

Opdrachtgever:

Provincie Noord-Holland

Integrale beoordeling zwakke schakels Noord-Holland

Basisrapport morfologie



A1474

December 2005

Opdrachtgever **Provincie Noord-Holland**

Titel **Integrale beoordeling zwakke schakels
Noord-Holland**
Basisrapport morfologie

Binnen deze deelstudie is onderzocht wat de morfologische effecten zijn van de verschillende landwaartse en zeewaartse alternatieven. Hiertoe is gebruikt gemaakt van de resultaten van een aantal met het morfologische model *PONTOS* uitgevoerde simulaties. Met dit computermodel zijn de relatieve effecten op de kust en het benodigde onderhoud gekwantificeerd en is vervolgens een oordeel gegeven over het verwachte verschil in de onderhoudsbehoefte tussen de doorgerekende basisalternatieven. In aanvulling op deze meer gedetailleerde uitwerkingen is ook kwalitatief ingegaan op de effecten van de alternatieven op de grootschalige morfologie.

Projectbegeleider opdrachtgever: Ir. R.L. van Wagendonk
Projectleider Arcadis: Drs. P.A. Weijers
Deelprojectleider Alkyon: Dr.Ir. H.J. Steetzel
Projectmedewerkers: ir. M.C. Onderwater, ir. R.C. Steijn

Rev.	Auteur	Datum	Bijzonderh.	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0	H.J. Steetzel	31-08-05	Voorlopig	<i>nog niet</i>	<i>nog niet</i>
1	H.J. Steetzel M.C. Onderwater	23-09-05	Concept	R.C. Steijn	M.C. Onderwater
2	H.J. Steetzel M.C. Onderwater	25-10-05	Concept	R.C. Steijn	M.C. Onderwater
3	H.J. Steetzel M.C. Onderwater	8-12-05	Finaal	R.C. Steijn	M.C. Onderwater

Document Specificaties	Inhoud	Status
Rapport nummer: A1474R3r3 Sleutelwoorden: Kustlijn, kustlijnen, modellering PONTOS-model, grootschalige morfologie Project nummer: A1474 Bestand: A1474R3r3	tekst pagina's : 45 tabellen : 8 figuren : 28 appendices : 1	☐ voorlopig ☐ concept ☒ eindrapport



Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding.....	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Aanpak	1
1.4	Leeswijzer	2
2	Het gebruikte rekenmodel: het PONTOS-model	3
2.1	Het ontwikkeltraject	3
2.2	Beschikbare versie	3
2.3	Geschiktheid en gebruik	3
2.4	Relatie met voorgaande studie	4
3	Morfologie van de Kop van Noord-Holland	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Morfologische ontwikkelingen	5
3.3	Kustlijnontwikkeling en kustonderhoud per deelsectie	6
4	Opzet morfologische berekeningen.....	9
4.1	Inleiding	9
4.2	Definitie kustvakken	9
4.3	Aangepaste hydraulische randvoorwaarden	10
4.4	Definitie beschouwde basisalternatieven	11
4.5	Strandhoofden	12
4.6	Huidige trends	12
5	Gesimuleerde kustlijnontwikkeling.....	15
5.1	Inleiding	15
5.2	Ontwikkelingen zachte maatregelen	15
5.2.1	Beschrijving van de relevante processen	15
5.2.2	Beschrijving van de rekenresultaten	17
5.3	Ontwikkelingen bij harde constructies	18
5.3.1	Beschrijving van de relevante processen	18
5.3.2	Beschrijving van de rekenresultaten	20
6	Berekende ontwikkeling kustonderhoud	21
6.1	Inleiding	21
6.2	Presentatie van de resultaten	21
6.2.1	Alternatief A: Nulalternatief	21
6.2.2	Alternatief B: Gladde Kust	21
6.2.3	Alternatief C: Duinzoom in de Lift	21
6.2.4	Alternatief D: Harde Kust	22
6.2.5	Alternatief E: Zachte Kust	22
6.3	Vergelijking van de alternatieven	23

6.4	Verdere uitwerking harde kust	24
6.4.1	Inleiding	24
6.4.2	Schatting van onderhoudsbehoefte bij geoptimaliseerde configuratie	24
6.4.3	Vergelijking met eerdere conclusies in [WL, 2004]	25
6.5	Interactie tussen de deelsecties	26
6.6	Suppletiebeleid	27
7	Vergelijking tussen de basisalternatieven.....	31
7.1	Inleiding	31
7.2	Onderhoudsbehoefte in de eerste 5 jaar na aanleg	31
7.3	Onderhoudsbehoefte op langere termijn	32
7.4	Conclusies	32
8	Grootschalige morfologie	35
8.1	Inleiding	35
8.2	Nieuwe Schulpengat	35
8.3	Waddenzee	36
8.4	Grootschalige zandwinning	37
9	Nieuwe combinatiealternatieven en optimalisaties.....	39
9.1	Inleiding	39
9.2	Morfologische aspecten met betrekking tot nieuwe combinatiealternatieven	39
9.2.1	Basisalternatief Gladde Kust in combinatie met Marina Petten	39
9.2.2	Basisalternatief Duinzoom in de Lift in combinatie met Marina Petten	40
9.3	Morfologische aspecten met betrekking tot optimalisaties	41
9.3.1	Lager banket bij basisalternatief Gladde Kust	41
9.3.2	Pette mer Zeewering als overslagdijk	42
10	Conclusies	43
10.1	Resultaten uitgevoerde simulaties	43
10.2	Effecten op grootschalige morfologie	43

Referenties

Figuren

Annex:

A : Overzichtstabellen van berekende onderhoudsbehoefte voor de basisalternatieven

Lijst van tabellen

- 4.1 Overzicht gehanteerde kustvakken
- 4.2 Overzicht gehanteerde golfklimaatstations
- 4.3 Overzicht gehanteerde getijklimaatstations

- 7.1 Overzicht gemiddeld onderhoud in eerste 5 jaar per alternatief
- 7.2 Overzicht gemiddeld onderhoud na 10 jaar per alternatief
- 7.3 Overzicht gemiddeld onderhoud na 25 jaar per alternatief

- 9.1 Overzicht van de berekende onderhoudsbehoefte voor alternatief Gladde Kust met Marina Petten.
- 9.2 Overzicht van de berekende onderhoudsbehoefte voor alternatief Duinzoom in de Lift met Marina Petten.

Lijst van figuren

- 2.1 Overzicht ligging PONTOS-model langs Nederlandse Noordzeekust
- 2.2 Ligging PONTOS-model in meer detail
- 2.3 PONTOS-model in gestrekte vorm met lokatie relevant deel van het rekenmodel

- 4.1 Overzicht model voor Hollandse kust; Detail relevant deel Noord-Hollandse kust
- 4.2 Overzicht onderzochte basisalternatieven; Nulalternatief (A), "Gladde kust" (B), "Duinzoom in de lift" (C) en "Harde kust" (D)
- 4.3 Overzicht onderzochte basisalternatieven in meer detail; Nulalternatief (A), "Gladde kust" (B), "Duinzoom in de lift" (C) en "Harde kust" (D)
- 4.4 Overzicht aanwezige trends in kustlijnontwikkeling en kustonderhoud

- 5.1 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief A – Nulalternatief; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 5.2 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief B – Gladde kust; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 5.3 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief C – Duinzoom in de lift; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 5.4 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief D – Harde kust; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 5.5 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief E – Zachte kust; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar

- 6.1 Overzicht benodigd kustonderhoud A – Nulalternatief; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 6.2 Overzicht benodigd kustonderhoud B – Gladde kust; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 6.3 Overzicht benodigd kustonderhoud C – Duinzoom in de lift; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 6.4 Overzicht benodigd kustonderhoud D – Harde kust; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 6.5 Overzicht benodigd kustonderhoud E – Zachte kust; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 6.5 Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 10 jaar; Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief
- 6.6 Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 25 jaar; Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief
- 6.7 Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 50 jaar; Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief
- 6.8 Tijdsontwikkeling totaal benodigd kustonderhoud; Gesommeerd over totale rekengrid

- 7.1 Overzicht gemiddeld kustonderhoud in eerste 5 jaar voor de verschillende alternatieven
- 7.2 Overzicht gemiddeld kustonderhoud na 10 jaar voor de verschillende alternatieven
- 7.3 Overzicht gemiddeld kustonderhoud na 25 jaar voor de verschillende alternatieven

- 8.1 Kaart omgeving Kop van Noord-Holland; Overzicht lokaties geulen en banken



- 9.1 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief B – Gladde kust met marina; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 9.2 Overzicht benodigd kustonderhoud - Gladde kust met marina; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar
- 9.3 Overzicht kustontwikkeling basisalternatief C – Duinzoom in de lift met marina; Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
- 9.4 Overzicht benodigd kustonderhoud - Duinzoom in de lift met marina; Per individuele rekencel en gemiddeld per vak; Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de 'Startnotitie voor de Zwakke Schakels Noord-Holland' is een eerste evaluatie gemaakt van een groot aantal mogelijke oplossingsrichtingen langs de kustlijn van Noord-Holland. Teneinde in relatief korte tijd en met beperkte middelen een uitspraak te kunnen doen over de haalbaarheid van de verschillende oplossingsrichtingen is hierbij grotendeels gebruik gemaakt van beschikbare informatie, eenvoudige rekenmodellen en expert judgement. Mede op basis hiervan kon een keuze worden gemaakt voor een drietal basisalternatieven.

In de 'Integrale beoordeling van de Zwakke Schakels Noord-Holland' vindt een nadere verdiepingsslag plaats. Hierbij worden een aantal aspecten met betrekking tot de effecten van de maatregelen op een groter detailniveau uitgewerkt, dit met als doel om tot een weloverwogen voorkeursalternatief te komen.

Een van de in dit kader uit te voeren activiteiten heeft betrekking op het simuleren (met behulp van een numeriek model) van de kustmorfologische ontwikkelingen voor de gedefinieerde basisalternatieven en een referentiealternatief (het zogenaamde nulalternatief).

In aanvulling op de uitvoering en interpretatie van deze simulaties is ook gekeken naar de mogelijke effecten van de basisalternatieven op de grootschalige morfologie (morfologische processen op een ruimtelijke schaal van kilometers en een tijdschaal van decennia tot eeuwen).

Voorliggend deelrapport beschrijft de opzet en resultaten van deze morfologische studie.

1.2 Doelstelling

Het doel van de voorliggende studie is het verkrijgen van inzicht in de kustmorfologische effecten van de verschillende alternatieven, waarbij de aandacht vooral uitgaat naar (het verschil in) de grootte van het benodigde kustonderhoud per oplossingsrichting. Ook zal aandacht worden besteed aan de grootschalige morfologie.

1.3 Aanpak

Voor het uitvoeren van de morfologische simulaties is gebruik gemaakt van een numeriek morfologisch model, namelijk een reeds gecalibreerde versie van het zogenaamde PONTOS-model. Dit betreft een in opdracht RWS/RIKZ ontwikkeld rekenmodel waarmee de (relatieve) effecten van klimaatsmutaties en beleidsmaatregelen (constructies en suppleties) in kaart kunnen worden gebracht [Alkyon/WL, 2004].

De berekeningen zijn primair gericht op de kwantificering van de grootte van het benodigde kustonderhoud. Deze resultaten zullen mede worden gebruikt in de besluitvorming omtrent de keuze van het voorkeursalternatief.

De beschouwing over de grootschalige morfologie zal worden gebaseerd op bestaande kennis over de het kuststelsel rond de Kop van Noord-Holland.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van deze rapportage is nader ingegaan op het voor de simulaties gebruikte rekenmodel. Hierin is ook aandacht besteed aan de beschikbare afregeling van de modeltoepassing.

In hoofdstuk 3 wordt de morfologie van de Noord-Hollandse kust kort beschreven en komt met name het thans aanwezige kustonderhoud aan de orde.

Hoofdstuk 4 beschrijft de opzet van de uitgevoerde morfologische berekeningen, dit met speciale aandacht voor de nadere definitie van de onderzochte alternatieven.

De resultaten van de berekeningen worden beschreven in hoofdstuk 5, waarna in hoofdstuk 6 nader wordt ingegaan op de berekende grootte van het kustonderhoud.

Aansluitend komt in hoofdstuk 7 de onderlinge vergelijking tussen de verschillende basisalternatieven aan de orde.

In hoofdstuk 8 wordt, in aanvulling op de deze meer gedetailleerde beschouwingen, aandacht besteed aan de effecten van de verschillende basisalternatieven op het meer grootschalige morfologische systeem rond de Kop van Noord-Holland.

In hoofdstuk 9 wordt ingegaan op de gedefinieerde combinatiealternatieven en optimalisaties die zijn gedefinieerd na de eerste beoordeling van de basisalternatieven (zie hoofdstuk 5 van het hoofdrapport van de Integrale Beoordeling).

In hoofdstuk 10 zijn de voornaamste conclusies samengevat.

2 Het gebruikte rekenmodel: het PONTOS-model

2.1 Het ontwikkeltraject

In opdracht van RWS/RIKZ wordt sinds 1996 in een aantal etappes gewerkt aan de ontwikkeling van een grootschalig morfologisch model voor de Nederlandse Noordzeekust (zie o.a. [Alkyon/WL, 1998] en [Alkyon/WL, 2004]). Dit zogenaamde PONTOS-model is geschikt om de ontwikkeling van de kust voor verschillende klimaat- en managementscenario's te simuleren. Op basis hiervan kan onder andere een inschatting worden verkregen omtrent het op termijn benodigde kustonderhoud.

2.2 Beschikbare versie

In een eerste versie van het PONTOS-model was het alleen mogelijk om een ononderbroken kustlijn te simuleren. Interacties van bijvoorbeeld zeegaten (en de daaraan gerelateerde delta's) was niet mogelijk. In de meest recente versie van dit PONTOS-model (versie 2.0) kan ook de ontwikkeling van de onderbroken kust en de achtergelegen getijddebekkens onderdeel uit van de modellering. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van dit laatste PONTOS/ASMITA-model kan worden verwezen naar de betreffende onderzoeksrapportage [Alkyon/WL, 2004].

De toepassing van dit model heeft zich in het kader van deze laatste studie gericht op de Nederlandse Noordzeekust. De kustlijn tussen Cadzand en Rottemerplaat is hierbij gesimuleerd in één model. Deze applicatie binnen het PONTOS-model is het zogenaamde NLKUST-model. In figuur 2.1 is de ligging van dit model langs de Nederlandse kust gegeven. Figuur 2.2 geeft hiervan nog een meer gedetailleerde weergave.

Bij de met dit model uitgevoerde simulaties gaat de aandacht voornamelijk uit naar de ontwikkelingen op een termijn van 50 jaar. In een recent opgestarte studie worden nu ook de grootschalige ontwikkelingen op veel langere termijn (tot zelfs 200 jaar) in beschouwing genomen [Alkyon/WL, 2005].

2.3 Geschiktheid en gebruik

Het gebruik van dit rekenmodel past binnen de thans voorliggende vraagstelling. Er moet immers worden gewerkt aan een meer integrale beoordeling van verschillende alternatieven waarin met name de samenhang tussen de lokale oplossingen op de grotere schalen tot uitdrukking moet komen.

Voor wat betreft de ruimteschaal moet daarbij worden ingezoomd op het kustdeel tussen de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering en Huisduinen nabij Den Helder. De voor in het kader van deze Integrale Beoordeling ontwikkelde kustlijnschematisatie heeft dan ook betrekking op de Hollandse kust waarbij er sprake is van een toenemende mate van detail voor het noordelijke deel van de Noord-Hollandse kust.

Het relevante deel van het model is weergegeven in figuur 2.3. In deze figuur is gebruik gemaakt van de gestrekte versie van het model met op de horizontale as de positie van de kust langs de PONTOS-referentielijn (een speciaal voor dit model geformuleerde grootschalig coördinaten-systeem).

2.4 Relatie met voorgaande studie

Ter vergelijking met de eerder in het kader van deze planstudie door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) uitgevoerde morfologische beschouwingen wordt er nu gewerkt met een geavanceerd meerlijnenmodel. In de studie van WL is een enkel lijnmodel (UNIBEST) toegepast om de plannen nader uit te werken.

Binnen het meerlijnenmodel wordt de grootte van het sedimenttransport als functie van een grote hoeveelheid combinaties van waterstands-, stroom- en golfcondities voor elke kustzone apart (duin, strand, vooroever, ...) gekwantificeerd en wordt bovendien rekening gehouden met de interne uitwisseling (het dwarstransport) tussen de verschillende zones.

Naast de al eerder genoemde klimaatscenario's (zeespiegelstijging, mutaties in het golfklimaat, ...) kunnen binnen het model ook suppleties worden uitgevoerd.

Verder is het mogelijk om, gegeven een bepaalde ligging van de basiskustlijn (de BKL), het op termijn benodigde kustonderhoud in plaats en tijd te kunnen uitrekenen.

Uit het bovenstaande volgt, dat er in het kader van de Integrale Beoordeling andere, meer geavanceerde rekenmodellen zijn toegepast in vergelijking tot de vorige fase van de planstudie. Dit is een logisch gevolg van het feit dat er nu in meer detail naar de alternatieven wordt gekeken. Door het toepassen van andere modellen is het niet per definitie zo dat de thans gegenereerde resultaten naadloos zullen aansluiten op die van de vorige studie.

3 Morfologie van de Kop van Noord-Holland

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is een kort overzicht gegeven van de (ontwikkeling van de) morfologie van de Noord-Hollandse kust. Voor een meer gedetailleerde beschrijving kan onder andere worden verwezen naar de relevante secties van een ten behoeve van de eerste interprovinciale kustvisie uitgevoerde bureaustudie [Alkyon / Arcadis / Nieuwe Gracht, 2000].

De meer grootschalige ontwikkelingen komen in hoofdstuk 8 aan de orde.

3.2 Morfologische ontwikkelingen

De recente morfologie van de kustzone in de kop van Noord Holland is het resultaat van eeuwenlange menselijke beïnvloeding van de natuurlijke morfologische processen in het gebied. Het kustvak tussen Petten en Den Helder is reeds eeuwen onderhevig aan kust-achteruitgang. Dit kan deels worden verklaard uit de eroderende werking van getij- en golfgedreven stromingen in combinatie met het zand-opwoelende effect van golven en deels uit de netto zand-importerende werking van de Waddenzee, via het Zeegat van Texel.

Hoewel tegenwoordig sprake is van een gesloten kustsysteem, was daar rond 1350 nog geen sprake van. De kustlijn bij de voormalige plaatsen Huusdunen, Callinghe en Pethem werd doorsneden door zeegaten die weliswaar ondiep waren, maar toch in tijden van stormvloed tot overstroming van het laaggelegen achterland leidden. Met de - soms provisorische - aanleg van dijkjes werd eeuwenlang geprobeerd dit water weg te houden. In de periode 1550-1600 werd een zanddijk gebouwd tussen Callantsoog en Petten op circa 2 km afstand van de huidige kustlijn. Nadat begin zeventiende eeuw tevens een zanddijk werd voltooid tussen 't Oghe en Huusdunen was de kustlijn min of meer gesloten. Ten noorden van Huusdunen ontwikkelde het Marsdiep zich en migreerde deze zich in zuidwaartse richting. Dit leidde in de periode 1300 - 1600 lokaal tot een kustachteruitgang in de orde van 10 m/jaar. Tussen 1600 en 1800 werd de kust-achteruitgang bestreden met zanddijken en strandhoofden, vaak opgebouwd uit houten palen. Ondanks alle inspanningen bedroeg in deze periode de kustachteruitgang bij Callantsoog circa 3 - 4 m/jaar. Het gevolg van de grote kustachteruitgang was dat zeedijken soms landinwaarts opnieuw moesten worden aangelegd en dat plaatsen als Pethem verloren gingen.

Na 1800 werd de kwaliteit van de kustverdedigingswerken telkens beter. Desondanks kon de kustachteruitgang niet tot staan worden gebracht. Dit is duidelijk te zien bij de Hondsbossche Zeewering nabij het huidige Petten. Deze zeedijk uit circa 1880 steekt inmiddels enkele honderden meters in zee ten opzichte van de beide aanliggende kustvakken. Door de aanleg van harde verdedigingswerken werd de zuidwaartse migratie van het Marsdiep tot staan gebracht. Als gevolg hiervan heeft het Marsdiep zich in verticale zin uitgebouwd tot huidige diepten van maximaal NAP -50 m [Alkyon / Arcadis / Nieuwe Gracht, 2000].

Ook nu nog wordt de lange termijn ontwikkeling van de kust van Callantsoog tot Den Helder gekenmerkt door erosie, die wordt bestreden met zandsuppleties. Ook de trends uit de zogenaamde kustlijnkaarten duiden op een voortgaande erosie.

