat bij de inrichtingsalternatieven Steunduin-50 en Steunduin-groei de BKL mee schuift met het minimaal benodigde ruimtebeslag van het steunduin. Bij het aanleggen van het steunduin komt door het extra onderhoudsvolume de MKL zeewaarts van de BKL te liggen. Wordt iedere 5 jaar onderhoud gepleegd, dan kan in één keer onderhoud van de BKL en onderhoud van het steunduin gepleegd worden. Bij elk nieuw suppletieontwerp dient dan rekening gehouden te worden met de vorm van het profiel en met het totaal aanwezige volume in het profiel. Het zand moet namelijk vanwege de veiligheid hoog genoeg in het profiel liggen en het totale volume in het profiel dient voldoende te zijn in verband met veiligheid en de ligging van de kustlijn.

Uitgaande van een onderhoudsbehoefte van het steunduin van 80 (m^3/m)/ jaar, wat als functie heeft zowel de onderhoud van de kustlijn en het minimumvolume in stand te houden, dient voor een periode van 5 jaar een volume van 400 m^3/m gesuppleerd te worden. Een onderhoudsfrequentie van 5 jaar is lijkt een reële optie, aangezien suppleties ten behoeve van de basiskustlijn in het verleden ook om de 5 jaar zijn uitgevoerd.

Het is echter ook mogelijk om initieel meer zand in het profiel aan te brengen, en een lagere onderhoudsfrequentie aan te houden. De consequentie daarvan zal zijn dat het steunduin verder zeewaarts uitsteekt en hierdoor sneller zal eroderen. Bij een onderhoudsperiode van 10 jaar wordt aangenomen dat er een extra verlies van ca. 10% op zal treden. Dit resulteert in een suppletievolume van 880 m^3/m.
In Afbeelding 25 is een indicatie van de afmetingen te zien van het steunduin bij raai 12,25 voor 5 en 10 jaar met een onderhoudsbehoefte van 2 x de referentiesituatie. Deze afmetingen zijn slechts een inschatting van de grootte van het steunduin en dienen niet voor het ontwerp van dit alternatief gebruikt te worden. In Afbeelding 25 is te zien dat een steunduin met een periodiek onderhoud van 5 jaar een kruinbreedte heeft met een omvang van ongeveer 2 maal de minimum kruinbreedte.

Afbeelding 25 Afmetingen Steunduin-50 (q=1 l/s/m) bij raai 12,25



Gezien de afmeting van het steunduin met een periodiek onderhoud van 5 jaar en de onderhoudsbehoefte van 2x de suppletie uit de referentiesituatie verdient een eventuele steunduin voor de gehele planperiode van 50 jaar niet de voorkeur om drie redenen:

- Het ruimtebeslag van deze variant zal zo groot zijn, dat dit uit morfologisch oogpunt niet wenselijk is. Tussen raai 11,50 en 12,75 zal lokaal een uitstekende bult aanwezig zijn die naar alle verwachting snel zal eroderen. Dit zand kan naar dieper water het systeem uit verdwijnen, of kustlangs naar met name het oosten en eventueel het westen worden getransporteerd. Bij een steunduin met een levensduur van 5 of 10 jaar zal ook de grootste erosie plaatsvinden ter plaatse van het steunduin. Echter verwacht wordt dat de verschillen in erosie tussen het steunduin en de omgeving minder extreem zullen zijn dan in het geval van een steunduin met een levensduur van 50 jaar.
- Indien een steunduin met een levensduur van 50 jaar aangelegd zou worden is het niet mogelijk om in te springen op morfologische variaties die in die 50 jaar op kunnen treden. De morfologische schatting die is gemaakt voor de komende 50 jaar is een onzekere schatting en het is heel goed mogelijk dat de morfologische veranderingen die in het gebied op gaan treden anders zullen zijn

dan de voorspelde onderhoudsbehoefte. Bij een steunduin met een levensduur van 5 of 10 jaar is het wel mogelijk om in te springen op de morfologische variaties die optreden.