3.3 Kustlijnontwikkeling en kustonderhoud per deelsectie

In het volgende wordt in wat meer detail ingegaan op de meer recente ontwikkelingen van aantal deelsecties. In aanvulling op de standaard raai-kilometrerings is hierbij ook de lokatie van de deelsectie op het zogenaamde PONTOS-rekengrid gegeven. In het volgende hoofdstuk komen we hier nog op terug.

Traject Den Helder-Julianadorp (raai 150-728; km 211,0-216,8)

Met strandsuppleties in 1993, 1996, 1999, 2001 en 2003 kan worden gesteld dat dit gedeelte van de kust bijzonder onderhoudsgevoelig is. De structurele erosie in dit gebied bedraagt ongeveer $50 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$. Een landwaartse migratie van de geul "Nieuwe Schulpengat" nabij raai 409 (km 214,2 in PONTOS) ligt wellicht ten grondslag aan de erosie. Hoewel de snelheid van de landwaartse verplaatsing van deze geul na 1995 is afgenomen, heeft dit overigens niet direct een afgenomen suppletiebehoefte tot gevolg.

Ten zuiden van raai 588 (km 212,4 in PONTOS) worden lichte negatieve trends afgewisseld met sedimentatie van de kust. Ontwikkelingen van de geul "Nieuwe LandsDiep", dat gepaard gaat met een landwaartse verplaatsing van het Franse Bankje, lijkt vooralsnog een positieve ontwikkeling te hebben op de kustlijn ter plaatse (tot raai 808; km 210,2 in PONTOS).

In het gehele beschouwde gebied zijn er thans geen raaien waar de Momentane KustLijn (MKL) landwaarts ligt van de BasisKustLijn (BKL), en ondanks een het zware stormseizoen 2003/2004 is er zelfs nog sprake van een voldoende grote zandbuffer.

Callantsoog (raai 1108-1708; km 201,3-207,3)

Verondersteld wordt dat, als gevolg van zwaardere golfrandvoorwaarden, rekening moet worden gehouden met een grotere hoeveelheid afslag van de duinwaterkering tijdens maatgevende stormomstandigheden. Om de veiligheid van de duinwaterkering te verbeteren zijn in 2003 en 2004 suppleties uitgevoerd op het strand tussen raai 1108 en 1381 (km 204,6-207,3 in PONTOS).

Tevens is een onderwatersuppletie uitgevoerd in 2003 tussen Groote Keeten en het Zwanenwater (raai 1000 tot 1606; km 202,4-208,4 in PONTOS), waarbij de vooroever direct voor Callantsoog van een extra zandhoeveelheid werd voorzien. De kustlijn waar de strandsuppletie is aangebracht is nog niet getoetst met betrekking tot de ligging van de Momentane KustLijn (MKL) ten opzichte van de BasisKustLijn (BKL).

Ten zuiden van raai 13,81 (km 204,6 in PONTOS) zijn er een drietal raaien voor het natuurgebied "het Zwanenwater" waar de BKL al jarenlang overschreden is. Hoewel de mate van overschrijding niet is toegenomen, zijn er nu vier onvoldoende raaien ten opzichte van drie stuks bij de toetsing van de kustlijn in 2004. Er wordt vertrouwd op een positieve werking van de vooroeversuppleties om deze situatie ongedaan te maken (Het betreft hier de in 2003 uitgevoerde onderwatersuppletie tussen raai 10 en 16). Zoals uit recente metingen blijkt is deze positieve werking goed zichtbaar.

Petten (raai 1827-2023; km 198,2-200,2)

De kust voor Petten staat onder invloed van de Pettemer zeewering en Hondsbossche Zeewering. Tussen raai 1827 en de Pettemer Zeewering bedraagt de natuurlijke achteruitgang van de Kustlijn 2,5 tot 5,0 meter per jaar. Het zandvolume gaat hiermee gemiddeld $50 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$ achteruit. Vanaf het Zwanenwater tot raai 1983 zijn geen



overschrijdingen van de kustlijn waar te nemen. De strandsuppletie van 2002 houdt de kustlijn ter plekke vooralsnog op peil, al begint de zandbuffer bij enkele raaien laag te worden.

Evenals bij Callantsoog zijn, ter verbetering van de veiligheid, in 2003 en 2004 strand-suppleties uitgevoerd. Dit vond plaats tussen raai 1983 (km 198,6) en de Pettemer zeewering, waarbij ook de teen van dijk tot en met raai 2058 (km 194,9) van zand is voorzien (aansluiting duin op dijk).

4 Opzet morfologische berekeningen

4.1 Inleiding

Bij de opzet van de PONTOS-berekeningen is getracht zoveel mogelijk aan te sluiten bij in andere kaders uitgevoerde berekeningen [Alkyon/WL, 2004].

Figuur 4.1 geeft een overzicht van het PONTOS-model voor de Hollandse kust, alsmede een detail van het relevante deel van de kust voor deze studie.

4.2 Definitie kustvakken

Bij de integrale beoordeling zijn een viertal kustvakken gedefinieerd. Bij de berekening van de morfologische effecten wordt grotendeels aangesloten bij deze vakindeling. De enige uitzondering hierop is kustvak 4. Het morfologische model reikt tot aan Den Helder. Dit meest noordelijke gebied wordt in sterke mate beïnvloed door bijvoorbeeld het Zeegat van Texel en de aanwezigheid van het nieuwe Schulpengat. Dit alles is lastig te modelleren en daardoor zijn resultaten uit het model voor dit gebied niet erg nauwkeurig. Dit is in principe geen probleem aangezien niet wordt verwacht dat de maatregelen in de basisalternatieven enig effect zullen hebben op de kustontwikkeling in dit gebied. Om de kustontwikkeling in het zuidelijk deel van kustvak 4 (van Grootte Keeten tot Julianadorp) voldoende nauwkeurig te kunnen beschouwen, is gekozen voor opsplitsing van kustvak 4 in twee vakken:

- kustvak 4: Grootte Keeten – Julianadorp;
- kustvak 5: Julianadorp – Den Helder;

In de effectenanalyse zal alleen kustvak 4 worden beschouwd. Het een en ander heeft geen effect op de integrale beoordeling aangezien er in kustvak 5 toch geen effecten worden verwacht. De reden hiervoor is dat dit kustvak (wat betreft de sedimentstroom) benedenstrooms ligt van de overige kustvakken. Kustvak 5 wordt dus "aangestuurd" door de kustvakken 1 tot en met 4 (en dan met name kustvak 4). In de meest noordelijke sectie van kustvak 4 zijn geen maatregelen voorzien. Er wordt dus verwacht dat hier ook geen significante veranderingen in de langstransporten op zullen treden (en dus ook niet in kustvak 5).

In figuur 4.1 en in onderstaande tabel 4.1 is de definitie van de vakken weergegeven. Vak 1 valt hierbij samen met de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering. Vak 3 heeft betrekking op het kustdeel bij Callantsoog. De positie van de grenzen van de verschillende vakken is afgestemd op de geometrie van de binnen de verschillende basisalternatieven gedefinieerde maatregelen.

Nr.	RSP		Model		Lengte [km]	Opmerkingen
	Van km	Tot km	Van km	Tot km		
1a	26.06	21.73	192,5	198	5,500	Hondsbossche- en Pettemer Zeewering
1b	21.73	20.23	198	204	6,000	
2	20.23	14.21	204	209	5,000	Callantsoog
3	14.21	9.28	209	214	5,000	
4	9.28	4.09	214	218	4,000	

Tabel 4.1: Overzicht gehanteerde kustvakken.

4.3 Aangepaste hydraulische randvoorwaarden

In beginsel is bij de definitie van de hydraulische randvoorwaarden aangesloten op de ook bij de opzet van het NLKUST-model gehanteerde informatie. Deze informatie heeft betrekking op stations op dieper water, buiten de buitendelta's om.

Darnaast is het voorliggende project gebruik gemaakt van de resultaten van aanvullende SWAN- en KUSTSTROOK-model berekeningen, gericht op het genereren van randvoorwaarden vlak onder de Noord-Hollandse kust.

Met behulp van deze informatie is een aangepaste uitsnede van het NLKUST-model gedefinieerd, het zogenaamde HKKUST-model.

Golfklimaat

Voor het NLKUST-model is gebruik gemaakt van golfklimaatinformatie in een vijftal stations langs de Nederlandse kust. Dit betreft het golfklimaat in de diepwaterstations 1-WHK (Westhinderbank voor de Belgische kust), 2-EUR (Euromaasgeul), 3-IJM6 (bij IJmuiden), 4-ELD (Texel) en 5-SON (Schiermonnikoog).

De twee noordelijk gelegen stations zijn voor de huidige toepassing niet van belang daar we nu juist geïnteresseerd zijn in de hydraulische randvoorwaarden aan de binnenzijde van de buitendelta van het Zeegat van Texel (ofwel het Nieuwe Schulpengat). Het meest zuidelijke station valt ook buiten het interessegebied.

In het kader van dit project zijn daartoe golfklimaten gegenereerd in een groot aantal punten voor en achter deze buitendelta. De informatie van vier van deze stations is gebruikt als randvoorwaarde voor deze studie. Het gaat hierbij om de nummers (komende van zuid via het Nieuwe Schulpengat naar het Marsdiep) P13, P10, P07 en P03.

In overzicht zijn uiteindelijk de volgende zes stations gebruikt voor het HKKUST-model. De positie heeft hierbij betrekking op de lokatie langs de PONTOS-referentielijn.

Nr.	X [km]	Opmerkingen
2 (oud; EUR)	59,889	
3 (oud; IJM6)	159,907	
6 (nieuw; P13)	202,084	Rand buitendelta
7 (nieuw; P10)	207,296	
8 (nieuw; P07)	212,644	
9 (nieuw; P03)	218,140	Marsdiep

Tabel 4.2: Overzicht gehanteerde golfklimaatstations.

Getijklimaat

Voor het NLKUST-model is gebruik gemaakt van getijkklimaatinformatie in een negental stations langs de Nederlandse kust.

De vier noordelijk gelegen stations alsmede de twee meest zuidelijke stations zijn voor de huidige toepassing niet van belang. Ten behoeve van deze studie is voor de stations 6 t/m 9 gebruik gemaakt van de berekende karakteristieke condities in de stations P13, P10, P07 en P03. Dit leidt uiteindelijk tot de in tabel 4.3 gegeven stations.

Nr.	X [km]	Opmerkingen
3 (oud)	60,986	
4 (oud)	120,313	
5 (oud)	183,431	
6 (nieuw; P13)	202,084	Rand buitendelta
7 (nieuw; P10)	207,296	Marsdiep
8 (nieuw; P07)	212,644	
9 (nieuw; P03)	218,140	

Tabel 4.3: Overzicht gehanteerde getijklimaatstations.

Nadere analyse van de tijdsgemiddelde stroominformatie voor de midden in het Nieuwe Schulpengat gelegen stations 7/P10 en 8/P07 liet zien dat er in deze stations sprake was van een netto zuidgaande stroom, iets wat overigens ook klopt met de constatering dat deze geul eb-gedomineerd is. Dichter onder de kust is er echter wel sprake van een netto noordwaarts gerichte stroming.

Voor de kustlijnontwikkeling is met name deze laatste stroming van belang. Teneinde deze geleidelijk toenemende kustnabije getijstroom op een adequate wijze in rekening te brengen is voor wat betreft de getijcondities tussen de rand van de buitendelta en het Marsdiep gebruik gemaakt van een interpolatie tussen de resultaten van station 6/P13 en 9/P03.

Ofschoon deze vereenvoudiging aanleiding geeft tot een minder betrouwbare resultaten voor kustvak 5, feitelijk aan de "benedenstroomse" rand van het interessegebied gelegen, zal dit geen noemenswaardig effect hebben op de onderlinge vergelijking van de gedefinieerde basisalternatieven. De maatregelen in de basisalternatieven omvatten namelijk allemaal maatregelen aan de "bovenstroomse" zijde. Dit betekent dat een minder betrouwbare beschrijving van processen in kustvak 5 geen invloed zullen op de nauwkeurigheid van de resultaten in de kustvakken 1 tot en met 4.

4.4 Definitie beschouwde basisalternatieven

In het kader van de voorliggende studie zijn een vijftal hoofdalternatieven onderzocht. Deze hebben respectievelijk betrekking op:

- A Het nul-alternatief;
- B De gladde kust;
- C Duinzoom in de lift;
- D De harde kust;
- E De zachte kust.

In figuur 4.2 en 4.3 is een overzicht gegeven van de verschillende basisalternatieven en de inpassing in het model.

In het Nulalternatief is er sprake van een zeewaartse verplaatsing van het strand en het duin ter plaatse van Callantsoog en wordt de kustlijn onderhouden over de volledige strekking (voor $x > 198$ km).

Bij de Gladde Kust is de strand- en brekerzone-laag (tussen NAP-7 m en NAP+3 m) over een deel van de kust over 200 m in zeewaartse richting verplaatst. Meer noordelijk neemt deze uitbouw af tot 0 m bij km 214.

In het geval van basialternatief Duinzoom in de Lift is er geen sprake van zeewaartse maatregelen en is volstaan met het handhaven van de basiskustlijn.

Bij de basialternatief Harde Kust is ter plaatse van Callantsoog een serie 350 m lange (gerekend vanaf de duinvoet en voldoende hoge) dammen aangebracht waartussen de kustlijn bovendien in zeewaartse richting is verplaatst (over een afstand van 75 meter). Langs de zeewering is een breder zandbanket nodig dan bij Callantsoog (namelijk minimaal 150 meter). Om deze reden is gekozen voor een iets langere dam (550 meter vanuit de teen van de zeewering). In vergelijking tot de in de startnotitie gepresenteerde basialternatieven is er echter verschil met betrekking tot de dimensies van de dammen. De onderlinge afstand is 800 meter in plaats van 750 meter. Dit is gedaan omdat het rekenmodel rekent op een grid van 200 meter en in het model dient elk van de dammen op een grid punt te liggen (de onderlinge afstand kan dus alleen maar een veelvoud van 200 meter zijn).

In basialternatief Zachte Kust is dezelfde hoeveelheid zand toegepast als voor basialternatief Harde Kust. Echter, in dit alternatief zijn de dammen langs de zeewering achterwege gelaten. Op grond hiervan kan dus het effect van de dammen op het onderhoud van het zandlichaam nader onderzocht worden.

Een meer gedetailleerde beschrijving van de beschouwde alternatieven is gegeven in [Alkyon, 2005].

4.5 Strandhoofden

Momenteel ligt er een reeks strandhoofden langs de zandige kustlijn tussen Petten en Den Helder. Deze strandhoofden hebben een geringe kruinhoogte, waardoor deze geen sterke remming in het langstransport veroorzaken. De strandhoofden hebben alleen tot doel het langstransport zodanig te reguleren dat er lokaal geen sterke erosie ontstaat (de erosie wordt als het ware uitgesmeerd over een grotere afstand). In de uitwerking van de basialternatieven is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van strandhoofden. Aangenomen is dat de nieuwe kustlijn, in geval van een zandige maatregel, zodanig ontworpen wordt (in termen van kustlijnoriëntatie), dat de bouw van nieuwe strandhoofden overbodig is.

Daarnaast is net maar de vraag of de strandhoofden ook daadwerkelijk zand "vasthouden". Op luchtfoto's is waargenomen dat de strandhoofden gedurende stormcondities muistromen tot gevolg kunnen hebben (zie voor beschrijving van dit proces ook paragraaf 5.3.1) Dit heeft een zeewaarts gericht verlies van zand tot gevolg. Kortom: Er is wat voor te zeggen om een goed ontworpen kustboog zonder strandhoofden toe te passen.

4.6 Huidige trends

In aanvulling op de berekende ontwikkeling van de kust is bij de uitwerking voornamelijk gekeken naar de ontwikkeling van het benodigde kustonderhoud. Dit kustonderhoud is per definitie mede gerelateerd aan de huidige ontwikkeling van de kustlijn.

In figuur 4.4 is een overzicht gegeven van de in de kustlijnkaarten gegeven trends in de momentane positie van de kustlijn (de zogenaamde MKL-trends).

De lokaties met een negatieve trend (orde 4 m/jaar achteruitgang van de kust) zijn hierbij met een cirkel aangegeven.



Deze lokaties komen overeen met de lokaties waarbij er sprake is van kustonderhoud door uitvoering van suppleties (zie onderste figuur).

In deze laatste figuur is sprake van een viertal lijnen, te weten het gemiddeld gerealiseerde onderhoud in de periode 1990-2003 en de periode 2000-2003.

Het recent uitgevoerde onderhoud (periode 2000-2003) bedraagt op de erosieve trajecten orde 100 m³/m¹/jaar.

5 Gesimuleerde kustlijnontwikkeling

5.1 Inleiding

Ten aanzien van de resultaten van de uitgevoerde berekeningen gaat de aandacht met name uit naar de ontwikkeling van de omvang van de benodigde suppleties. Voor wat betreft de zichtbare kustontwikkeling is er bij handhaving van de bestaande kustlijn niet veel te zien wanneer alleen naar de ontwikkeling van de kustlijn wordt gekeken. De voornaamste effecten zullen met name waarneembaar zijn in de omgeving van harde constructies, maar ook zullen er lokaal bij aangebrachte zandvolumes (en dan met name bij de uiteinden hiervan) effecten waarneembaar zijn.

Ter illustratie van de uitgevoerde simulaties is in figuur 5.1 t/m 5.5 een beeld gegeven van de initiële kustlijnligging en de positie van de dieptelijnen na 25 jaar.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de ontwikkelingen bij de zachte basisalternatieven (zie paragraaf 5.2) en de ontwikkelingen bij basisalternatief Harde Kust (zie paragraaf 5.3).

5.2 Ontwikkelingen zachte maatregelen

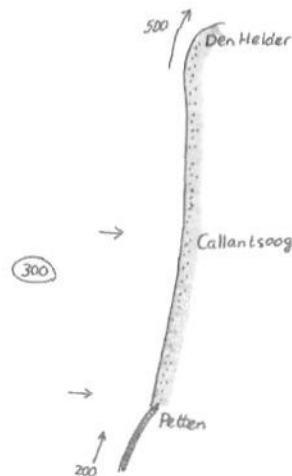
5.2.1 Beschrijving van de relevante processen

In deze paragraaf zijn enkele relevante processen beschreven met betrekking tot het huidige kustmorfologische systeem en een systeem met een kustuitbreiding langs een rechte kustlijn. In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de onderhoudsbehoefte. In datzelfde hoofdstuk zal nog iets dieper worden ingegaan op de processen in relatie tot het onderhoud.

Teneinde het een en ander meer tot de verbeelding te laten spreken, is de navolgende beschrijving aangevuld met enige absolute waarden voor langstransporten. Let wel: Deze waarden zijn slechts schattingen van werkelijk optredende transporten en zijn alleen bedoeld ter verduidelijking van de morfologische processen

Proces in de huidige situatie

In de onderstaande schets is het bestaande kustmorfologische systeem heel schematisch weergegeven.

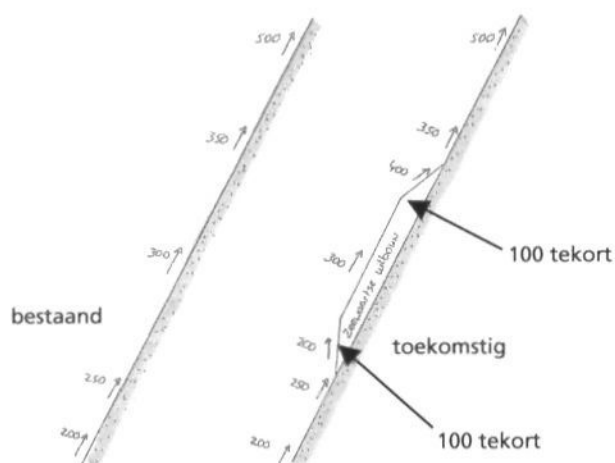


Schets 1

De jaargemiddelde stroom van sediment langs de kust trekt noordelijke richting langs de kust. Tussen Petten en Den Helder neemt het langstransport in noordelijke richting geleidelijk toe van orde $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$ tot orde $500.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Elk jaar treedt er langs dit kustvak dus een tekort aan zand op van ongeveer 300.0000 m^3 . Dit uit zich in een structurele erosie van de kust en deze wordt op zijn beurt weer gecompenseerd door periodieke suppleties.

Proces in geval van een lokale zeewaartse verschuiving van de kustlijn

Wanneer er nu langs deze zelfde kustlijn een lokale verschuiving van de waterlijn in zeewaartse richting wordt gecreëerd, treden er ter plaatse van de kustuitbreiding enkele neveneffecten op. Het een en ander is weergegeven in de onderstaande schets.