Roelse (1996) noemt bovenste 2 punten in zijn studie en concludeert dat suppleties met een lange levensduur (10 jaar of meer) uit morfologisch oogpunt ongewenst zijn, omdat de aangebrachte verstoring relatief groot is en dan niet optimaal kan worden ingespeeld op de natuurlijke dynamiek.

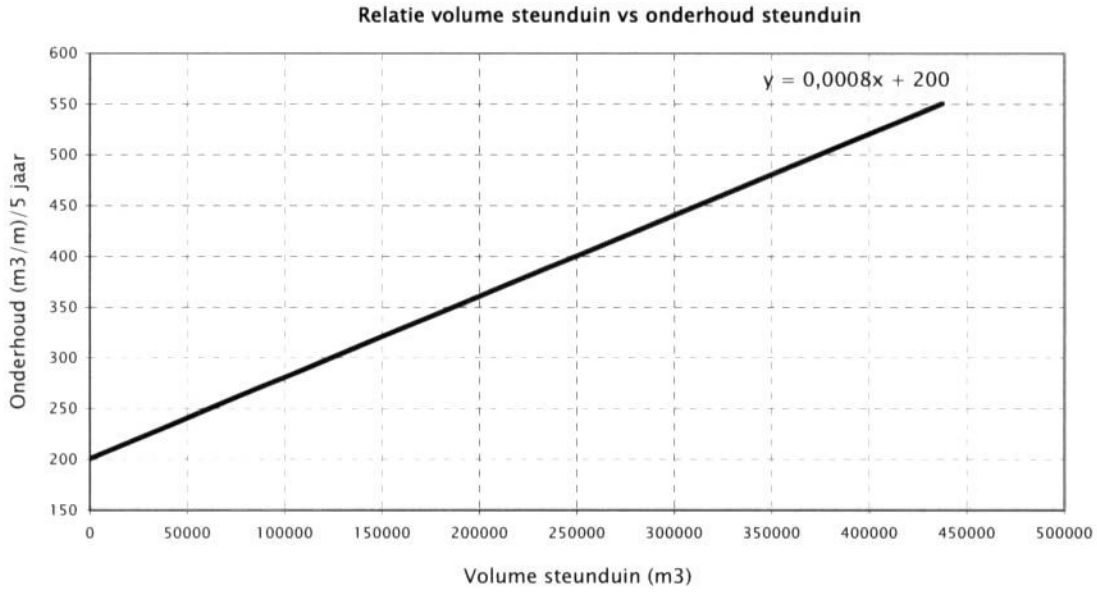
- Bij een steunduin met een levensduur van 50 jaar bestaat bovendien de kans dat er stuifoverlast optreedt vanwege de forse breedte van het steunduin. Het is in principe niet de bedoeling dat het zand gaat stuiven, maar dit behoort echter wel tot de mogelijkheden. Met name bij noordwestelijke wind zou er zand over de dijk heen kunnen stuiven. Dit geldt ook in mindere mate voor de kleinere varianten.

2.8.3 Onderhoud Steunduin-50 (q= 0,1 l/s/m)

Het Steunduin-50 alternatief is in eerste instantie ontworpen op een overslagdebiet van 1 l/s/m. Na de recent uitgevoerde toetsing (Royal Haskoning, 2006) blijkt echter dat het huidige binnentalud van de dijk niet bestand is tegen een overslagdebiet van 1 l/s/m (zie hoofdstuk 8). Om er voor te zorgen dat bij het alternatief Steunduin-50 het huidige binnentalud niet aangepast hoeft te wordt is het uitgangspunt voor het ontwerp van het steunduin aangepast van 1 l/s/m naar 0,1 l/s/m.
Deze wijziging in uitgangspunten heeft tot gevolg dat het minimaal benodigde steunduin in omvang toeneemt. Bij een grotere omvang van het minimum steunduin hoort tevens een grotere onderhoudsbehoefte.

Het minimum Steunduin-50 met overslagdebiet van 1 l/s/m heeft een omvang van ca 250.000 m^3. Door de omvang van het Steunduin uit te zetten tegen de onderhoudsbehoefte behorende bij de situatie "geen Steunduin" en "Steunduin-50 met q= 1 l/s/m", kan de relatie tussen de omvang van het steunduin en onderhoudsbehoefte bepaald (zie Afbeelding 26). Aangenomen wordt dat er een lineaire relatie bestaat tussen de afmeting van het steunduin en het onderhoud. Met deze relatie is het mogelijk om het benodigde onderhoudsvolume behorend bij een andere omvang van het minimum steunduin te bepalen.

Afbeelding 26 Relatie tussen het minimum aan te leggen volume van het steunduin en de bijbehorende onderhoudsbehoefte



Gezien de omvang van het minimum Steunduin-50 (q=0,1 l/s/m) (383.875 m^3, zie paragraaf 4.3.3) is bij dit alternatief een onderhoudsbehoefte van 507 (m^3/m)/5 jaar benodigd. Hieruit blijkt dat het onderhoud met een factor **2,5** toeneemt ten opzichte van de referentiesituatie.

2.8.4 Onderhoud Steunduin-groei (q = 0,1 l/s/m)

Bij het Steunduin-groei wordt niet in een keer het benodigde minimum steunduinvolume voor 50 jaar aangelegd, maar wordt per periode bekeken hoeveel zand nodig is volgens de dan geldende randvoorwaarden. Het idee is dat in de loop van de tijd steeds meer zand moet worden aangebracht met name de hoog gelegen zone, waardoor een steunduin ontstaat die zal groeien in de loop van de tijd. Vandaar dat ook de onderhoudsbehoefte in de tijd zal toenemen (zie hoofdstuk 4) Aan het einde van de planperiode heeft het steunduin een omvang en een onderhoudsbehoefte gelijk aan het Steunduin-50 alternatief (q=0,1 l/s/m).

Met veiligheidsberekeningen (zie hoofdstuk 3) is bepaald hoe groot de omvang van het minimum Steunduin-groei dient te zijn in de eerste onderhoudsperiode (Steunduin-5). Deze omvang bedraagt 292.438 m^3, en resulteert volgens de relatie uit Afbeelding 26 in een onderhoudsbehoefte van 434 (m^3/m)/5 jaar. De onderhoudsfactor aan het begin van de planperiode is dus **2,2** ten opzichte van de referentiesituatie. Aan het einde van de planperiode is het onderhoud gelijk aan het onderhoud van het Steunduin-50 (q= 0,1 l/s/m) alternatief. De onderhoudsbehoefte van het steunduin in de tussenliggende *periodes (stappen van 5 jaar) is bepaald door middel van lineaire interpolatie net als de omvang van het* minimum steunduin.

2.9 Onzekerheden

De voorspellingen voortkomend uit de morfologische analyse die is uitgevoerd en de bevindingen uit de literatuurstudie voor het onderzoeksgebied zijn onzeker. Toch is geprobeerd met de beschikbare gegevens om een zo goed mogelijke voorspelling te maken van de onderhoudsbehoefte van het Flaauwe Werk in de toekomst. In dit hoofdstuk zal expliciet aan worden gegeven met welke onzekerheden in de voorspelling van de onderhoudsbehoefte rekening moet worden gehouden en welke aannames er gedaan zijn.

2.9.1 Morfodynamisch systeem

De kustzone voor het Flaauwe Werk maakt deel uit van de Haringvlietmonding en wordt tevens beïnvloed door de Grevelingenmonding. Aanpassingen die in het verleden hebben plaatsgevonden in beide gebieden hebben invloed op de ontwikkeling voor het Flaauwe Werk. Morfologische aanpassingen in systemen als de Haringvlietmonding vinden niet snel plaats; de morfologie ijlt na van gedane ingrepen in het gebied en tevens is er het effect van demping. Dit komt doordat de morfologische ontwikkelingen plaatsvinden via vele dynamische koppelingen tussen deelsystemen.