Schets 2

Aan weerszijden van de kustuitbreiding zijn de langstransporten niet veranderd ten opzichte van de bestaande situatie (zie de pijlen met doorgetrokken lijn). Ter plaatse van

de kustuitbreiding zijn echter wel veranderingen in het langstransport te verwachten. Uitgaande van een lineair oplopend langstransport in noordwaartse richting is het bestaande langstransport ter plaatse van de kustuitbreiding orde 300.000 m³/j. Aangezien de grootte van het langstransport bepaald wordt door de oriëntatie van de kustlijn, zal ook langs de kust van de kustuitbreiding een transport optreden van 300.000 m³/j (de kustuitbouw ligt parallel aan de oorspronkelijke kustlijn).

Bij de beide uiteinden van de kustuitbreiding wordt vloeiend overgegaan van de nieuwe naar de bestaande kustlijn. Dit betekent dat de oriëntatie van kustlijn lokaal anders is dan in de bestaande situatie. Aan de zuidzijde is de kustlijn iets tegen de klok in gedraaid, wat inhoudt dat het langstransport lokaal afneemt (bijvoorbeeld van 300.000 naar 200.000 m³/j). Aan de noordzijde is de kustlijn juist met de klok mee gedraaid, wat inhoudt dat hier lokaal een verhoging van het langstransport optreedt (bijvoorbeeld van 300.000 naar 400.000 m³/j).

Op basis van de bovenstaande omschrijving kan dus opgemaakt worden dat aan beide uiteinden van de kustuitbreiding een zandtekort optreedt:

- Aan de zuidzijde komt er langs de geleidelijke overgang minder zand binnen dan dat er uitgaat;
- Aan de noordzijde gaat er langs de geleidelijke overgang meer zand weg dan dat er vanuit het zuiden inkomt.

Beide zandtekorten (de zogenaamde "kopse verliezen") dienen te worden gecompenseerd door middel van periodieke suppleties. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader teruggekomen.

In het bovenbeschreven geval zou het onderhoud van de kust dus toenemen van 300.000 m³/j in de bestaande situatie naar $300.000 + 2 \times 100.000 = 500.000$ m³/j in de toekomstige situatie.

5.2.2 Beschrijving van de rekenresultaten

In figuur 5.1 tot en met 5.3 en 5.5 zijn de modelresultaten gepresenteerd voor respectievelijk het Nulalternatief, Gladde Kust, Duinzoom in de Lift en Zachte Kust. In de bovenste figuur wordt de initiële situatie gegeven en in de onderste figuur is de situatie na 25 jaar gegeven. De verschillende kleuren geven de dieptelagen aan. Groen is land, geel is strand en de bruine lagen zijn verschillende lagen op de vooroever. In de onderste figuur is door middel van getrokken lijnen de originele positie van de lagen weergegeven, zodat de verschillen na 25 jaar zichtbaar worden.

Over het algemeen lijkt het effect van de maatregelen op de kust vrij klein. Wanneer het Nulalternatief en Gladde Kust bijvoorbeeld worden vergeleken met Duinzoom in de Lift (een alternatief zonder maatregelen in zee) is in beide gevallen een lichte strekking van de eerste vooroeverlaag (lichtbruin) te zien. Bij het Nulalternatief is tevens een minimale ontwikkeling van het strand te zien aan de beide uiteinden van de kustuitbreiding. Bij de optie Zachte Kust is bij de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering duidelijk een zeewaartse uitbouw van de vooroever te zien. Momenteel is de vooroever vrij steil en daardoor zal er (na aanleg van een groot zandvolume) een sterk zeewaarts verlies van zand optreden. Bij alternatief Zacht Kust is tevens een uitbouw van het strand ten noorden van de Pettemer Zeewering te zien. Dit betekent dus dat een grote hoeveelheid zand voor de zeewering zorgt voor een sterke aanvoer (in ieder geval sterker dan nu het geval is) van zand naar het noorden.

Op basis van alleen de berekende ontwikkeling van de kust is niet veel te zeggen over het effect van de maatregelen op het morfologische systeem. In het volgende hoofdstuk wordt de benodigde onderhoudsbehoefte beschouwd, waaruit wel duidelijk een onderscheid volgt tussen de verschillende alternatieven.

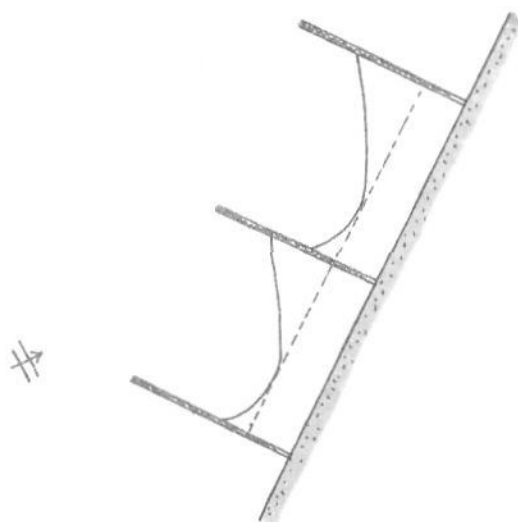
5.3 Ontwikkelingen bij harde constructies

5.3.1 Beschrijving van de relevante processen

In deze paragraaf zijn enkele relevante processen beschreven met betrekking tot een serie dammen langs een kustlijn. In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de onderhoudsbehoefte. In datzelfde hoofdstuk zal nog iets dieper worden ingegaan op de processen in relatie tot het onderhoud.

Evenwichtsligging

De serie dammen langs de kust zijn bedoeld om het zand, dat initieel tussen de dammen wordt aangelegd, zoveel mogelijk vast te houden. Als gevolg van de dammen zal het langstransport (gedeeltelijk) worden geblokkeerd en zal er tussen elk van de damsecties een evenwichtsligging van de kustlijn ontstaan. Deze evenwichtsligging is voor een groot deel afhankelijk van de jaargemiddelde golfrichting. In een onderstaande schets is dit schematisch weergegeven.



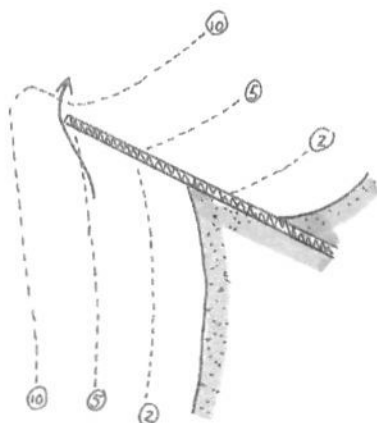
Schets 3

De kustboog dient zodanig ontworpen te worden dat er bij het "meest magere" punt in de kustboog nog net voldoende zand aanwezig is om de veiligheid te waarborgen. In het overige deel van de kustboog is dus (wat betreft veiligheid) teveel zand aanwezig.

Bypass van zand

De evenwichtsligging zoals weergegeven in de voorgaande schets is een momentane weergave van een dynamisch evenwicht. Bij veranderende golfcondities (in hoogte en richting) zal er tussen twee dammen (een "kribvak" of "damsectie") nog steeds transport optreden in kustlangse richting. Ook zal er zo nu en dan zand langs de kop

van de noordelijke dam worden getransporteerd. Dit is het zogenaamde by-pass van zand. Het getransporteerde zand als gevolg van by-pass zal terecht komen in de volgende damsectie (of ten noorden van de laatste dam). Dit hoeft echter niet te betekenen dat al het by-pass transport ten goede zal komen aan de volgende damsectie. In de onderstaande schets is het optredende proces rond de kop van een dam weergegeven.



Schets 4

De dikke getrokken lijn geeft de positie weer van de waterlijn aan de beide zijden van de dam. Aan de noordzijde (lijzijde) ligt de waterlijn duidelijk verder landwaarts dan aan de zuidzijde. Dit komt overeen met de eerdere schets. De gestippelde lijnen geven enkele dieptelijnen weer. Wat opvalt, is dat de lokale waterdiepte aan de noordzijde (als gevolg van de meer landwaarts gelegen kustlijn) groter is dan de waterdiepte aan de zuidzijde. Concreet houdt dit in, dat het bypass zand aan de andere zijde van de dam dus in dieper water terecht komt. Dit heeft tot gevolg dat niet al het zand direct ten goede zal komen aan de naastgelegen damsectie. Slechts een deel van het bypass zand zal als gevolg van dwarstransport naar de kust gebracht worden. Het overige deel van het zand zal op dieper water in kustlangse richting worden getransporteerd en wellicht pas later de ondiepe kustzone bereiken. Als gevolg van bypass rond de kop van de dam treedt dus verlies van zand op uit de ondiepe kustzone.

Muistroom

Een ander mechanisme van zandverlies bij de kop van een dam is de zogeheten muistroom. Dit is een stroming die wordt geïnduceerd door een verschil in waterstand tussen de beide uiteinden van de dam. Als gevolg van golfopzet treedt er bij een de waterlijn een kleine verhoging op van de gemiddelde waterspiegel. Bij de kop van de dam, waar de waterdiepte groter is, treedt deze waterstandsverhoging niet of nauwelijks op. Op deze wijze ontstaat er langs de dam een verschil in waterstand. Dit verhang in de waterspiegel resulteert in een zeewaarts gerichte stroming (zie bijvoorbeeld [Wind et al., 1986]).

Als gevolg van deze muistroom zal er transport van sediment plaatsvinden in zeewaartse richting. Het zand zal op relatief diep water terecht komen waardoor het, kijkend naar de ondiepwaterzone, als verloren beschouwd kan worden. Een tweede punt van aandacht is dat de beschouwde muistromen relatief sterke stroming kunnen zijn (afhankelijk van de golfconditie). Dit kan leiden tot gevaar voor badgasten.

5.3.2 Beschrijving van de rekenresultaten

In figuur 5.4 zijn de modelresultaten weergegeven voor alternatief D (Harde Kust). In vergelijking tot de eerdere alternatieven zijn in dit geval duidelijk veranderingen zichtbaar. Allereerst is het zaagtandprofiel te zien tussen de dammen. Tussen elk van de damsecties ontstaat een dynamische evenwichtsligging van de kustlijn (zie ook beschrijving vorige paragraaf). Wat ook opvalt is dat er relatief veel zand op dieper water terecht komt. Dit materiaal is initieel tussen de verschillende damsecties gesuppleerd, maar als gevolg van bypass (en de daarbij behorende verliezen naar diep water) is een deel van dit materiaal op dieper water afgezet.

Een meer gedetailleerde uitwerking van dit alternatief is gegeven in paragraaf 6.2.4 waarin vooral gekeken wordt naar de benodigde onderhoudsinspanning.

6 Berekende ontwikkeling kustonderhoud

6.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn de morfologische ontwikkelingen voor de basisalternatieven besproken aan de hand van een systeemschets en een presentatie van enkele resultaten. De uiteindelijke beoordeling van de basisalternatieven (wat betreft morfologische aspecten) vindt plaats op basis van de onderhoudsbehoefte.

In dit hoofdstuk is de onderhoudsbehoefte gepresenteerd voor elk van de basisalternatieven.

6.2 Presentatie van de resultaten

In de figuren 6.1 t/m 6.4 is voor de verschillende alternatieven de grootte van het gemiddeld benodigde kustonderhoud grafisch weergegeven. Deze onderhoudsbehoefte is zowel per individuele rekencel als gemiddeld over een kustvak gegeven.

De tijdsgemiddelde onderhoudsbehoefte is hierbij gegeven als gemiddelde over respectievelijk de eerste 10, de eerste 25 en de volledige 50 jaar (in $\text{m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$). In het eerste geval is ook steeds een vergelijking gegeven met de recente gemiddelde onderhoudsinspanning (zie ook figuur 4.4).

6.2.1 Alternatief A: Nulalternatief

In figuur 6.1 zijn de resultaten gepresenteerd voor het nulalternatief. De dunne blauwe lijn geeft de benodigde onderhoudsbehoefte voor elk van de rekencellen. Het verloop van deze onderhoudsbehoefte is grillig, maar wat wel opvalt is, dat er aan de beide uiteinden van de zeewaartse uitbouw (bij $X = 205$ en $X = 208$ km) een duidelijke piek te zien is in de onderhoudsbehoefte. Deze piek komt voort uit de veranderende langstransporten bij de beide overgangen van de bestaande kustlijn naar de zeewaarts geschoven kustlijn. Het een en ander is reeds uitgelegd in paragraaf 5.2.1.

6.2.2 Alternatief B: Gladde Kust

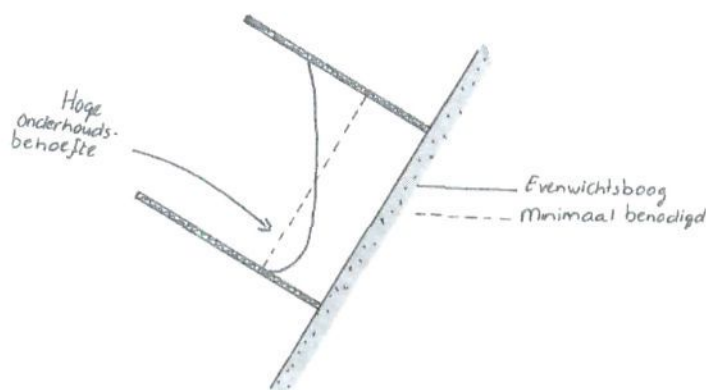
In figuur 6.2 zijn de resultaten gepresenteerd voor het alternatief Gladde Kust. Ook hier is het verloop van de onderhoudsbehoefte vrij grillig en op basis hiervan is niet goed te onderscheiden wat nu wordt bepaald door de kustuitbreiding. In paragraaf 6.3 wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende alternatieven. Hierdoor wordt meer inzicht verkregen in de consequenties van de alternatieven op de onderhoudsbehoefte.

6.2.3 Alternatief C: Duinzoom in de Lift

In figuur 6.3 zijn de resultaten gepresenteerd voor het alternatief Duinzoom in de Lift. Dit is een alternatief waarin geen zeewaartse maatregelen genomen zijn. Het berekende beeld wat betreft de onderhoudsbehoefte zou dus overeen moeten komen met de bestaande situatie. Hierover is reeds het een en ander gemeld bij de bespreking van het model in hoofdstuk 4.

6.2.4 Alternatief D: Harde Kust

In figuur 6.4 zijn de resultaten gepresenteerd voor het alternatief Harde Kust. In tegenstelling tot de voorgaande alternatieven is in dit alternatief een extra afwijkend patroon te zien in de onderhoudsbehoefte. In de kustvakken waar de dammen geplaatst zijn, zijn een paar grote pieken te zien in de onderhoudsbehoefte. Het betreft hier een compensatie van de lijzijde erosie. Het een en ander is hieronder in een schets weergegeven.



Schets 5

De dammen hebben een zekere lengte en onderlinge afstand. Tussen de dammen zal zich vervolgens in relatief korte tijd een kustboog instellen die in een dynamisch evenwicht komt (zie de doorgetrokken lijn). Het "magerste" punt in deze kustboog dient echter nog voldoende zand te bevatten om de veiligheid van de kust te kunnen waarborgen. Het minimaal benodigde zand is gegeven als een gestippelde lijn. Het evenwichtprofiel dat optreedt ligt echter met de huidige damconfiguratie te ver landwaarts. Om de veiligheid te waarborgen moet dus frequent zand worden toegevoegd om overal de veiligheid te waarborgen. Feitelijk zijn vele onderhoudsbehoefte kustsecties gecreëerd.

De onderhoudsbehoefte voor alternatief Harde Kust kan verlaagd worden door de configuratie van de dammen te optimaliseren. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de dammen dichter op elkaar te plaatsen (dan zijn wel meer dammen nodig) of door de dammen te verlengen. Een volledig onderhoudsvrije situatie kan niet gecreëerd worden aangezien er in geval van dammen altijd verliezen van zand zullen optreden (zie paragraaf 5.3.1).

6.2.5 Alternatief E: Zachte Kust

In figuur 6.5 zijn de resultaten gepresenteerd voor het alternatief Zachte Kust. Uit de rekenresultaten volgt een hoge onderhoudsbehoefte langs de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering. Dit hoge onderhoud wordt niet alleen veroorzaakt door verliezen van zand in langsrichting (in een noordelijke richting), maar vooral ook in zeewaartse richting. De kust voor de zeewering is relatief steil en wanneer een grote hoeveelheid zand op de vooroever wordt gedeponeerd, zal het afvloeien naar dieper water. Uiteindelijk zal de vooroever uitbouwen, waardoor de onderhoudsbehoefte in de

kustzone afneemt. Dit is goed te zien wanneer de figuren voor 10, 20 en 50 jaar met elkaar vergeleken worden.

6.3 Vergelijking van de alternatieven

In de integrale beoordeling worden de basisalternatieven afgezet tegen het Nulalternatief. Wat betreft de onderhoudsbehoefte van de kust is deze vergelijking gemaakt door de berekende onderhoudsbehoefte voor het Nulalternatief te vergelijken met de onderhoudsbehoefte voor elk van de basisalternatieven. De resultaten voor de eerste 10, 25 en 50 jaar zijn weergegeven in figuur 6.6 tot en met 6.8.

In blauw is het verschil in onderhoudsbehoefte weergegeven voor alternatief Gladde Kust. In het verloop van deze lijn zijn een aantal kleine pieken te zien. De eerste piek ligt bij $X = 198$ km (Petten). Ten opzichte van het nulalternatief is de kust hier 200 meter zeewaarts verschoven. Als gevolg hiervan is er lokaal een toename van de transportcapaciteit die gecompenseerd dient te worden met een onderhoudssuppletie. De tweede serie pieken ligt tussen $X = 204$ en $X = 208$ km (ofwel Callantsoog). In het nulalternatief is hier onderhoud nodig voor de zeewaartse uitbouw. Bij alternatief Gladde Kust kan niet echt over een uitbouw worden gesproken, maar meer over een algehele verschuiving van de kustlijn. Dit verklaart de afwezigheid van pieken in de onderhoudsbehoefte bij Callantsoog. De volgende piek bij $x = 210$ km wordt veroorzaakt door de geleidelijke overgang van de vooruitgeschoven kust naar de bestaande kustlijn. Zoals reeds vermeld in paragraaf 5.2.1 treedt er aan het noordelijk uiteinde van de zeewaartse uitbouw een verlies op omdat de transportcapaciteit langs de overgang groter is dan langs de uitbouw zelf. Na de overgang van de uitbouw naar de bestaande kust vindt het omgekeerde plaats. Hier neemt het langstransport juist af, wat zich bij deze verschilfiguren uit in een negatieve piek in de onderhoudsbehoefte. Het verschil in transportcapaciteit ter plaatse van de overgang is overigens gering wat inhoudt dat de overgang zeer vloeiend verloopt en de gladde overgang dus goed ontworpen is.

In grijs is het verschil weergegeven tussen het Nulalternatief en alternatief Duinzoom in de Lift. Aangezien Duinzoom in de Lift geen zeewaartse maatregelen omvat, geeft deze lijn dus eigenlijk het effect van het nulalternatief weer ten opzichte van de bestaande kust. Hierin zijn de "kopse verliezen" (en de daaruit volgende onderhoudsbehoefte) aan de beide uiteinden van de zeewaartse uitbouw goed zichtbaar.

In rood is het verschil weergegeven tussen het Nulalternatief en alternatief Harde Kust. Hetgeen ook al in de vorige paragraaf is beschreven, kan hieruit nog duidelijker geconcludeerd worden. Tussen elk van de damsecties is, zeer geconcentreerd, relatief veel onderhoud nodig om voldoende zand in het profiel te behouden voor het waarborgen van de veiligheid. Uit de figuur volgt ook, dat de onderhoudsbehoefte langs de zeewering groter is dan bij Callantsoog. Dit kan verklaard worden doordat het onderwater profiel langs de zeewering relatief steil is. Dit resulteert in relatief grote zeewaartse verliezen en het ge-bypass-te zand langs de kop van de dam zal op nog dieper water (in vergelijking tot Callantsoog) terechtkomen, waardoor er relatief minder zand naar de kust terug zal worden getransporteerd.

In bruin is het verschil weergegeven tussen het Nulalternatief en alternatief Zachte Kust. In vergelijking tot de Harde Kust is duidelijk te zien dat er langs de Hondsbossche en Pettemer Zeewering nu een meer constant beeld ontstaat met betrekking tot de onderhoudsbehoefte. In plaats van onderhoud van elk van de damsecties wordt nu het zandlichaam als geheel onderhouden. Aan de zuidzijde van het zandlichaam is weer

duidelijk een piek te zien in de onderhoudsbehoefte. Dit is weer als gevolg van de verliezen aan de kop van het zandlichaam (zie beschrijving paragraaf 5.2.1). Langs de rest van het zandlichaam is een min of meer constante onderhoudsbehoefte, die relatief groot lijkt. De grote onderhoudsbehoefte wordt veroorzaakt door de steile vooroever voor de zeewering. Wanneer naar de totale onderhoudsbehoefte voor de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering wordt gekeken valt op, dat de onderhoudsbehoefte ongeveer gelijk is aan die van alternatief Harde Kust (zelfde hoeveelheid zand, maar dan met dammen).

6.4 Verdere uitwerking harde kust

6.4.1 Inleiding

In het voortraject van de startnotitie is door het consortium Haskoning/WL een groot scala aan mogelijke maatregelen onderzocht, die uiteindelijk hebben bijgedragen tot de drie basisalternatieven. In [WL, 2004] is geconcludeerd dat een serie dammen langs de kust met daar tussenin zand een geschikte oplossing is. Uit nader onderzoek blijkt echter, dat deze dammen toch minder effectief zijn om het kustonderhoud te beperken. Hieronder wordt op deze nieuwe inzichten nader ingegaan. Hiertoe wordt eerst een schatting gedaan van de onderhoudsbehoefte bij een geoptimaliseerde configuratie van een systeem met strekdammen. Vervolgens wordt nog kort ingegaan op de verschillen in aanpak.

6.4.2 Schatting van onderhoudsbehoefte bij geoptimaliseerde configuratie

Uit de berekende onderhoudsbehoefte voor de beoordeelde damconfiguratie volgt, dat de beoordeelde configuratie niet optimaal is vormgegeven. Bij de huidige configuratie is er in geval van een dynamisch evenwicht te weinig zand aanwezig om de veiligheid te waarborgen. Zonder een optimalisatie uit te voeren, wordt hieronder een schatting gegeven van de orde van grootte van het onderhoud bij een volledig geoptimaliseerde configuratie van dammen.

Bij een geoptimaliseerde configuratie van de dammen (door bijvoorbeeld een grotere lengte of een kleinere onderlinge afstand) zal het onderhoud lager uitvallen dan thans berekend. Zelfs in een volledig geoptimaliseerde configuratie zullen echter nog verliezen optreden:

- Verliezen als gevolg van bypass rond de kop van de dam;
- Verliezen als gevolg van muistromen.

Bij een goed werkend systeem van dammen zullen de verliezen als gevolg van bypass gering zijn. Wanneer de dammen niet te ver in zee reiken en de overgang van het ene naar het andere damvak vloeiend verloopt (in termen van diepteovergangen) zal naar schatting ongeveer 15% van het bypass transport naar dieper water verloren gaan. Dit betekent dus dat 85% van het zand door zal vloeien naar de volgende damsectie. Bij een serie van 7 dammen (in geval van Callantsoog) zal er dus in totaal $(85\%)^7 = 32\%$ van het getransporteerde zand in het systeem blijven. De overige 68% zal verloren gaan aan dieper water en wellicht verder richting het noorden de kust nog bereiken. Dit houdt dus in dat, om de hoeveelheid zand binnen de damsecties in stand te houden, de onderhoudsbehoefte ter plaatse van de beschouwde dammen ongeveer 70% van het totale transport in de kustzone landwaarts van de damkoppen bedraagt. Dit komt dus

overeen met $70\% \times 200.000 \text{ m}^3/\text{j} = 140.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Daarbij komt het reeds bestaande zandtekort in het kustvak tussen Petten en Den Helder van $300.000 \text{ m}^3/\text{j}$, wat de totale onderhoudsbehoefte of $440.000 \text{ m}^3/\text{j}$ brengt. Ter vergelijking: De zandige oplossingen leiden op den duur tot een onderhoudsinspanning van orde $400.000 \text{ m}^3/\text{j}$.

Op grond van de rekenresultaten voor de verschillende zandige oplossingen kan hieruit opgemaakt worden, dat een goed geoptimaliseerde damconfiguratie leidt tot min of meer dezelfde onderhoudsbehoefte (wat betreft zandsuppleties) als de zandige oplossingen.

6.4.3 Vergelijking met eerdere conclusies in [WL, 2004]

Door zowel WL als Alkyon is een systeem van strekdammen onderzocht voor de zwakke schakels bij de zeewering en bij Callantsoog. Als gevolg van het detailniveau en de aanpak van de studie is tot verschillende inzichten gekomen met betrekking tot de effectiviteit van de strekdammen.

In de eerste fase van de planstudie heeft WL geconcludeerd dat een serie strekdammen meerwaarde heeft. De strekdammen houden zand vast en er is geconcludeerd dat het benodigde onderhoud in een geval met strekdammen goedkoper is dan een volledig zandige oplossing. De dammen zijn in aanleg wellicht duurder, maar op termijn wordt dit "terugverdiend" door de lagere onderhoudskosten.

In de huidige, meer gedetailleerde studie, is geconcludeerd dat strekdammen geen meerwaarde hebben in vergelijking met een volledig zandig alternatief. Uit de uitgevoerde simulaties komt naar voren dat de dammenconfiguratie zoals in basisalternatief Harde Kust is gedefinieerd is verdere optimalisatie behoeft (in termen van lengte en onderlinge afstand). Echter, zelfs een volledig geoptimaliseerde configuratie zal naar verwachting niet leiden tot een onderhoud dat lager is dan een volledig zandige oplossing. Vanuit een morfologisch oogpunt (verlaging van onderhoud) hebben de strekdammen dus geen meerwaarde.

Hieronder wordt nader op de verschillende conclusies ingegaan.

Ruimtelijke vormgeving van de dammen

In de startnotitie zijn de dimensies van de strekdammen in basisalternatief Harde Kust als volgt beschreven:

- lengte 250-300 meter;
- onderlinge afstand 750 meter;

In Pontos is gerekend met een damlengte van 350 meter bij Callantsoog. Dit is gerekend vanaf de duinvoet, dus dit komt overeen met een damlengte van 250-300 meter vanaf de gemiddelde waterlijn. Langs de Pettemer en Hondsbossche Zeewering is gerekend met 550 meter lange dammen. Dit is gedaan omdat uit berekeningen is gebleken dat langs de zeewering veel meer extra zand nodig is (in termen van kruinbreedte). Vanuit het oogpunt van de effectiviteit van de dammen zijn dus ook langere strekdammen toegepast.

In Pontos is een onderlinge afstand van 800 meter (in plaats van 750 m zoals gedefinieerd in de Startnotitie) toegepast. Dit is gedaan vanwege het rekengrid in Pontos (200 m). De onderlinge afstand van de dammen dient in Pontos een veelvoud van

200 meter te zijn. Dit kleine verschil in de onderlinge afstand leidt echter niet tot andere conclusies.

Technische uitwerking van de onderhoudsbehoefte voor de strekdammen

In de technische uitwerking en interpretatie van de strekdammen is een verschil in aanpak tussen de studie van WL en de huidige studie. Vanwege het verkennende karakter van de WL-studie kon niet aan alle mogelijke verliesprocessen aandacht worden besteed. In de huidige studie was daar wel gelegenheid voor, wat heeft geleid tot een aantal nieuwe inzichten (zie voorgaande hoofdstukken). Om die reden komen we nu tot een aantal (in vergelijking met de WL-studie) afwijkende conclusies.

In de studie van WL is er vanuit gegaan dat er uiteindelijk een situatie zal ontstaan waarbij de sedimentstroom langs de kustlijn nauwelijks meer wordt beïnvloed door de strekdammen. Hierdoor blijft de kustlijn ter plaatse van de strekdammen min of meer op zijn plaats en behoeft dit weinig onderhoud. Ten noorden van de strekdammen is wel enig onderhoud nodig, maar dit is lager dan in een geval van een volledig zandige maatregel.

Bij de bovenbeschreven uitwerking van de strekdammen zijn twee processen dan wel buiten beschouwing gelaten dan wel te laag ingeschat. Ten eerste zullen er altijd zeewaartse verliezen als gevolg van by-pass transport langs de kop van een strekdam. Dit is reeds beschreven in schets 4 in paragraaf 5.3. Ook verliezen als gevolg van muistromen (zie ook paragraaf 5.3) moeten niet onderschat worden. Als gevolg van het te laag inschatten van deze zeewaartse verliezen worden de strekdammen in de studie van WL qua onderhoud te gunstig ingeschat.

Conclusies

In het voorgaande is een beschouwing gegeven van de verschillen in inzicht en aanpak in de beide studies van WL en Alkyon. Op basis van deze beschouwing kan geconcludeerd worden dat zowel WL als Alkyon een systeem met strekdammen beoordelen als een oplossing die (wat betreft de onderhoudsbehoefte) orde van grootte gelijk is aan een zandige oplossing. Alkyon heeft een systeem van strekdammen echter minder positief ingeschat dan WL. Dit komt met name door de te verwachten verliezen door by-pass en muistromen. WL schat het onderhoud van een goed geoptimaliseerd dammensysteem lager in dan een gelijkwaardige zandige oplossing. Alkyon schat het onderhoud van een goed geoptimaliseerd dammensysteem ongeveer gelijk aan een gelijkwaardige zandige oplossing (ofwel basisalternatief Zachte Kust).

6.5 Interactie tussen de deelsecties

In het voorgaande is de onderhoudsbehoefte gepresenteerd voor een viertal basisalternatieven en het nulalternatief. Deze alternatieven bestaan uit verschillende mogelijke maatregelen (bouwstenen) voor de gedefinieerde deelsecties. Om een uitspraak te kunnen doen over de uitwisselbaarheid van de bouwstenen (zie hoofdstuk 4 van het hoofdrapport van de Integrale Beoordeling) is het zaak om een indruk te hebben van de morfologische interactie tussen de bouwstenen. In deze paragraaf wordt hier kort op ingegaan.

Een eerste belangrijk feit is dat het jaargemiddeld transport van zand in een noordelijke richting plaatsvindt. Dit houdt in, dat een maatregel langs de kust in principe alleen een

verstoring kan veroorzaken in noordelijke richting. Zo zal een maatregel bij Callantsoog alleen effect hebben op de kustsectie van Grootte Keeten naar Den Helder en bijvoorbeeld niet op de kustsectie van de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering. Binnen dezelfde gedachtelijn kan vervolgens ook worden geconcludeerd, dat een verlies van zand uit een kustvak uiteindelijk zal leiden tot een aanwinst van zand in een verder noordelijk gelegen kustvak. Een uitzondering op de bovenstaande regel is natuurlijk een erg grote maatregel (bijvoorbeeld een zeer lange dam dwars op de kust) waarbij aan bovenstroomse zijde veel zand wordt afgevangen en bypass transporten niet ten goede komen aan het benedenstroomse kustvak. Dergelijke grote maatregelen worden hier echter niet beschouwd.

Ten tweede is op basis van modelsimulaties geconcludeerd dat alle volledig zandige oplossingen leiden tot ongeveer dezelfde onderhoudsbehoefte. Het is bekend dat er langs de kust tussen Petten en Den Helder een zandtekort is. Dit wordt periodiek gecompenseerd door suppleties. Bij een aangepaste vorm van de zandige kust (door bijvoorbeeld een zeewaartse uitbouw met zand) wordt dit zandtekort niet sterk beïnvloed. Alleen de locatie waar suppleties uitgevoerd dienen te worden verandert.

In de optie Harde Kust is de Marina Petten reeds in beschouwing genomen. De Marina Petten is eenvoudig uit deze optie te verwijderen door de Marina Petten te vervangen met een damsectie met zand. Aangezien de omvang van de zeewaartse uitbouw van de Marina en de strekdammen ongeveer gelijk zijn, zullen beiden dezelfde uitwerking hebben op de morfologische aspecten (en daardoor op het totale kustonderhoud). Op basis van de resultaten voor de Harde Kust kan dus tevens het effect van een Marina op de kustsectie ten noorden van de Pettemer Zeewering worden afgeschat. Het effect van Marina Petten in combinatie met een zandige oplossing ten noorden van de Pettemer Zeewering (bijvoorbeeld een marina in combinatie met basisalternatief Gladde Kust) dient nog nader te worden onderzocht door middel van een analyse van de modelresultaten.

6.6 Suppletiebeleid

Door natuurspecialisten is aangegeven, dat het wenselijk is om suppleties met een lage frequentie uit te voeren. Op deze manier kan de natuur zich na uitvoeren van een suppletie weer herstellen. Bij bijvoorbeeld een jaarlijkse suppletie krijgt de kustzone waar de suppletie wordt uitgevoerd geen kans om zich te herstellen voordat de volgende suppletie weer plaatsvindt. Bij een dergelijk suppletiebeleid wordt de vooroever daarom als minder waardevol beoordeeld. Naar aanleiding van dit argument is nader gekeken naar het mogelijk suppletiebeleid voor elk van de basisalternatieven.

Op basis van berekeningen met het PONTOS-model is voor elk van de basisalternatieven het benodigde onderhoud bepaald. Bij het bepalen van het onderhoud is er vanuit gegaan dat er frequent wordt gesuppleerd. Wanneer er de wens is om minder frequent te suppleren kan niet worden volstaan met het vermenigvuldigen van de jaarlijkse suppletiebehoefte met de gewenste suppletiefrequentie (in jaren). Wanneer namelijk meer zand wordt toegevoegd, zal ook de erosie van het aangebrachte zandpakket sneller plaatsvinden (een grotere verstoring zorgt voor een grotere erosie).

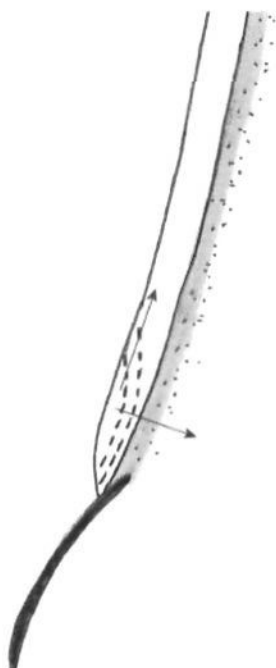
Zonder het morfologische systeem te veel te verstoren is het over het algemeen niet goed mogelijk om een zandbuffer aan te brengen die de volgende suppletie langer dan 2 jaar kan uitstellen. Voor iets dergelijks is namelijk dusdanig veel zand nodig, dat het aangebrachte zand de continuïteit van de zandstroom zal verstoren. Dit kan vervolgens

leiden tot ongewenste (snel optredende) veranderingen in de ligging van de kustlijnpositie.

Het een en ander zou dus betekenen dat niet aan het verzoek van de natuurspecialisten (minder frequent suppleren) voldaan zou kunnen worden. Dat klopt grotendeels. De meeste alternatieven zijn in langsrichting beperkt tot enkele kilometers en is er geen ruimte om enige neveneffecten (met name erosie) toe te staan. De alternatieven zijn immers zo gedefinieerd dat er precies voldoende zand aanwezig is om de veiligheid te waarborgen. Lokaal (ter plaatse van de zandige maatregel zelf) is daarom frequent suppleren noodzakelijk (ter compensatie van de "kopse verliezen").

Dit alles geldt echter niet voor basisalternatief Gladde Kust. In dit alternatief is vanuit het oogpunt van veiligheid alleen zand nodig ter hoogte van Callantsoog. In de kustsectie ten zuiden van Callantsoog wordt dan wel een 200 meter brede zandstrook aangelegd, maar dit zand is niet nodig vanuit veiligheidsoogpunt. Binnen deze strook zand is het dus mogelijk om enige fluctuaties in de kust toe te staan. Ook in basisalternatief Gladde Kust is er periodiek onderhoud nodig. Dit onderhoud is echter met name nodig aan de zuidkant van de zandige sectie (net ten noorden van de Pettemer Zeewering). Het gesuppleerde zand zal vervolgens door natuurlijke processen in noordelijke richting worden getransporteerd. De enige schade aan de natuur als gevolg van suppleties zal dus net ten noorden van de Pettemer Zeewering optreden.

De mate van de schade heeft een verband met de suppletiefrequentie. Net na een suppletie zal er per direct ook weer erosie optreden. Deze erosie zal net ten noorden van de Pettemer Zeewering starten en zal zich geleidelijk in zowel een landwaartse als een noordelijke richting uitbreiden. Het een en ander is schematisch weergegeven in de nu volgende schets.



Schets 6

Met andere woorden: Hoe langer wordt gewacht met het uitvoeren van een volgende onderhoudssuppletie, des te meer erosie zal er optreden en des te meer schade zal er aan het ecologische systeem optreden. Ook bij basisalternatief Gladde Kust is het dus wenselijk om met een hoge frequentie onderhoudssuppleties uit te voeren.

Geconcludeerd kan worden dat het binnen alle basisalternatieven wenselijk is op met een frequentie van één tot twee jaar een onderhoudssuppletie uit te voeren. Met betrekking tot de ontwikkeling en instandhouding van het ecologische systeem scoort het basisalternatief Gladde Kust echter beter dan de overige alternatieven. In basisalternatief Gladde Kust is het suppletiegebied namelijk te beperken tot slechts een deel van de volledige zandige maatregel. Hierdoor blijft een relatief grote kustsectie over waar ecologische processen niet gestoord worden. Bij de overige basisalternatieven is de lengte in langsrichting te beperkt om een dergelijke scheiding te maken.

7 Vergelijking tussen de basisalternatieven

7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn de morfologische effecten van de verschillende basisalternatieven beschreven. Hierin is met name een beschrijving gegeven van de optredende processen en is gepoogd om het morfologische systeem (en de effecten van de maatregelen daarop) te begrijpen. In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de berekende onderhoudsbehoefte voor elk van de alternatieven (opgesplitst naar de verschillende deelsecties). Deze gegevens zijn vervolgens in het kader van de Integrale Beoordeling als input gebruikt in ondermeer de kostenraming en de Kosten Baten Analyse.

Ter informatie zijn in Bijlage A een aantal overzichtstabellen gegeven waarin de berekende onderhoudshoeveelheden meer in detail beschreven.

7.2 Onderhoudsbehoefte in de eerste 5 jaar na aanleg

De geïntegreerde uitkomsten van de uitgevoerde simulaties zijn samengebracht in tabel 7.1 en figuur 7.1. Hierbij is voor de verschillende varianten het over de eerste 5 jaar gemiddelde kustonderhoud gegeven, dit uitgedrukt in $m^3/m^1/jaar$.

<i>kustvak</i>	<i>Nulalternatief</i>	<i>Gladde Kust</i>	<i>Duinzoom in de Lift</i>	<i>Harde Kust</i>	<i>Zachte Kust</i>
1	0	0	0	148	126
2	36	46	36	42	37
3	47	31	29	91	68
4	50	53	50	54	48
Gemiddeld	33	32	29	83	69

Tabel 7.1: Overzicht gemiddeld onderhoud in $m^3/m^1/jaar$ in de eerste 5 jaar.

Uit deze resultaten blijkt dat de kustuitbreiding in vak 1 (zoals voorzien binnen basisalternatieven Harde Kust en Zachte Kust) om relatief veel onderhoud vraagt. Dit geldt ook voor de harde varianten van vak 3. De onderlinge verschillen tussen de varianten binnen vak 2 en 4 zijn op deze termijn nog relatief beperkt.

7.3 Onderhoudsbehoefte op langere termijn

In tabel 7.2 en figuur 7.2 zijn op vergelijkbare wijze de resultaten voor het na 10 jaar optredende onderhoud gegeven.

<i>kustvak</i>	<i>Nulalternatief</i>	<i>Gladde Kust</i>	<i>Duinzoom in de Lift</i>	<i>Harde Kust</i>	<i>Zachte Kust</i>
1	0	0	0	48	48
2	7	17	8	8	5
3	23	8	9	50	40
4	30	10	11	48	40
Gemiddeld	14	17	13	33	27

Tabel 7.2: Overzicht gemiddeld onderhoud in m³/m¹/jaar na 10 jaar.

Op basis van deze getallen kunnen vergelijkbare conclusies worden getrokken. Opvallend hierbij is overigens wel dat, door het via kustonderhoud extra voeden van vak 1, het benodigde onderhoud in vak 2 sterk reduceert.

Dit blijkt nog sterker uit de in tabel 7.3 en figuur 7.3 gegeven resultaten. Na orde 25 jaar bevindt de kustlijn zich in dit vak voldoende zeewaarts van de vigerende BKL-positie waardoor er hier geen extra onderhoud meer nodig is.

<i>kustvak</i>	<i>Nulalternatief</i>	<i>Gladde Kust</i>	<i>Duinzoom in de Lift</i>	<i>Harde Kust</i>	<i>Zachte Kust</i>
1	0	0	0	31	35
2	3	9	3	0	1
3	15	14	11	36	20
4	22	25	22	22	19
Gemiddeld	9	12	9	22	18

Tabel 7.3: Overzicht gemiddeld onderhoud in m³/m¹/jaar na 25 jaar.