De voorspelbaarheid van morfologische aanpassingen in systemen als de Haringvlietmonding hangt af, mede door het naijlen van het systeem en demping, van tijd en ruimteschalen. Het voorspellen van de morfologische ontwikkeling bij een relatief grote ruimteschaal (Haringvlietmonding) blijkt voor een kleine tijdschaal vrijwel onmogelijk. De bandbreedte behorende bij de voorspelling van de morfologische ontwikkeling van de monding door Svasek (2004) heeft namelijk een grootte van +/- 200 – 300 %. De ruimteschaal bij het Flaauwe Werk is vele malen kleiner (2-3 km), terwijl de tijdschaal waarvoor de voorspelling gedaan dient te worden in deze studie groter is (50 jaar). Dit maakt dat de resultaten voortkomend uit de uitgevoerde analyse een grote marge van onzekerheid hebben.

2.9.2 Ingrepen toekomst

Bij de voorspelling van de onderhoudsbehoefte is geen rekening gehouden met de eventuele invloed van ingrepen die in het gebied in de toekomst plaats kunnen vinden. Deze ingrepen zijn het invoeren van Getemd Getij, de Kier, aanleg Maasvlakte II en DeltaSynergie. De reden dat geen rekening is gehouden met de eventuele effecten van één van deze ingrepen is óf de onzekerheid van het invoeren van de ingreep (bij een grote ingreep als Getemd Getij wordt bij dat project een studie uitgevoerd naar de effecten), óf het onzekere effect van de ingreep op de morfologie van het Flaauwe Werk (geen tot weinig effect).

2.9.3 Zeespiegelstijging

Het effect dat de zeespiegelstijging zal hebben op de morfologie als gevolg van de optredende klimaatverandering wordt niet meegenomen in de voorspelling van de onderhoudsbehoefte van het Flaauwe Werk. Voor de exacte stijging van de zeespiegel gedurende de planperiode is een aanname gedaan, namelijk 30 cm zeespiegelstijging gedurende 50 jaar voor het middenscenario (DHV, 2005-2). Hoe groot de exacte zeespiegelstijging zal zijn is onzeker.
Door de zeespiegelstijging zal de zandvraag voor de gehele Nederlandse kust toenemen (Mulder, 2000) met name door de toenemende zandvraag van open getijdebekkens.
Voor de ontwikkelingen van het dwarsprofiel langs de kust bestaan 2 theorieën. In de planstudie is aangenomen dat in het studiegebied de bodem meestijgt met de optredende zeespiegelstijging (DHV, 2005-2) waardoor versteiling van het profiel optreedt. Dit zand is afkomstig uit dieper water. Indien deze

bodemstijging niet natuurlijk plaats vindt, zal het optredende tekort aangevuld worden door het uitvoeren van strandsuppleties.
De zandvraag in de kustzone zal dus hoogstwaarschijnlijk toenemen, met name door de toenemende vraag in de nabijgelegen zeearmen. Hoe groot deze zandvraag ter plaatse van het Flaauwe Werk zal zijn zal zijn is moeilijk te voorspellen. Voor de hele Nederlandse kust wordt een toename van de suppletiebehoefte verwacht (Mulder, 2000). Hoe groot deze toename zal zijn voor het deelgebied het Flaauwe Werk is onbekend. Het is waarschijnlijk dat door de toenemende zandvraag de voorspelde suppletiebehoefte uit deze studie niet toereikend is.

2.9.4 Venster berekening volumevariaties

Voor het berekenen van volumevariaties wordt in deze studie het brede venster duintop tot 800 meter zeewaarts gebruikt. De volumevariaties die in dit venster plaatsvinden worden gebruikt om een onderhoudsbehoefte in te schatten die benodigd is voor behoud van de gehele kustzone.