7.4 Conclusies

Uit de onderlinge vergelijking van de basisalternatieven komt naar voren dat er feitelijk weinig verschil is tussen de verschillende zandige alternatieven.

Bij het meer integraal beschouwen van de deelresultaten is met name het aanwezig zijn van bovenstroomse voeding van belang. Een verlies van materiaal uit een bepaald vak (en dus de noodzaak tot meer onderhoud) leidt meestal tot materiaalwinst voor een meer noordelijk gelegen kustvak. Dit resulteert in een min of meer gelijke onderhoudsbehoefte voor de alternatieven Nulalternatief, Gladde Kust en Duinzoom in



de Lift, maar onderhoudssuppleties dienen op andere locaties te worden uitgevoerd. Zo is in geval van alternatief Gladde Kust veel onderhoud nodig bij Petten en is bij het Nulalternatief onderhoud nodig bij Callantsoog.

Verder blijkt dat het gebruik van dammen (als bij de harde oplossing) om relatief veel onderhoud vraagt. Een verdere optimalisatie van de damconfiguratie kan leiden tot enige reductie in het benodigde onderhoud. De dammen voor de Hondsbossche- en Pettemer Zeewering zijn nog minder effectief dan dammen bij Callantsoog vanwege de aanwezigheid van een relatief steile vooroever voor de zeewering. Er dient echter opgemerkt te worden, dat een geoptimaliseerde configuratie van dammen niet zal leiden tot een onderhoudsbehoefte die lager is dan een volledig zandig alternatief.

8 Grootschalige morfologie

8.1 Inleiding

De basisalternatieven en het nulalternatief zullen het morfologische systeem bij de Kop van Noord-Holland beïnvloeden (met uitzondering van alternatief Duinzoom in de Lift, omdat in dit alternatief geen zeewaartse maatregelen zijn gedefinieerd). De mate van beïnvloeding hangt af van zowel de ruimteschaal van de maatregelen als de tijdschaal van de morfologische processen. De grootschalige morfologische processen bij de Kop van Noord-Holland (zijnde de migratie van het Nieuwe Schulpengat en de zandbehoefte van de Waddenzee) zijn processen op een schaal van tientallen jaren. Bij de ontwikkeling van de processen zijn vele miljoenen kubieke meters zand gemoeid. Om daadwerkelijk een effect te hebben op dergelijke processen, dienen ook de maatregelen van die orde van grootte te zijn.

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op het mogelijke effect van de basisalternatieven op de grootschalige morfologische processen bij de Kop van Noord-Holland. Hierbij wordt achtereenvolgens aandacht besteed aan het Nieuwe Schulpengat, de zanduitwisseling met de Waddenzee en grootschalige zandwinning.

8.2 Nieuwe Schulpengat

Systeemschets

Het Nieuwe Schulpengat is ontstaan in de periode 1956-1970. De geul werd steeds dieper en schuurde de vooroever uit (ongeveer tussen RSP 2 en RSP 7 km). De geul wordt aan de zeezijde geflankeerd door de "Bollen van Kijkduin". Deze ondiepte verplaatst langzaam naar de kust (ongeveer 200 meter in de periode 1965-1990 (zie [Van Santen, 1999])), waardoor het Nieuwe Schulpengat als het ware naar de kust toe wordt "gedrukt". De geul is dan ook richting de kust opgeschoven en heeft daarbij morfologische veranderingen ondergaan (smaller, meer gekromd en iets langer). De geul heeft nog geen directe invloed op het zandvolume in de zogenaamde BKL-rekenshijf, maar op langere termijn kan daar bij doorgaande migratie wel sprake van zijn. Zodra zich een dergelijke situatie voordoet, zal waarschijnlijk grootschalig in het systeem moeten worden ingegrepen.

Ten zuiden van het Nieuwe Schulpengat ligt het Franse Bankje. Landwaarts van het Franse Bankje ligt een kleine geul (het Nieuwe Landsdiep) die van het Nieuwe Schulpengat wordt gescheiden door een drempel. Het is mogelijk dat er in de toekomst een kortsluiting ontstaat tussen het Nieuwe Landsdiep en het Nieuwe Schulpengat. De morfologie van het Nieuwe Schulpengat zal daardoor veranderen met nog onbekende gevolgen.

Mogelijke effecten

Het effect van de basisalternatieven op de migratie van het Nieuwe Schulpengat is, gezien het complexe morfologische systeem op de buitendelta, moeilijk in te schatten.

In het nu volgende zijn enkele mogelijke effecten beschreven. Voor de locaties van de benoemde geulen en banken wordt verwezen naar figuur 8.1.

- Positief: Bij een aantal alternatieven zal er zand worden aangebracht in de kustzone. Dit kan tot gevolg hebben dat er (tijdelijk) meer zand in de richting van het Nieuwe Schulpengat wordt getransporteerd. Dit kan tot gevolg hebben dat de landwaartse migratie van het Nieuwe Schulpengat wordt geremd;
- Negatief: De grotere aanvoer van zand (als gevolg van de zeewaartse maatregelen in de basisalternatieven) kan er voor zorgen, dat de Bollen van Kijkduin worden gevoed met zand. De Bollen van Kijkduin kunnen daardoor in landwaartse richting uitbreiden waardoor de landwaartse migratie van het Nieuwe Schulpengat wordt versneld;
- Positief: De extra hoeveelheid zand als gevolg van de basisalternatieven kan kortsluiting van het Nieuwe Landsdiep en het Nieuwe Schulpengat vertragen dan wel voorkomen.

Het lange-termijn (> 50 jaar) effect van de basisalternatieven op de beweging van het Nieuwe Schulpengat is zonder gedetailleerd onderzoek niet goed aan te geven. De dynamiek van het Nieuwe Schulpengat en de interactie met de kust speelt zich vermoedelijk op een grotere schaal af dan de mogelijke effecten van de basisalternatieven. Het is daardoor niet waarschijnlijk dat deze effecten significant zullen zijn.

8.3 Waddenzee

Er is een groot aantal studies uitgevoerd naar het gedrag van het Zeegat van Texel. Hierbij wordt met name toegespitst op het netto zandtransport door het zeegat. Analyses op basis van zowel metingen als numerieke modellen zijn uitgevoerd. De meningen over het netto zandtransport lopen uiteen.

Momenteel wordt gedacht dat er wisselend import en export van zand door het Zeegat van Texel plaatsvindt. Dit is afhankelijk van de hydraulische condities (stormseizoenen), maar bijvoorbeeld ook van de 18,6 jarige cyclus in de stand van de aarde ten opzichte van de zon. Netto is een kleine import van zand te verwachten aangezien de bodem van de Waddenzee de stijging van de zeespiegel volgt.

Het Zeegat van Texel werkt als een zeef. Zowel grof als fijn materiaal wordt door het zeegat geïmporteerd. Het grove materiaal wordt met name over de bodem getransporteerd en zal als gevolg van een sterke ebstroom weer naar buiten worden getransporteerd. Met name het fijne materiaal zal zich in de Waddenzee afzetten. Het grove materiaal zet zich af op de buitendelta en zal na verloop van tijd in noordelijke richting langs de kust van Texel worden getransporteerd.

Het hierboven geschetste mechanisme vindt plaats op een tijdschaal van eeuwen. Als gevolg van de maatregelen zoals geïmplementeerd in de basisalternatieven (als gevolg waarvan mogelijk meer zand richting de Waddenzee wordt getransporteerd) wordt geen meetbare invloed verwacht op de grootschalige sedimentuitwisseling door het Zeegat van Texel. Ook hier is het dus weer vooral een kwestie van schalen.

8.4 Grootschalige zandwinning

Voor de zandwinning op de Noordzee is het Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (kortweg RON) van belang. Voor de winning van zeezand zijn in het RON bepaalde gebieden aangewezen. Een belangrijke eis daarbij is dat de zandwinning moet plaatsvinden buiten de NAP -20 m dieptelijn, of de 20-km lijn wanneer deze dicht bij de kust ligt dan de NAP -20 m dieptelijn. Er zijn bovendien uitsluitingsgebieden aangewezen waar zeezandwinning niet is toegestaan.

Er zijn verschillende manieren om zeezand te winnen:

- Oppervlaktewinning, of stripwinning. Hierbij wordt over een relatief groot oppervlak maximaal 2 m verdieping aangebracht.
- Putwinning, waarbij vaak onderscheid wordt gemaakt naar de volgende geometriën:
 - Een ronde putvorm, met een relatief grote diepte in het midden (bijvoorbeeld 20 meter onder de oorspronkelijke bodem)
 - Een rechthoekige putvorm, met de langste as parallel aan de dieptelijnen / kustlijn;
 - Een rechthoekige putvorm met de langste as loodrecht op de dieptelijnen / kustlijn.

Putwinning kan aantrekkelijk zijn als er grote hoeveelheden zand moeten worden gewonnen, maar ook een oppervlaktewinning behoort tot de mogelijkheden. In het kader van de integrale beoordeling is het dan ook relevant om na te gaan welke fysische effecten zeezandwinning kan hebben.

Ten aanzien van de locatie van de zandwinning wordt hier vastgehouden aan de bovenstaande eis uit het RON. Een alternatief zou kunnen zijn om te werken met een tijdelijke put dicht onder de kust (die later weer wordt opgevuld met zand van buiten de NAP -20 m dieptelijn). Beide opties (zandwinning volgens de eis uit het RON en dicht bij de kust) zijn hieronder kort besproken. Hierbij wordt met name gerefereerd aan putwinning (oppervlaktewinning heeft waarschijnlijk minder morfologische consequenties dan putwinning).

Zandwinning zeewaarts van de NAP -20 m dieptelijn

Uit Walstra et al (1997) volgt dat geen noemenswaardig effect van zeezandwinning behoeft te worden verwacht. Migratiesnelheden in langsrichting worden geschat op circa 10 tot 15 m/jaar, afhankelijk van de diepte (20 tot 25 m). De morfologische veranderingen blijven ook op lange termijn beperkt tot de directe omgeving van de zandwinput.

Volgens Allersma et al (1992) zijn de migratiesnelheden dwars op de kust een orde kleiner dan de migratiesnelheden in de richting van de stroming, langs de kust. Zandwinning op diep water heeft hierdoor geen noemenswaardig effect op de kust. Door Ribberink et al (1989) zijn kustdwarse migratiesnelheden afgeleid van 1 tot 2 m/jaar.

Volgens Allersma et al (1992) heeft zandwinning ook op lange termijn geen noemenswaardig effect op de kustlijn. Wellicht kan een verandering van de stromingen of golven indirect de processen in de kustzone beïnvloeden. Echter, door de beperkte refractie (verandering van de golfrichting als gevolg van een veranderende waterdiepte) en de

grote afstand uit de kust wordt geen significante verandering van het golfklimaat nabij de kust verwacht.

Uit metingen volgt, dat de tijdschaal waarop een zandwinput weer aanzandt, is relatief kort is. Uit het gedrag van enkele zandwinputten volgt, dat voor het opvullen van een put (tot 63%) een periode van slechts 200 tot 220 dagen nodig is. Een zandwinput heeft dus een relatief korte levensduur.

Zandwinning landwaarts van de NAP –20 m dieptelijn

Ofschoon dit tegenstrijdig is met de door RON gestelde eisen, is door Ribberink et al (1989) onderzocht of het mogelijk is zonder negatieve effecten dicht bij de kust zand te winnen. Uit de studie blijkt dat zandwinning in de actieve zone van de kust (boven NAP –8m) enorme gevolgen zou kunnen hebben op de kustlijn. Het dynamische gedrag van een zandwinput verandert sterk als de waterdiepte afneemt (Walstra et al, 1998). De toegenomen opwoeling door golven zorgt voor grotere sedimenttransporten. Uit waarnemingen van de bodemontwikkeling van (tijdelijke) zandwinputten in de kustnabije zone blijkt dat zij in relatief korte tijd opvullen (Hoogewoning et al, 2001). Van een migratie langs de kust van de putten is nauwelijks sprake. Er wordt vaak gesproken van een karakteristieke tijdschaal van opvulling. Dat is de tijdsperiode waarin uitgaande van een exponentieel verloop, 63% van de totale aanpassing heeft plaatsgevonden (namelijk 1-1/e). Deze bedraagt voor nabij de kust gelegen putten 6 tot 12 maanden.

Op grond van de bovenstaande argumenten wordt geconcludeerd dat een tijdelijke zandwinput in de zone nabij de kust niet raadzaam is. Grootschalige zandwinning volgens de richtlijnen van RON (zandwinning zeewaarts van NAP –20 m of minimaal 20 km uit de kust) zal geen effect hebben op de grootschalige morfologie en al helemaal niet op de processen langs de kustlijn.

9 Nieuwe combinatiealternatieven en optimalisaties

9.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is een beschrijving gegeven van de morfologische aspecten met betrekking tot de gedefinieerde basisalternatieven. Op basis van een eerste beoordeling zijn nieuwe combinatiealternatieven en optimalisaties van bestaande alternatieven gedefinieerd (zie hoofdstuk 5 van het hoofdrapport Integrale Beoordeling voor een volledige beschrijving hiervan). In dit hoofdstuk zijn de morfologische consequenties van deze combinatiealternatieven en optimalisaties gegeven.

9.2 Morfologische aspecten met betrekking tot nieuwe combinatiealternatieven

9.2.1 Basisalternatief Gladde Kust in combinatie met Marina Petten

In basisalternatief Gladde Kust is geen rekening gehouden met een eventuele marina bij Petten. Op basis van de beschikbare rekenresultaten is het niet mogelijk om een schatting te maken van de onderhoudsbehoefte in een geval waarbij de marina in basisalternatief Gladde Kust wordt ingepast. Om deze reden zijn aanvullende modelberekeningen uitgevoerd. In figuur 9.1 is de berekende kustontwikkeling over een periode van 25 jaar gegeven. Hierbij is de marina Petten geschematiseerd als een dam met een lengte van 500 meter (overeenkomend met de zeewaartse uitbouw van de marina).

In figuur 9.2 zijn de rekenresultaten gegeven voor basisalternatief Gladde Kust. In de figuur zijn twee gevallen beschouwd:

1. Het originele basisalternatief Gladde Kust;
2. Basisalternatief Gladde Kust, maar dan inclusief Marina Petten.

Op basis van de simulatieresultaten kan de consequentie van Marina Petten op de morfologische aspecten worden ingeschat. Uit de resultaten blijkt dat de onderhoudsbehoefte net ten noorden van de Pettemer Zeewering slechts beperkt toeneemt als gevolg van de Marina. In beide gevallen is er een grote piek in het benodigde onderhoud net ten noorden van de zeewering. Als gevolg van Marina Petten is deze piek wat groter. Het effect van de marina is tot ongeveer 2 km ten noorden van de Pettemer Zeewering merkbaar.

Normaalgesproken zou verwacht worden dat de invloed van een marina net stroomopwaarts van een zandige kust aanzienlijk groter zou zijn. Het een en ander kan mogelijk verklaard worden door de enigszins blokkerende werking van het aangebrachte zandbanket. Zoals uit bijvoorbeeld figuur 5.2 blijkt, reikt het aangebrachte zandbanket van 200 meter breed relatief ver in zee. In principe treedt bij basisalternatief Gladde Kust dus eenzelfde proces op zoals geschetst in schets 2 in paragraaf 5.2. De aanwezigheid van de dammen versterkt deze blokkerende werking, waardoor de onderhoudsbehoefte nog verder toeneemt.

<i>kustvak</i>	<i>Eerste 5 jaar</i>	<i>Na 10 jaar</i>	<i>Na 25 jaar</i>
1	0	0	0
2	54	21	12
3	31	8	14
4	53	10	25
Gemiddeld	34	18	13

Tabel 9.1 Overzicht van de berekende onderhoudsbehoefte voor alternatief Gladde Kust met Marina Petten.

9.2.2 Basisalternatief Duinzoom in de Lift in combinatie met Marina Petten

Ook in basisalternatief Duinzoom in de Lift is geen rekening gehouden met een eventuele marina bij Petten. Op basis van de beschikbare rekenresultaten is het niet mogelijk om een schatting te maken van de onderhoudsbehoefte in een geval waarbij de marina in basisalternatief Duinzoom in de Lift wordt ingepast. Om deze reden zijn ook hier aanvullende modelberekeningen uitgevoerd. In figuur 9.3 is de berekende kustontwikkeling over een periode van 25 jaar gegeven. Hierbij is de marina Petten geschematiseerd als een dam met een lengte van 500 meter (overeenkomend met de zeewaartse uitbouw van de marina).

In figuur 9.4 zijn de rekenresultaten gegeven voor basisalternatief Duinzoom in de Lift. In de figuur zijn twee gevallen beschouwd:

1. Het originele basisalternatief Duinzoom in de Lift;
2. Basisalternatief Duinzoom in de Lift, maar dan inclusief Marina Petten.

Op basis van de rekenresultaten kan de consequentie van Marina Petten op de morfologische aspecten worden ingeschat. Uit de resultaten blijkt, dat de onderhoudsbehoefte net ten noorden van de Pettemer Zeewering sterk toe zal nemen. Over de eerste 2 kilometer ten noorden van de Pettemer Zeewering is de onderhoudsbehoefte ongeveer verdubbeld als gevolg van de blokkerende werking van de marina.

Naast de extra onderhoudsbehoefte ten noorden van de Pettemer Zeewering moet ook rekening gehouden worden met een extra onderhoudsbehoefte langs het meest noordelijke deel van de Pettemer Zeewering zelf. De Marina Petten omvat niet de gehele Pettemer Zeewering. Aan de noordzijde blijft ongeveer 400 meter van de zeewering onbeschermd en als gevolg van de blokkerende werking van de marina zal hier erosie van de vooroever optreden. Langs deze sectie van de zeewering is dus periodiek onderhoud noodzakelijk om ondermijning van de zeewering te voorkomen. Dit betekent overigens niet dat er (bovenop de berekende onderhoudsbehoefte) nog meer gesuppleerd dient te worden. Het langs de Pettemer Zeewering aangebrachte zand zal immers naar het noorden getransporteerd worden waar het ten goede komt aan de zandige kust.

<i>kustvak</i>	<i>Eerste 5 jaar</i>	<i>Na 10 jaar</i>	<i>Na 25 jaar</i>
1	0	0	0
2	50	18	7
3	29	7	11
4	50	9	22
Gemiddeld	33	16	10

Tabel 9.2 Overzicht van de berekende onderhoudsbehoefte voor alternatief Duinzoom in de Lift met Marina Petten.

9.3 Morfologische aspecten met betrekking tot optimalisaties

9.3.1 Lager banket bij basialternatief Gladde Kust

Vooralsnog is er bij basialternatief uitgegaan van een bankethoogte van NAP +3 m. Dit is ruim boven vloedpeil, zodat de zee maar zelden (alleen bij zware stormcondities) invloed heeft op morfologische processen. Vanuit het oogpunt van ecologie is het gewenst dat de zee meer invloed heeft op het aangebrachte zand. Op deze manier zorgt de zee namelijk voor een natuurlijke sortering van het zand en volgt hieruit een meer natuurlijke opbouw van de nieuwe duinen.

Er wordt voorgesteld om een zandbanket met een lagere hoogte aan te leggen. In het nu volgende is een korte beschouwing gegeven over de morfologische consequenties van dit voorstel.

Morfologische ontwikkeling bij een kruinhoogte van NAP +1,5 m

Wanneer een kruinhoogte van NAP +1,5 m wordt gekozen, ligt het banket net iets hoger dan het hoogwater niveau. Als gevolg hiervan zullen golven invloed kunnen uitoefenen op de sortering van het zand en kan een natuurlijke duinontwikkeling plaatsvinden. Het is echter maar de vraag of deze natuurlijke duinontwikkeling zal plaatsvinden over de volle breedte van het zandbanket. Het is goed mogelijk dat er binnen korte tijd (orde van grootte maanden) een nieuw duin zal ontstaan in de buurt van de waterlijn. Als gevolg van golfwerking zal er namelijk zand worden afgezet op een locatie die de golven net niet kunnen bereiken. Als gevolg van meer afzet van zand en aangroei als gevolg van wind zal dit jonge en lage duin vrij snel uitgroeien tot een relatief hoog duin dat bestand is tegen zware stormcondities. Kortom: de natuurlijke ontwikkeling van het duingebied zal waarschijnlijk alleen plaatsvinden in de smalle zone langs de zee. De zone landwaarts daarvan zal niet worden beïnvloed door de zee.

Bij optreden van de hierboven geschetste morfologische ontwikkelingen wordt ten opzichte van de berekende onderhoudsbehoefte voor basisvariant Gladde Kust geen verandering verwacht.

Slufter-achtige ontwikkelingen

Ten zuiden van Callantsoog wordt dan wel een grote hoeveelheid zand aangelegd, maar dit zand is vanuit het oogpunt van veiligheid niet noodzakelijk. Het is dus goed mogelijk

om in dit gebied optimaal in te richten met betrekking tot een natuurlijke opbouw van het duinen-gebied. Hierbij wordt gedacht aan één of meerdere inkepingen in de kust waar het zeewater gedurende een bepaald interval van het getij binnen kunnen dringen. Praktijkvoordelen hiervan zijn de Slufter op Texel en de Kerf bij Schoorl. Doordat de zee plaatselijk kan binnendringen, kan ook verder landinwaarts een natuurlijke opbouw van de bodem en de duinen ontstaan. Er moet echter wel voor gewaakt worden dat een dergelijke slufter-achtige ontwikkeling alleen in de nieuw aan te leggen kuststrook mag ontwikkelen. De bestaande duinen dienen vanuit het oogpunt van veiligheid ongeschonden te blijven. Ook dient het bovenstaande concept alleen te worden toegepast ten zuiden van Callantsoog. Bij Callantsoog zelf is het aan te brengen zand noodzakelijk vanuit veiligheidsoogpunt. Een slufterkust (en daaruit volgend minder zand in het dwarsprofiel) is bij Callantsoog niet toe te staan.

Bij optreden van de hierboven geschetste morfologische ontwikkelingen wordt ten opzichte van de berekende onderhoudsbehoefte voor basisvariant Gladde Kust een kleine verhoging verwacht. Als gevolg van de sluffers zal er immer een grilligere kustlijn ontstaan. Dit kan een remmende werking hebben op de langstransporten. Hierdoor kan de onderhoudsbehoefte bij Callantsoog (ten noorden van de slufter kust) toenemen.

9.3.2 Pettemer Zeewering als overslagdijk

Net als bij de Hondbossche zeewering wordt ook bij de Pettemer Zeewering een overslagdijk voorgesteld. Hierdoor hoeft geen dijkverhoging plaats te vinden. Ten opzichte van een overslagdijk bij de Hondsbossche Zeewering wordt aan een overslagdijk bij de Pettemer Zeewering een extra eis gesteld: Het overgeslagen water dient te worden afgevoerd voordat de huizen van Petten (die 40 meter van de teen van de dijk staan) bereikt worden.

Een dergelijke overslagdijk bij Petten heeft geen consequenties met betrekking tot de morfologie.

10 Conclusies

10.1 Resultaten uitgevoerde simulaties

Als eerste moet worden opgemerkt dat de individuele resultaten van de uitgevoerde PONTOS-berekeningen als voldoende geloofwaardig kunnen worden gekenschetst. Dit kan geconcludeerd worden aan de hand van het in 2004 opgestelde model voor de gehele Nederlandse Kust [Alkyon/WL, 2004]. In het kader van deze studie is een uitgebreide validatie van het model uitgevoerd, waaruit volgt, dat de gesimuleerde ontwikkeling van de kust sterk overeenkomt met de werkelijke ontwikkeling. De resultaten kunnen in ieder geval worden gebruikt om de doorgerekende alternatieven onderling te vergelijken.

In het algemeen kan op basis van de rekenresultaten worden geconcludeerd, dat alle alternatieven met louter zandige maatregelen uiteindelijk leiden tot een onderhoudsbehoefte van de zelfde orde van grootte. Bij het integraal beschouwen van de deelresultaten is met name het aanwezig zijn van bovenstroomse voeding van belang. Een verlies van materiaal uit een bepaald vak (en dus de noodzaak tot meer onderhoud) leidt meestal tot materiaalwinst voor een meer noordelijk gelegen kustvak. Dit resulteert in een min of meer gelijke onderhoudsbehoefte voor de alternatieven Nulalternatief, Gladde Kust en Duinzoom in de Lift, maar onderhoudssuppleties dienen op andere locaties te worden uitgevoerd. Zo is in geval van alternatief Gladde Kust veel onderhoud nodig bij Petten en is bij het Nulalternatief onderhoud nodig bij Callantsoog. Uit een nadere analyse van de resultaten volgt wel, dat de grootte van de maatregel (in relatie tot de zeewaartse uitbouw) enige invloed heeft op de grootte van het onderhoud. Des te kleiner de maatregel, des te kleiner is het effect op het onderhoud van de kustsectie ten noorden van de Hondsbossche Zeewering (tot aan Den Helder).

Voor wat betreft de resultaten voor harde constructies (de verschillende dammen) laat het model zien dat een juiste verhouding tussen lengte van de dammen en hun onderlinge afstand van belang is. Uit de modelresultaten volgt dat de huidige configuratie van de dammen niet optimaal is. Hierdoor volgt voor basisalternatief Harde Kust nu een hoge onderhoudsbehoefte. Een optimalere configuratie zal leiden tot een lagere onderhoudsbehoefte (maar zeker niet significant lager dan volledig zandige oplossingen). Op een meer grote schaal hebben op deze wijze verdedigde kustsecties echter zo hun voor- en nadelen. Hierbij valt met name te denken aan de initieel aan de lijzijde van deze constructies optredende kusterosie.

Ten aanzien van het berekende kustonderhoud blijken de zachte alternatieven relatief vergelijkbaar te zijn.

10.2 Effecten op grootschalige morfologie

Ten aanzien van de grootschalige morfologie is gekeken naar de mogelijke effecten van de basisalternatieven op de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat, de zanduitwisseling met de Waddenzee en de grootschalige zandwinning.

Het lange-termijn effect van de basisalternatieven op de beweging van het Nieuwe Schulpengat is zonder gedetailleerd onderzoek feitelijk niet goed aan te geven. De dynamiek van het Nieuwe Schulpengat en de interactie met de kust speelt zich vermoe-

delijk op een grotere schaal af dan de mogelijke effecten van de basisalternatieven. Het is daardoor niet waarschijnlijk dat deze effecten significant zullen zijn.

Ten aanzien van de Waddenzee wordt als gevolg van de maatregelen zoals geïmplementeerd in de basisalternatieven geen meetbare invloed verwacht op de grootschalige sedimentuitwisseling door het Zeegat van Texel.

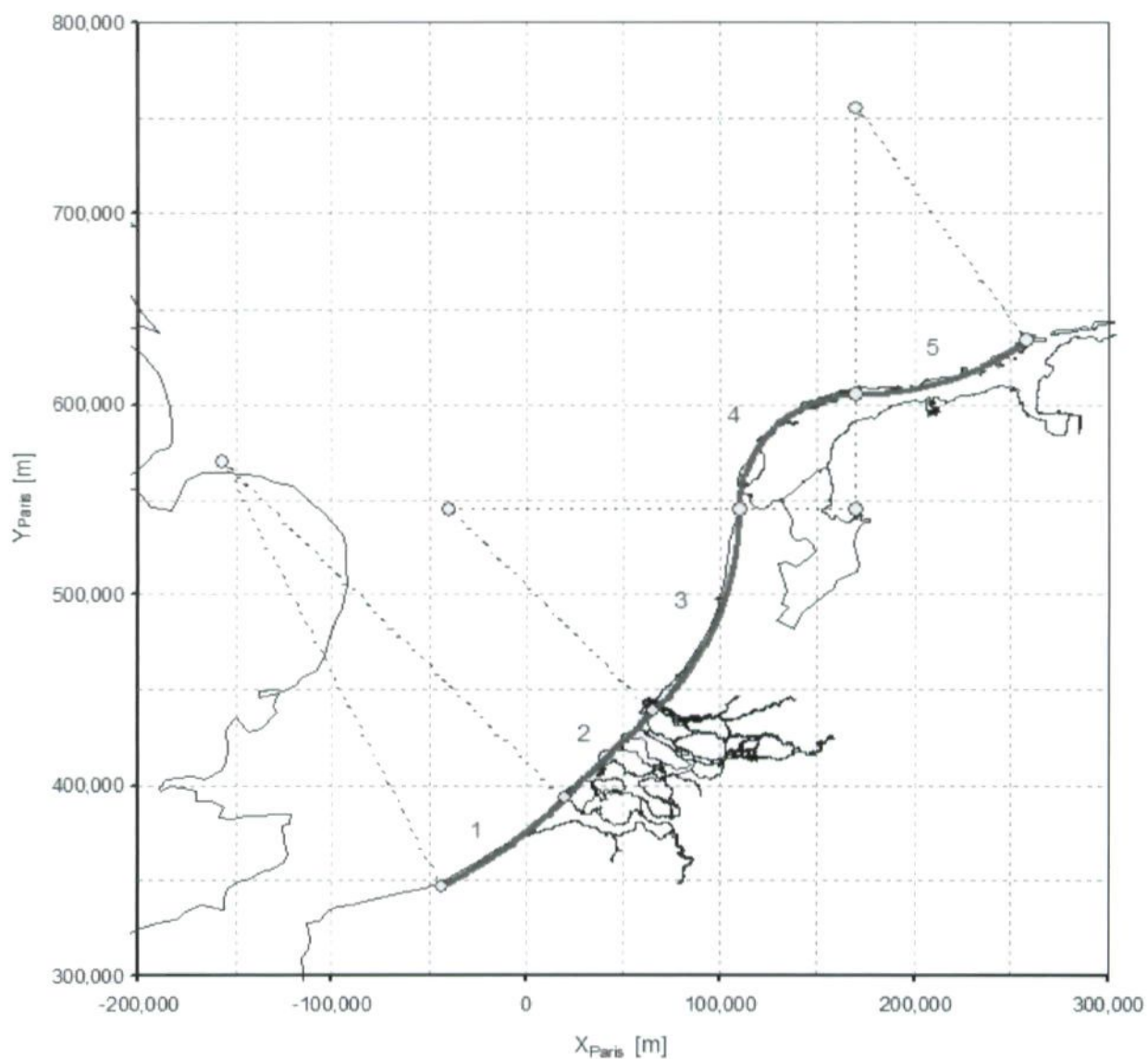
Ten aanzien van de grootschalige zandwinning moet worden geconcludeerd dat het niet verstandig lijkt om een tijdelijke zandwininput in de zone nabij de kust te gebruiken. Grootschalige zandwinning volgens de richtlijnen van RON (zandwinning zeewaarts van NAP -20 m of minimaal 20 km uit de kust) zal geen effect hebben op de grootschalige morfologie en al helemaal niet op de processen langs de kustlijn.

Referenties

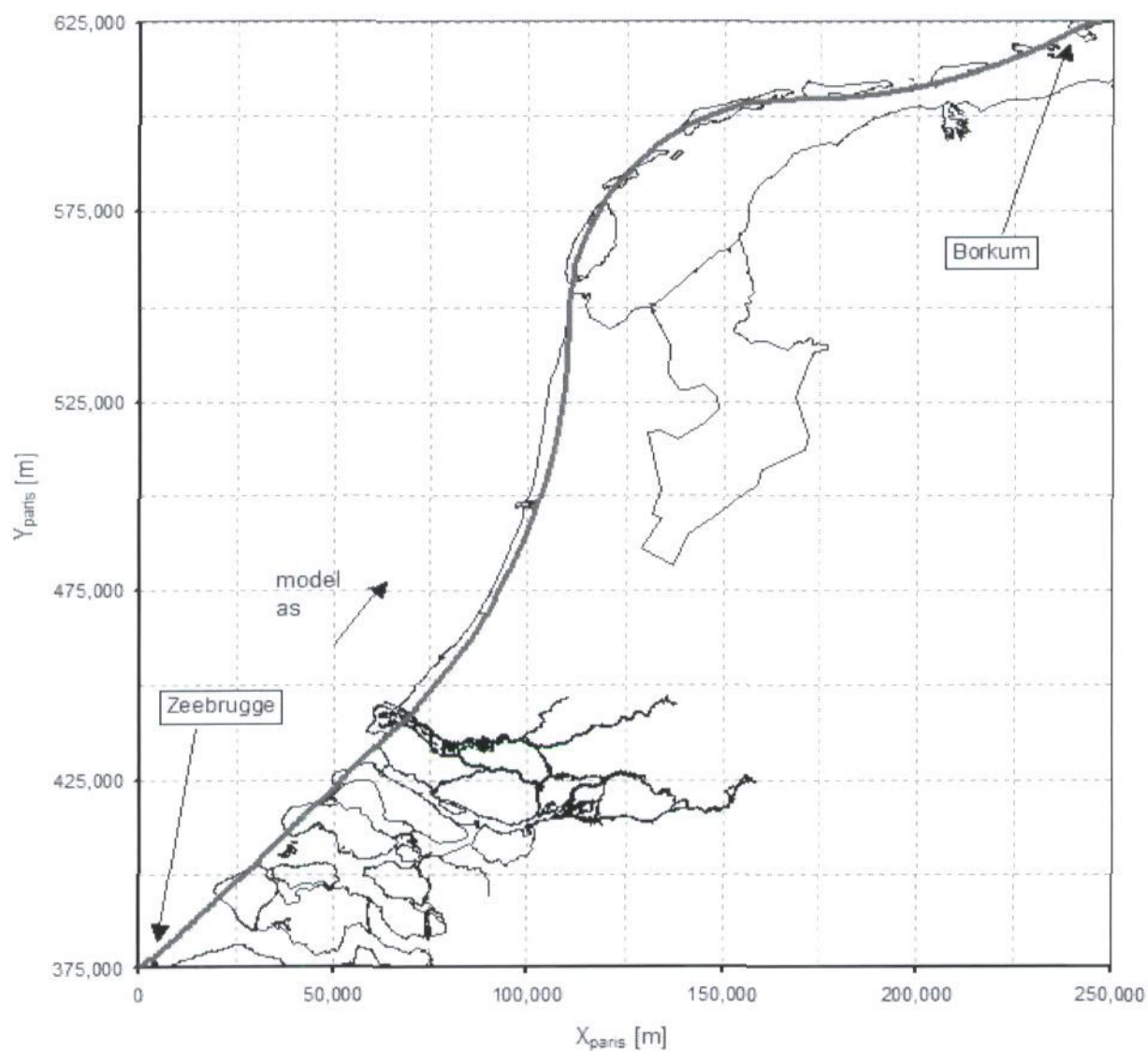
- Alkyon/Arcadis/Nieuwe Gracht**, 2000. *Visie Hollandse kust; Kustmorfologische overwegingen*. Rapport A774, januari 2000.
- Alkyon / WL**, 1998. *Pilot-version of the PonTos-mode; Definition and elaboration of a behaviour-oriented model for the development of the Dutch coast*. Rapport A066/H3159, februari 1998.
- Alkyon / WL**, 2004. *A long-term morphological model for the whole Dutch coast*. Rapport A1000/Z3334, november 2004.
- Alkyon / WL**, 2005. *LT-effecten van kustontwikkelingen; Resultaten voor een 15-tal scenario's voor kustonderhoud, kustveiligheid en ecologie*. Rapport A1462/Z4051, september 2005 (in voorbereiding).
- Alkyon**, 2005, *Integrale beoordeling zwakke schakels Noord-Holland, Randvoorwaarden en uitgangspunten voor veiligheidsaspecten en de morfologische studie*, Juli 2005
- Allersma en Ribberink**, 1992. *Sea sand mining. Analysis of morphological impact of sand mining from the Rotterdam harbour entrance trench*. Report H 1258, WL|Delft Hydraulics.
- Ribberink en Roelvink**, 1989. *Sea sand mining. Supporting document of the Dutch Coastal Defence Program of the National Institute for Coastal Management*. Report H 825, WL|Delft Hydraulics.
- Santen, W.A.C. van**, 1999. *Morphodynamics of the Nieuwe Schulpengat area, Texel inlet, Nederland. Morphodynamics of a main tidal channel-mouth bar system close to the shoreface*. NITG-TNO/Geo Marine and Coast. Department of Physical Geography, Utrecht University.
- Walstra, Reniers, Roelvink, Wang, Steetzel, Aarninkhof, Van Holland, Stive**, 1997. *Grootschalige lange-termijn effecten van Maasvlakte-2 en gerelateerde zandwinningsvarianten*. Report Z2255, WL|Delft Hydraulics.
- WL**, 2004. *Planstudie Veiligheid; Fase 3 : Impact morfologische ingrepen*. Rapport Z3725, december 2004.