In de praktijk wordt door het RIKZ een andere methode én een ander venster gebruikt om een suppletievolume voor de BKL te voorspellen (NAP+3 tot NAP-1m). Daarnaast gebruikt het RIKZ een aparte methode om de veiligheid te toetsen en het benodigde veiligheidsvolume te berekenen. De BKL methode van het RIKZ is echter niet bruikbaar om voor een planperiode van 50 jaar de onderhoudsbehoefte van de kustlijn te voorspellen. Tevens liggen de grenzen van de zone waarmee het RIKZ de voorspellingen doet (BKL-zone) in een sterk dynamisch gebied, waardoor indien de gebruikte methode op deze zone wordt toegepast geen realistische waarden worden verkregen. Omdat bij deze studie de interesse naast het onderhoud in de kustlijn uit gaat naar de veiligheid, wordt het brede venster duintop tot 800 meter zeewaarts gebruikt voor de voorspellingen van de onderhoudsbehoefte.

2.9.5 Onderhoudsbehoefte toekomst

Voor de voorspelling van de onderhoudsbehoefte van de planperiode zijn de gemiddelde negatieve volumeveranderingen in ieder kustvak gebruikt als representatieve onderhoudswaarde voor de toekomst.
In de gepresenteerde afbeeldingen lijkt het jaar 1970 (begin analyseperiode) de referentiesituatie. Sinds het begin van de analyseperiode heeft in het gebied aanzanding plaatsgevonden, echter voor het Flaauwe *Werk is de aanzanding minimaal. De nu geldende referentiesituatie voor het onderhoud van de kustlijn is* 1990, het jaar dat de BKL is vastgesteld. Ondanks dat in het verleden grootschalig een toename in de zandvolumes heeft plaatsgevonden betekent dit dat er in de huidige situatie geen grote zandvoorraad aanwezig is die mag eroderen. De huidige ligging van de kustlijn ligt in de meeste kustvakken in de buurt van de BKL. Een grote afname in het zandvolume betekent dus dat deze verandering snel gecompenseerd dient te worden door het uitvoeren van een strandsuppletie.
Er wordt vanuit gegaan dat de negatieve volumeveranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden in de toekomst weer op kunnen treden. Door uit te gaan van de *gemiddelde* negatieve volumeveranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden worden extreme volumevariaties weggemiddeld. De waarde van deze gemiddelde negatieve volumeverandering in het kustvak wordt als onderhoudswaarde gebruikt voor periodes in de toekomst waarin geen positief effect van de langslopende longitudinale zandgolf wordt verwacht.

2.9.6 Loopsnelheid zandgolf

Voor het bepalen van de loopsnelheid van de waargenomen zandgolf zijn 2 afbeeldingen (Afbeelding 8 en Afbeelding 9) gebruikt waarin twee verschillende parameters (TKL-BKL & MKL t.o.v. RSP) staan uitgezet

die de ligging van de kustlijn weergeven. De gemiddelde loopsnelheid van front en piek zijn gebruikt om de tijdshorizon te berekenen wanneer de zandgolf een positief effect zal hebben op een bepaald kustvak.
De twee gebruikte afbeeldingen voor het bepalen van de loopsnelheid laten twee verschillende tijdsperiodes zien. Hieruit blijkt dat in de laatste jaren een sterke vormverandering heeft plaatsgevonden van de vorm van de zandgolf. Het is onzeker hoe de zandgolf zich in de toekomst gaat ontwikkelen en wat de werkelijke loopsnelheid van de zandgolf zal zijn.

2.9.7 Ligging geul

Met de eventuele verplaatsing van een geul naar de BKL-zone voor het Flaauwe Werk is geen rekening gehouden in deze studie.
In het memo 'Hoe omgaan met morfologische onzekerheid?', opgesteld tijdens het uitvoeren van de startnotitie m.e.r. (DHV, 2005-1), wordt de ligging van een geul dicht langs het Flaauwe Werk beschreven als meetlat voor de onzekerheid in morfologie en is daarmee een onderbouwing voor het kiezen van een grote bandbreedte van morfologische voorspellingen.
In een studie van Alkyon en Arcadis (2004) wordt gesteld dat, indien in de toekomst de geul het Slijkgat niet meer wordt uitgebaggerd, de geul zich waarschijnlijk in twee geulen splitst. De eventuele nieuwe vloedschaar zou dan in de BKL-zone kunnen komen te liggen. Dit heeft dan een nadelige werking op de waterkerende functie van het Flaauwe Werk in verband met afname van de aanwezige zandvolumes. Tevens is het mogelijk dat door het uitbouwen van zandplaten naar het zuiden toe de aanwezige geul dichter naar het Flaauwe Werk wordt gedrukt.