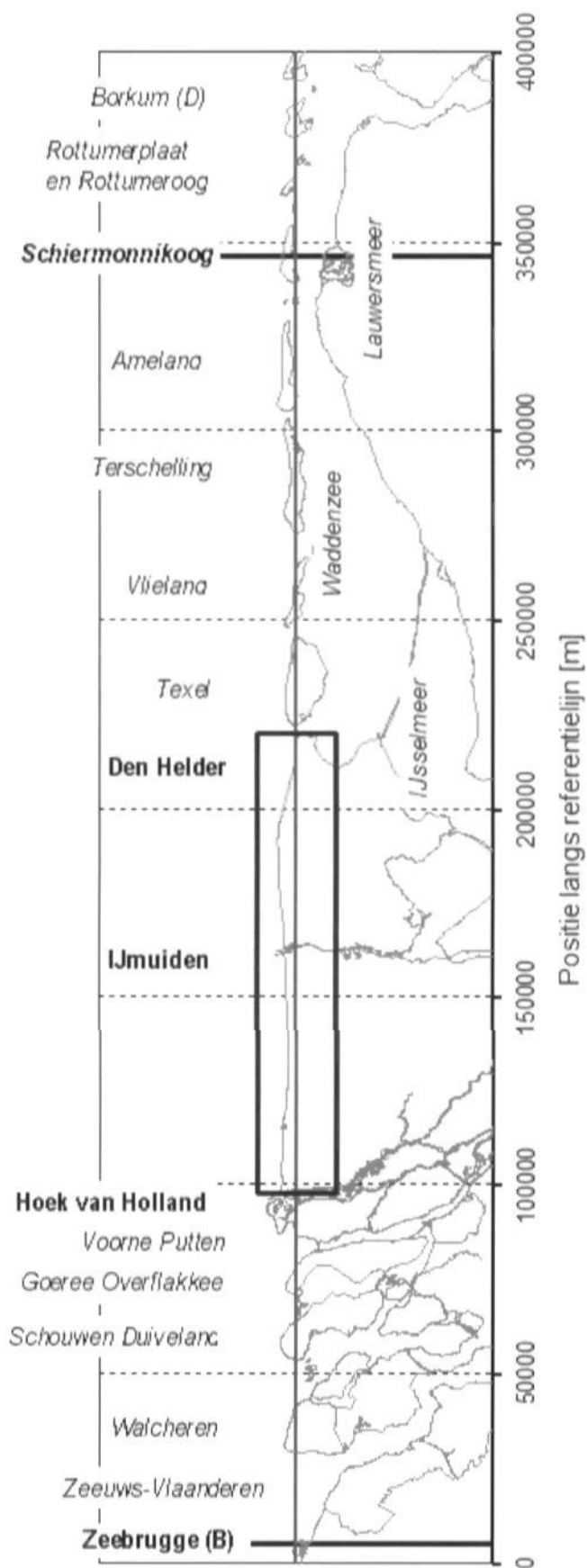
Figuren



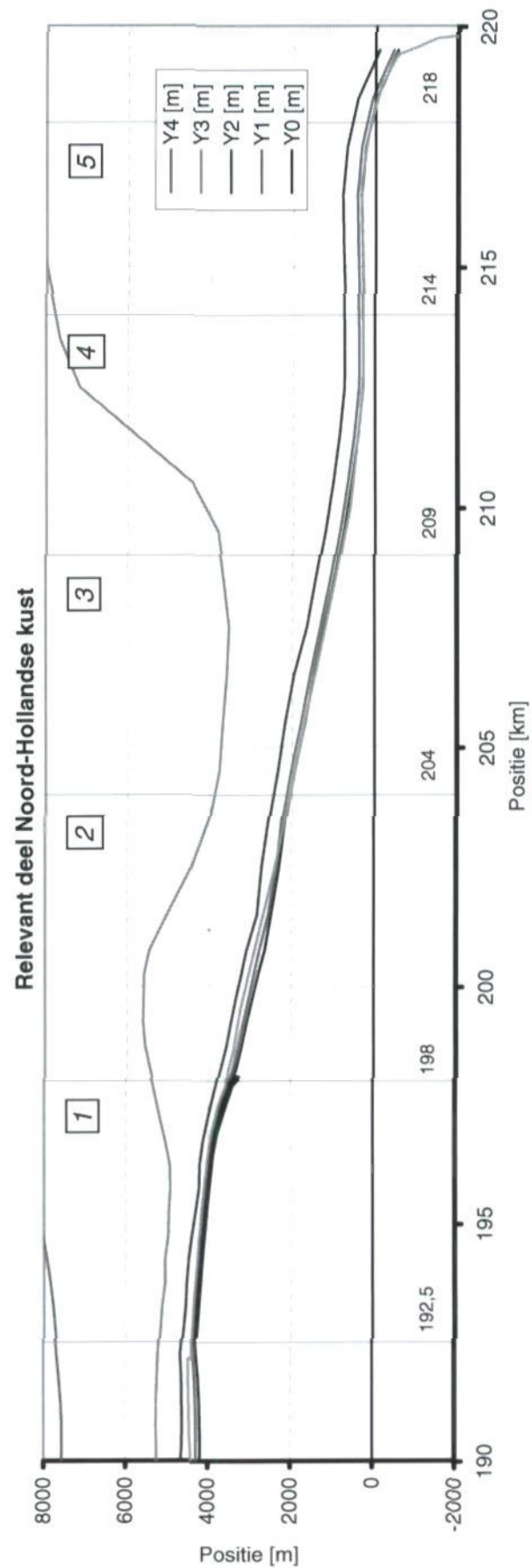
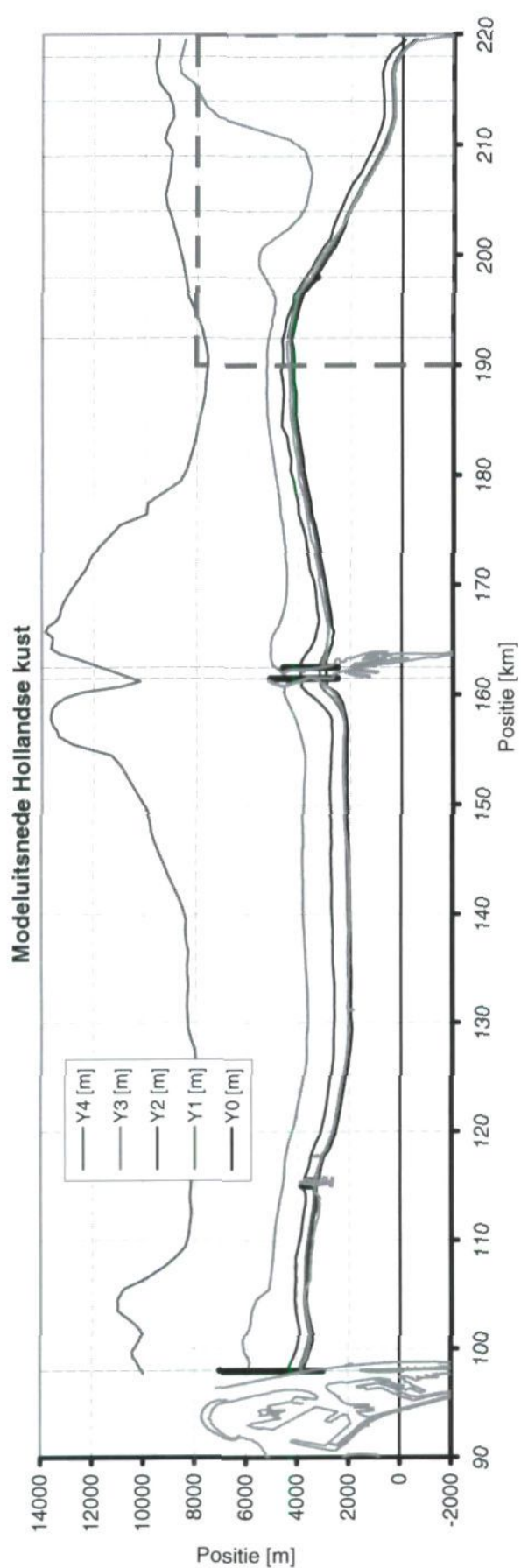
Overzicht ligging PonTos-model langs Nederlandse Noordzeekust



Ligging PonTos-model in meer detail

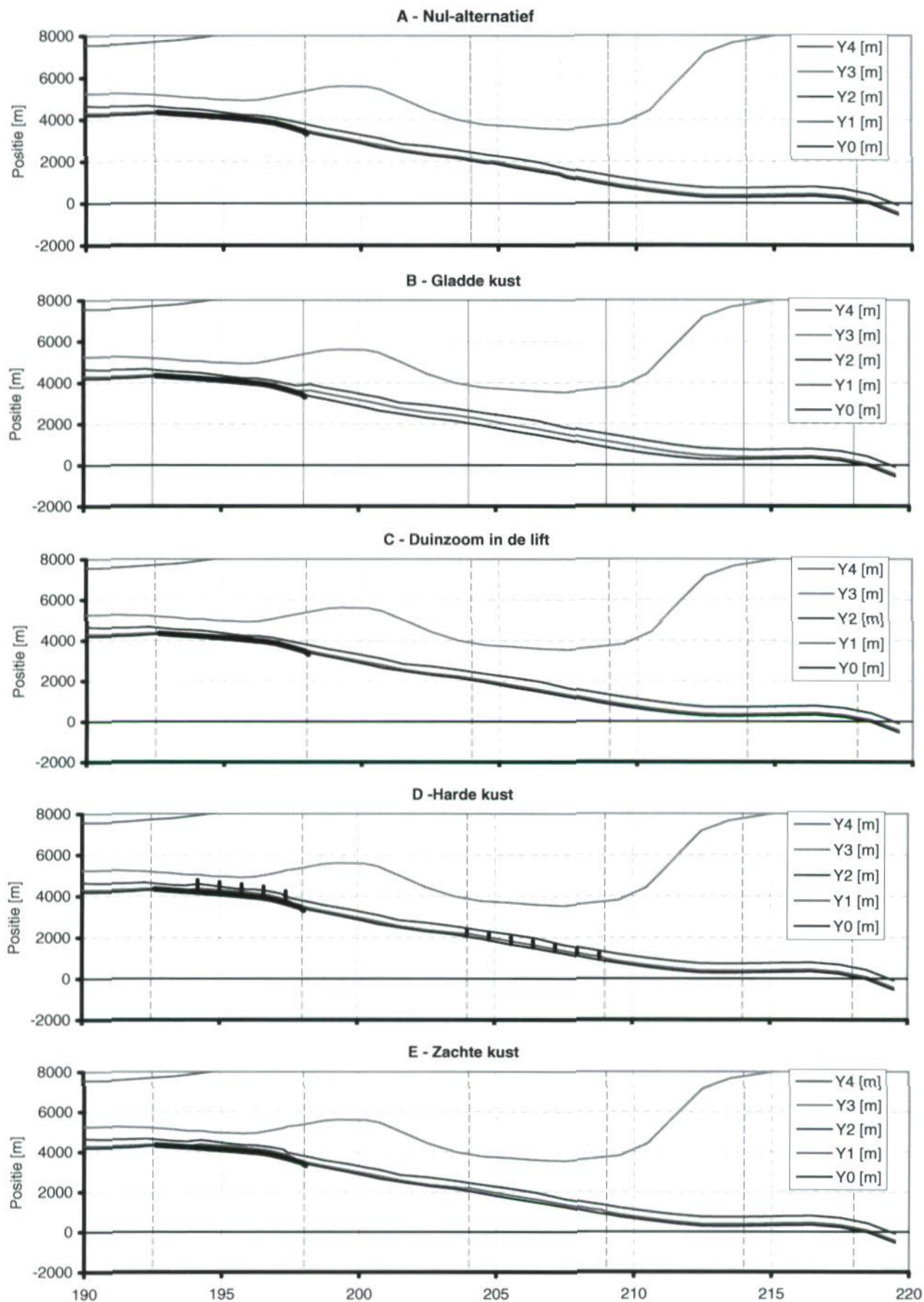


PonTos-model in gestrekte vorm met lokatie relevant deel van het rekenmodel



Overzicht PonTos-model voor Hollandse kust

Detail relevant deel Noord-Hollandse kust



Overzicht onderzochte basisalternatieven

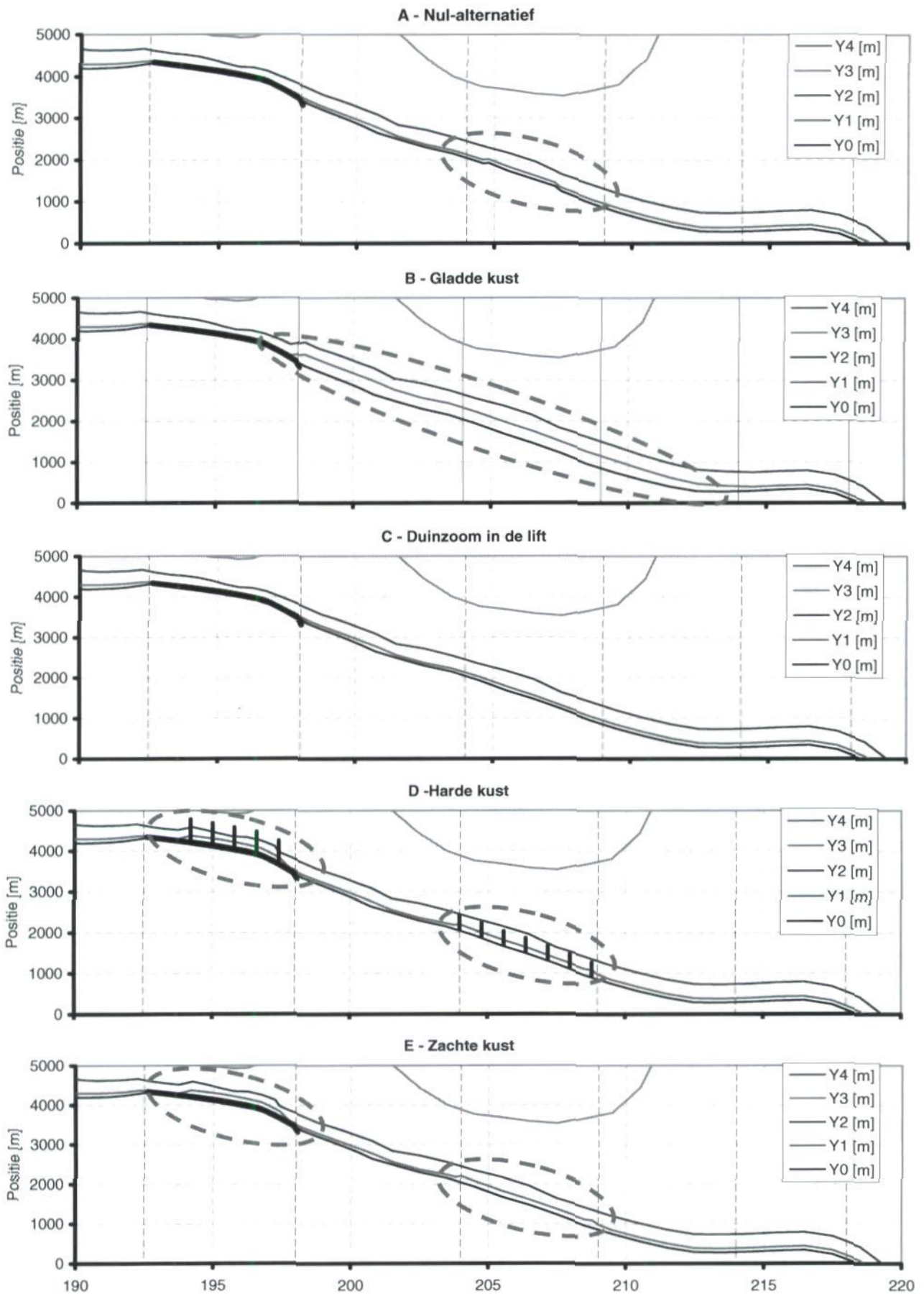
Nul-alternatief (A), "Gladde kust" (B), "Duinzoom in de lift" (C),
"Harde kust" (D) en "Zachte kust" (E)

MORFOLOGISCHE BEOORDELING BASISALTERNATIEVEN

A1474

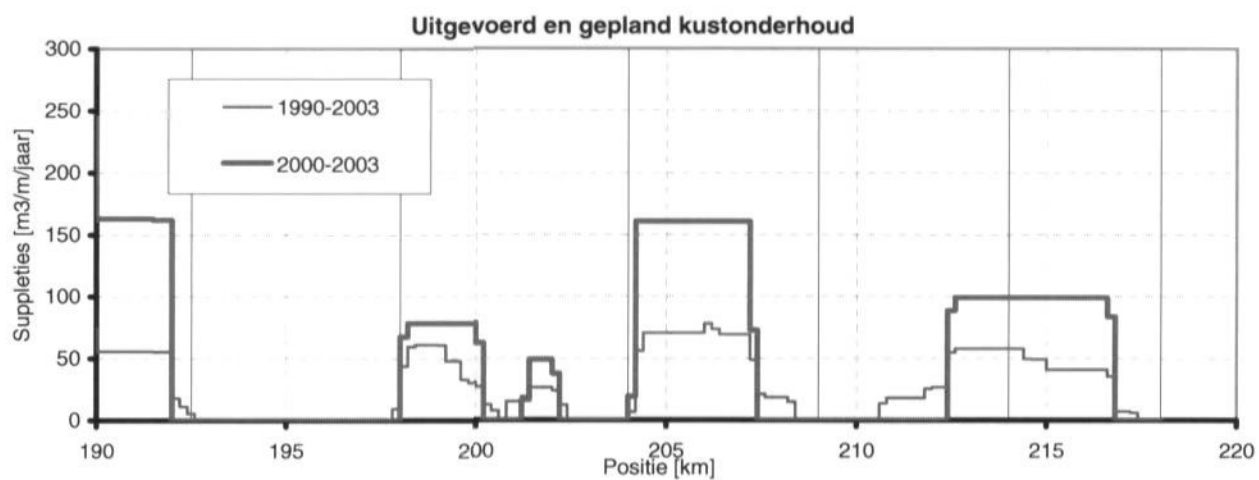
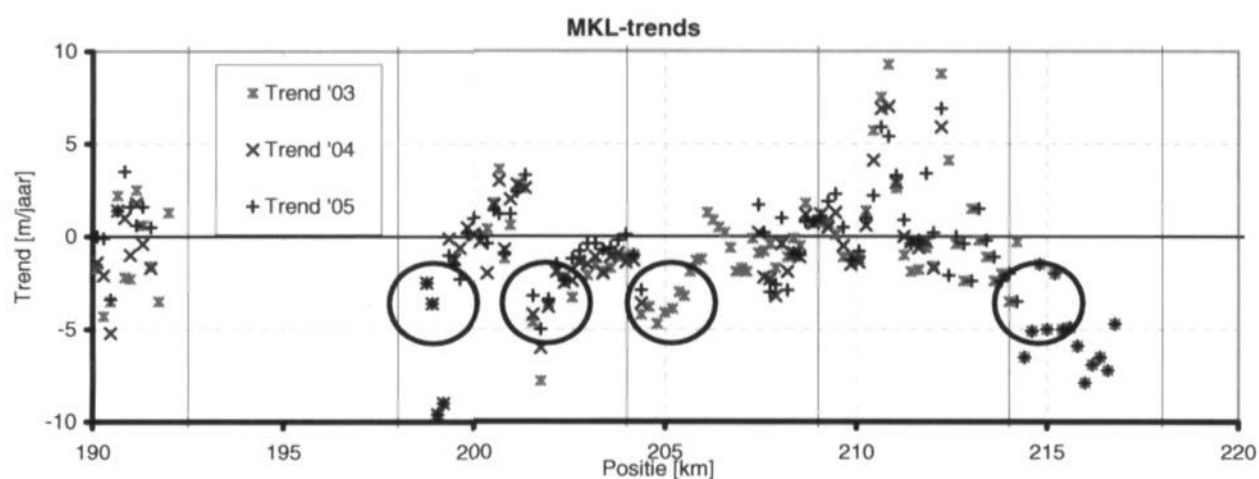
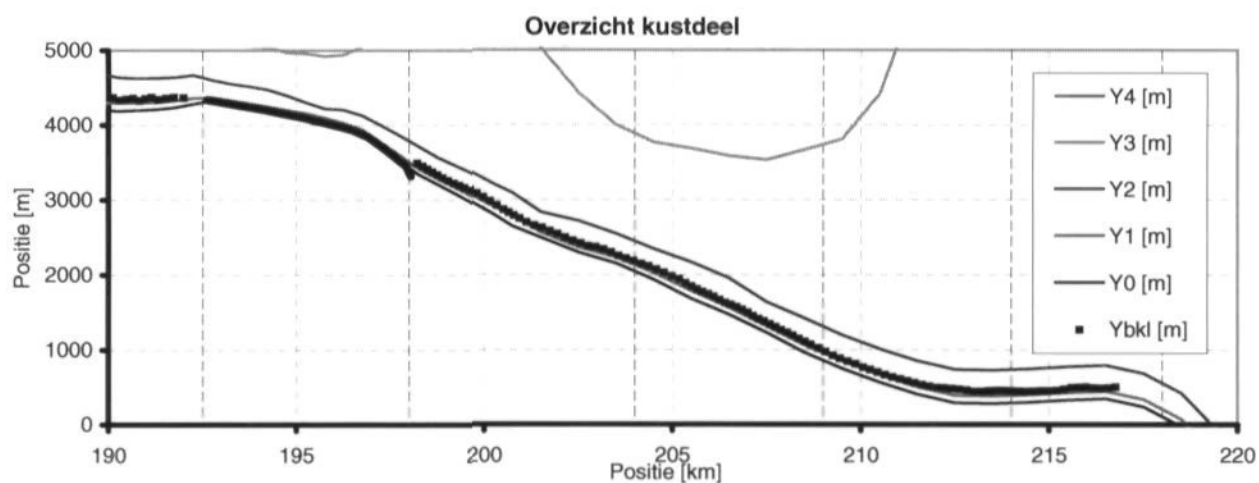


Fig. 4.2

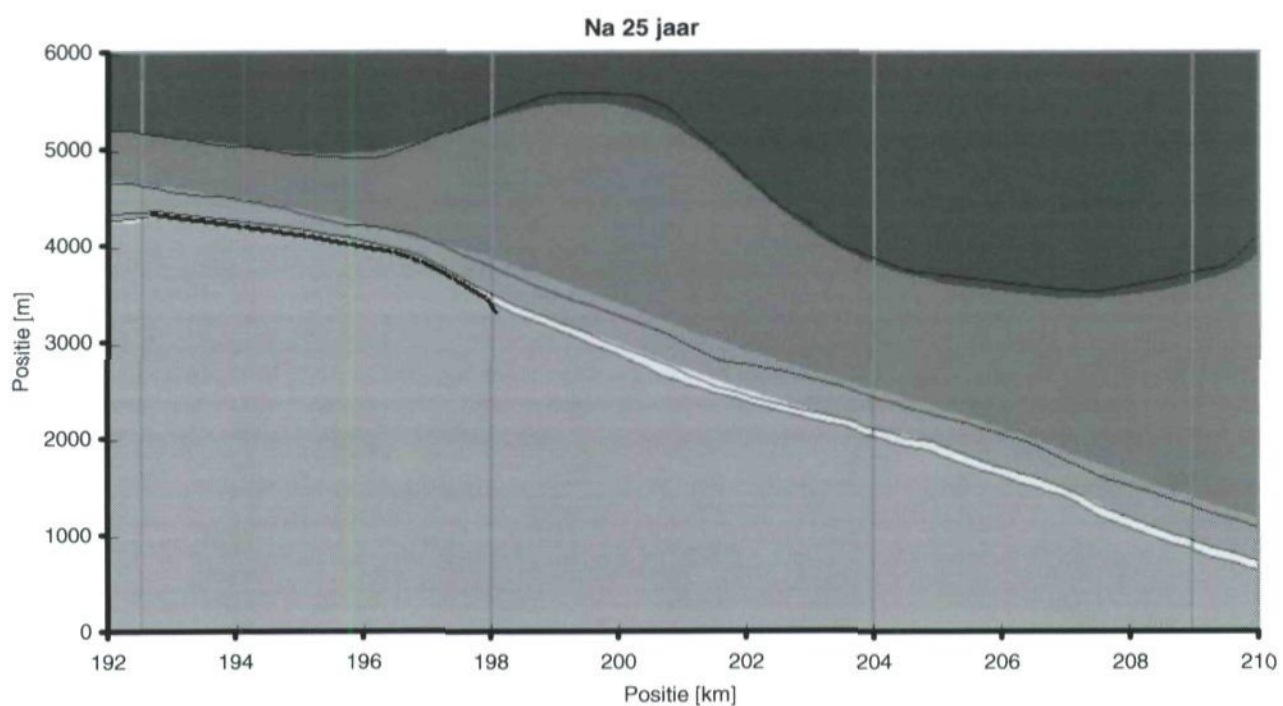
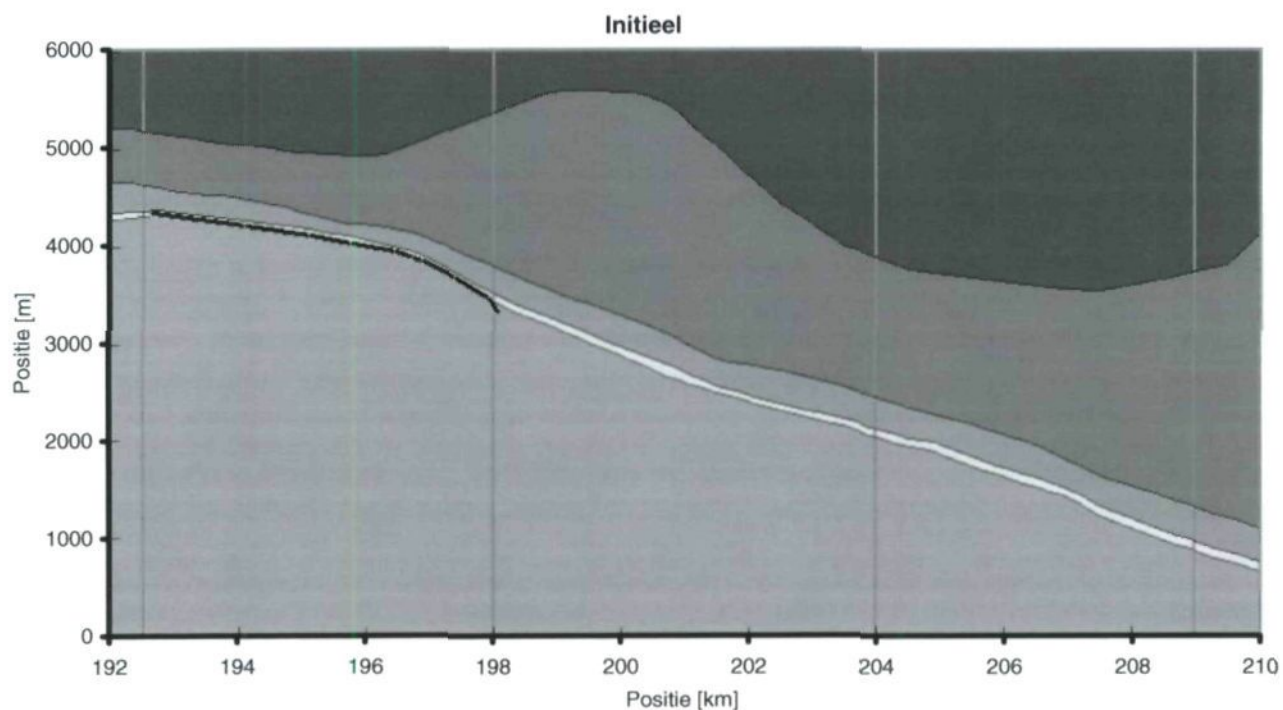