De ligging van deze geul wordt in dit rapport kort beschreven in paragraaf 2.5.1 en 2.6.1. De geul die kan worden aangetroffen in raai 10.25 (Afbeelding 10), 11.00 (Afbeelding 11) en 11.75 (Afbeelding 12) verdwijnt na 1970 uit het profiel. Het is mogelijk dat het verdwijnen van deze geul te maken heeft het afsluiten van het Haringvliet in 1970 en daarmee het verkleinen van het getijvolume. In dit geval zal zich, zolang het getijvolume niet verandert, geen geul dicht bij het Flaauwe Werk ontwikkelen. Echter of het verdwijnen van de geul uit het profiel direct gerelateerd is aan het afsluiten van het Haringvliet is niet bekend.

Het is dus mogelijk dat in de toekomst opnieuw een geul ontstaat voor het Flaauwe Werk. Indien dit gaat optreden zullen de in deze studie voorspelde suppletievolumes niet afdoende zijn om het tekort in de BKL zone en het veiligheidstekort op te heffen.

2.9.8 Suppletieontwerp RIKZ

Het voorbijkomen van de zandgolf kan een negatief gevolg hebben op de werkelijke ligging van de kustlijn als gevolg van de methode die het RIKZ toepast voor de bepaling van het uitvoeren van een suppletie (uitleg zie bijlage 2). Door het voorbijkomen van de zandgolf kan namelijk de geëxtrapoleerde kustlijn (TKL) verder zeewaarts komen te liggen door de aanzandende trend van de laatste 10 MKL punten uit het verleden. Op het moment dat de piek van de zandgolf voorbij komt verplaatst de ligging van de kustlijn zich echter in snel tempo landwaarts, terwijl vanwege de trend in het verleden de TKL zeewaarts wordt voorspeld. Ten tijde van het langslopen van de piek van de zandgolf kan dus een groot verschil bestaan tussen de ligging van de MKL en de TKL. Het is dan mogelijk dat de MKL landwaarts van de BKL komt te liggen en geen suppletie wordt voorspeld. Hiermee zal rekening moeten worden gehouden met het ontwerp van de strandsuppleties.
Tevens is het van belang dat naast de kustlijn ook de veiligheid wordt getoetst. In het profiel dient niet alleen voldoende zand aanwezig te zijn in de BKL zone, maar dient ook voldoende zand in het profiel aanwezig te zijn om in veiligheid te kunnen voorzien.

2.9.9 Onderhoudsfactor Steunduin alternatieven

Voor onderhoud van Steunduin-50 (q=1 l/s/m) is uitgegaan een factor 2 ten opzichte van de referentiesituatie; er wordt verwacht dat door het afdekken van de strandhoofden, door het uitsteken van het steunduin en door het handhaven van het steunduin hoog in het profiel 2 maal zoveel erosie optreedt. Het is mogelijk dat, gezien de verwachting dat het gesuppleerde zand zich zal herverdelen in het profiel, de werkelijke onderhoudsfactor hoger ligt dan de nu gebruikte 2. Tevens bestaat de kans dat het werkelijk benodigde onderhoud kleiner is dan de gebruikte factor. Om deze onzekerheden in de kostenraming in beeld te kunnen brengen wordt als ondergrens voor het onderhoud een factor 1,5 aangehouden. Als bovengrens wordt een factor 3 gehanteerd.
De inschatting van de onderhoudsbehoefte van het steunduin is dus een erg onzekere inschatting.