Overzicht basisalternatieven in meer detail

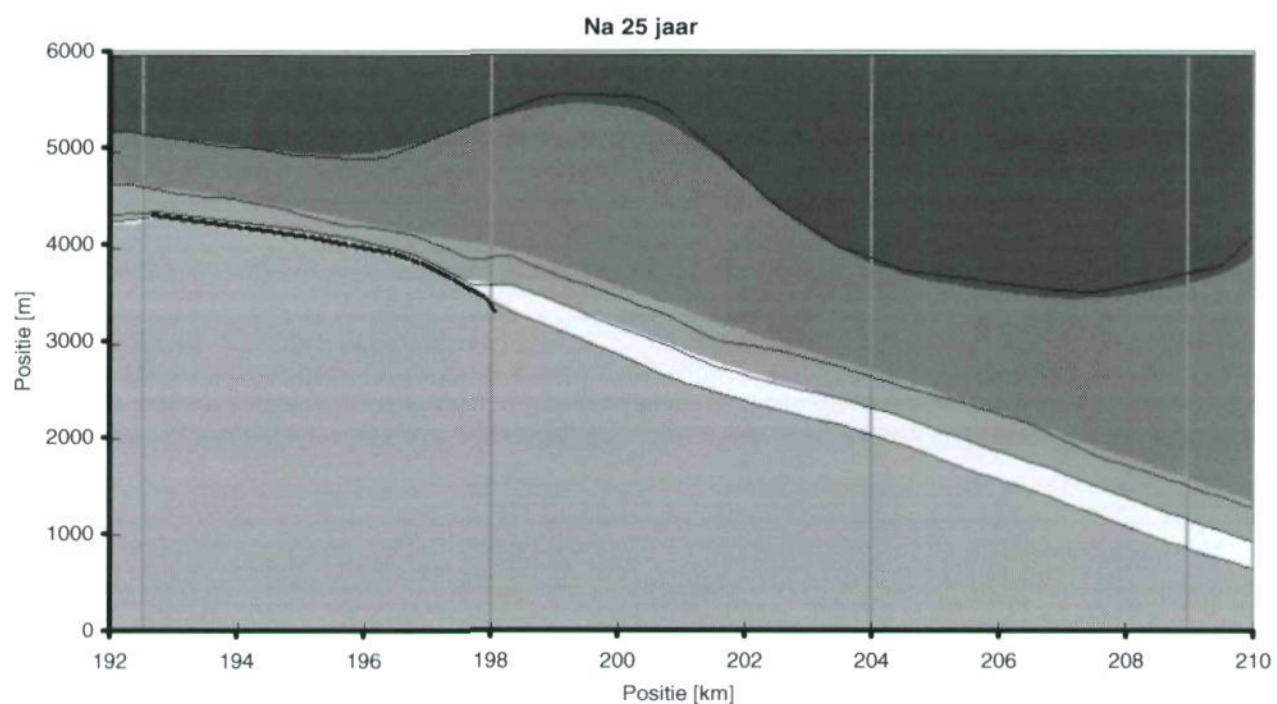
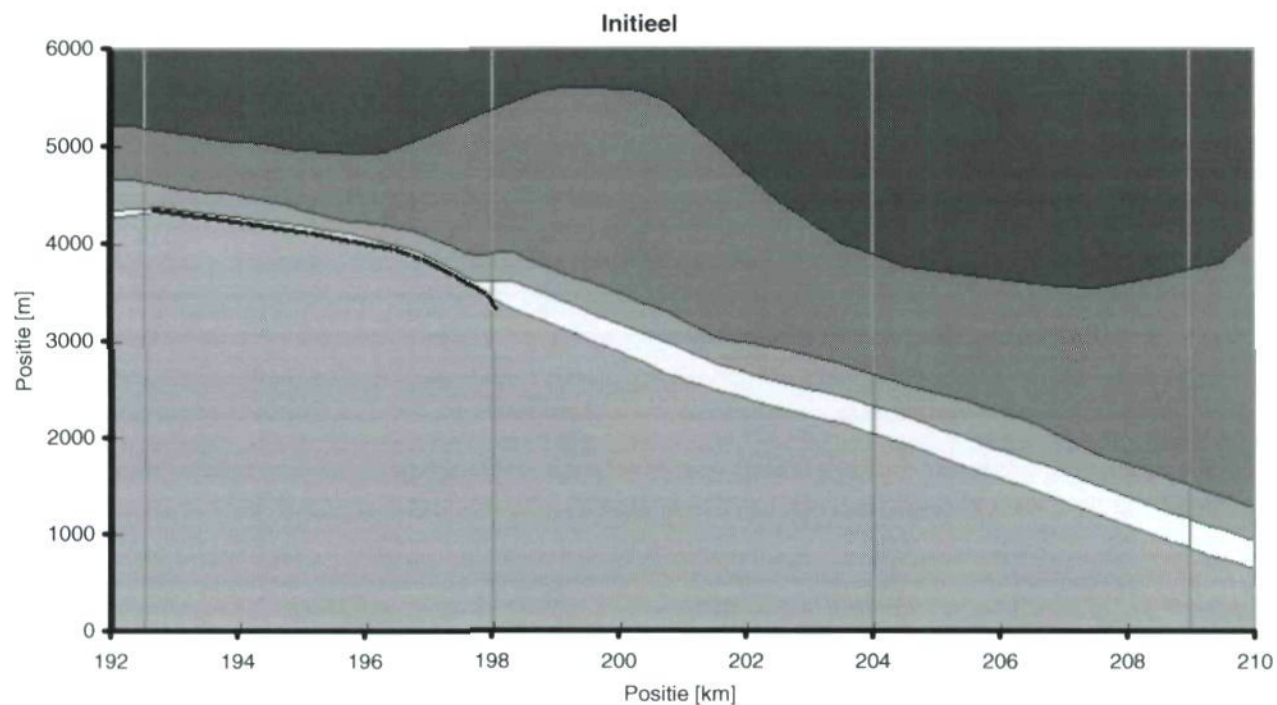
Nul-alternatief (A), "Gladde kust" (B), "Duinzoom in de lift" (C),
"Harde kust" (D) en "Zachte kust" (E)



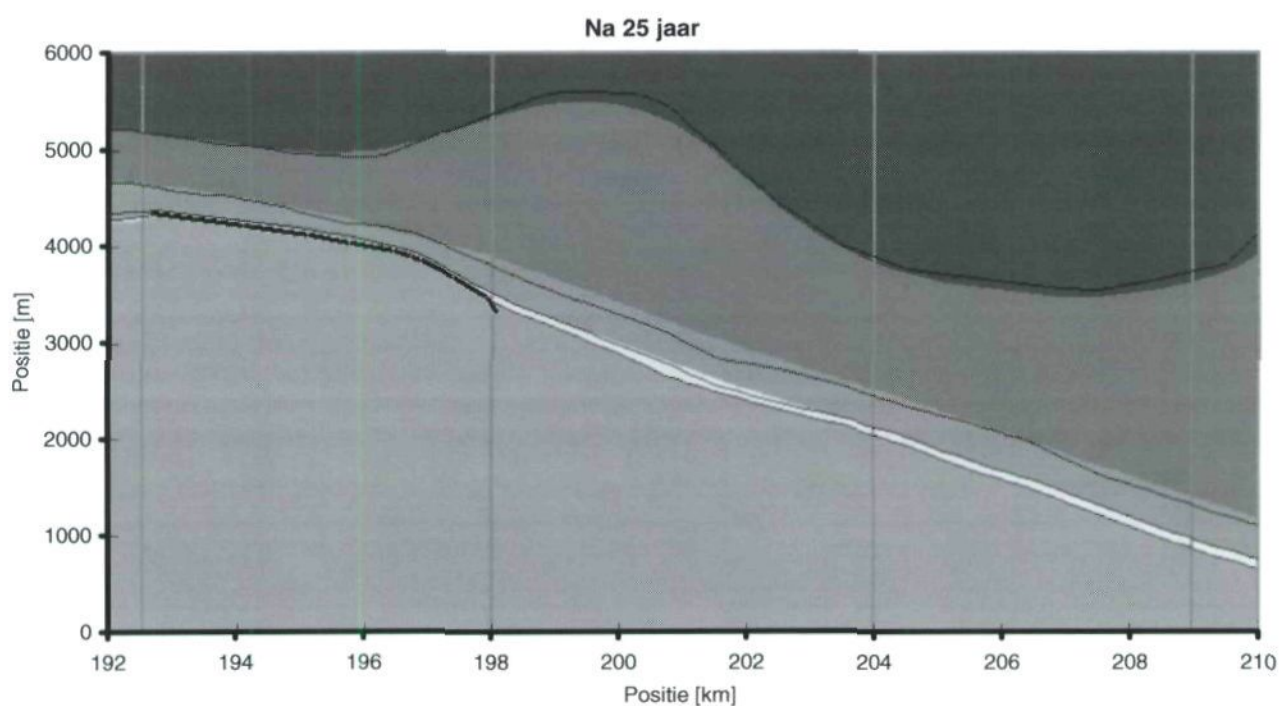
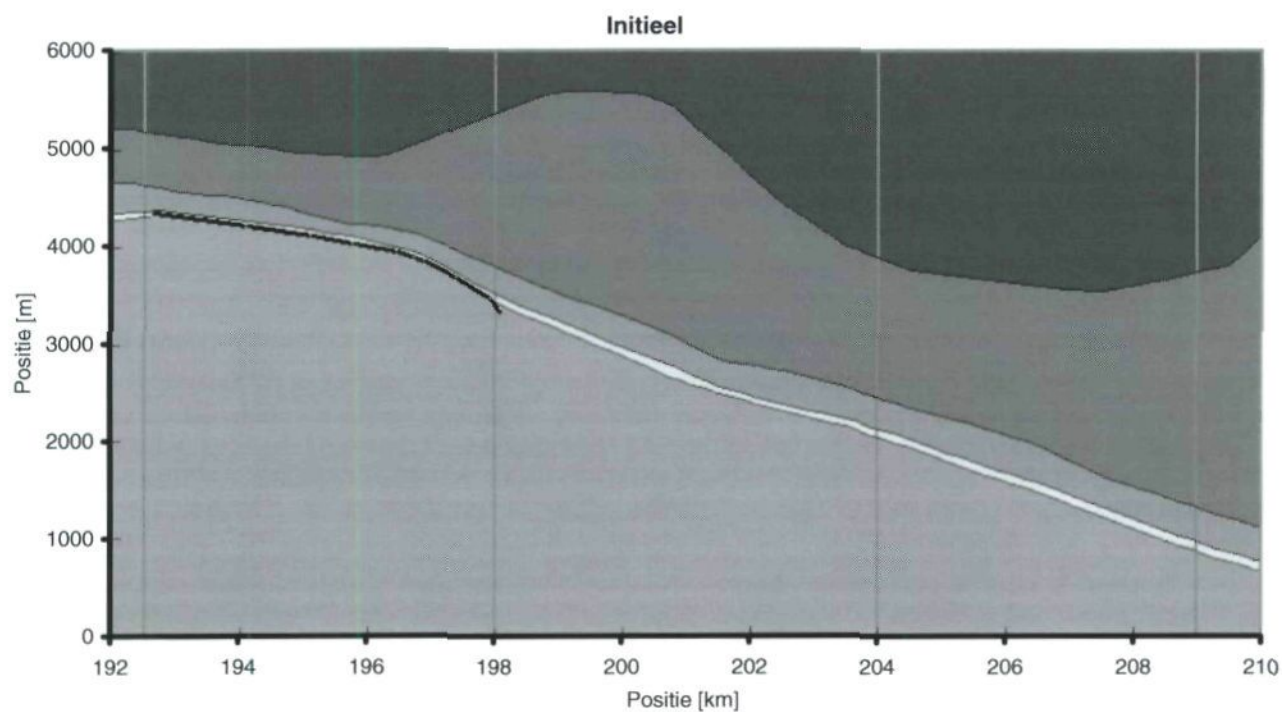
Overzicht aanwezige trends in kustlijnontwikkeling
en kustonderhoud



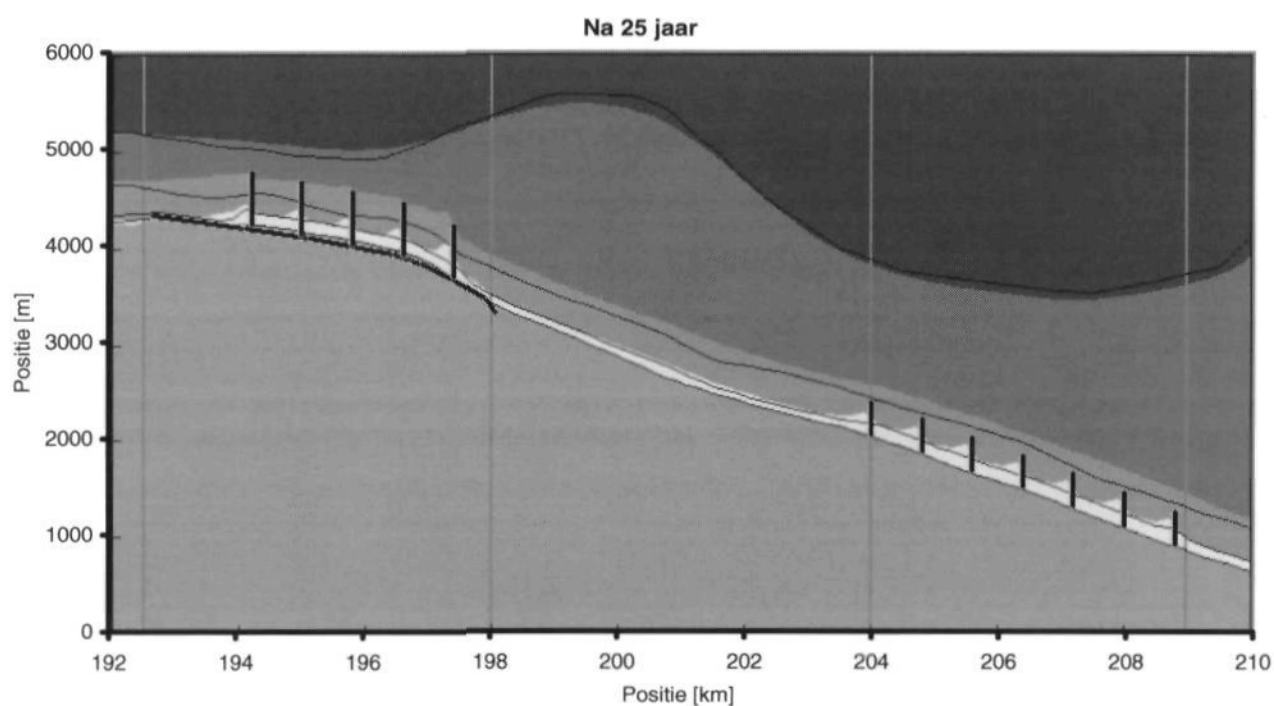
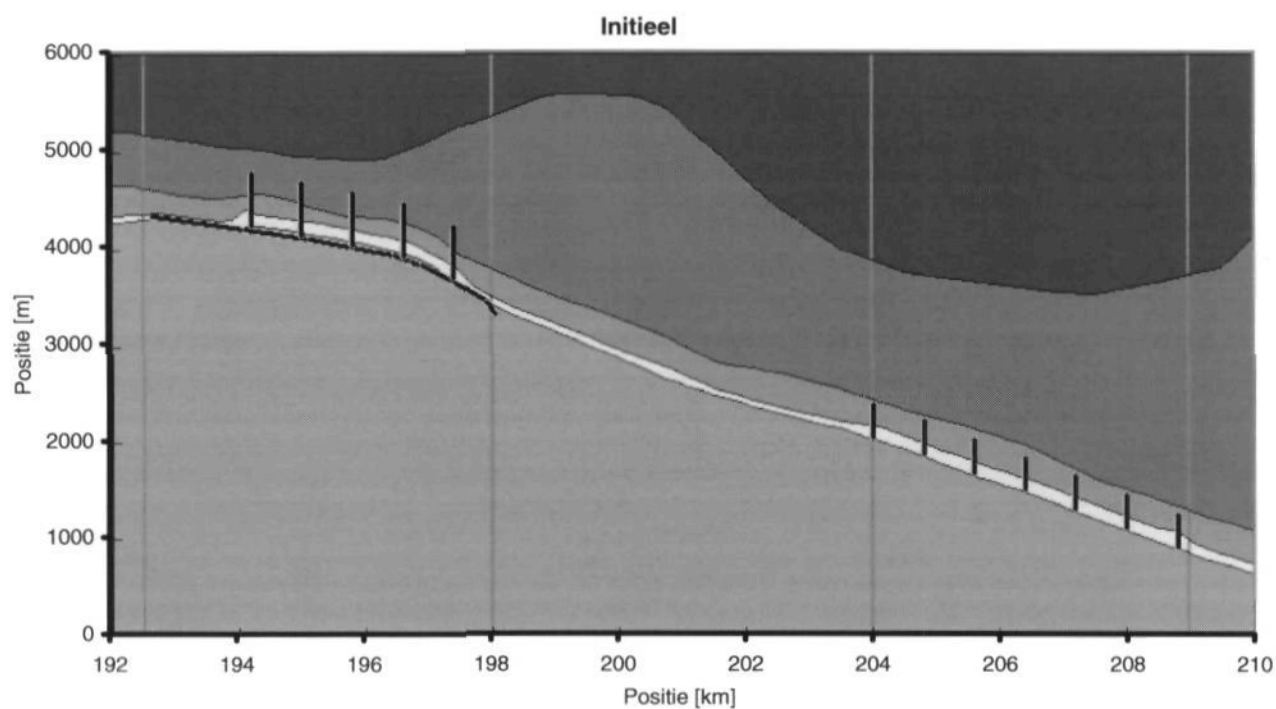
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief A - Nulalternatief
Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar



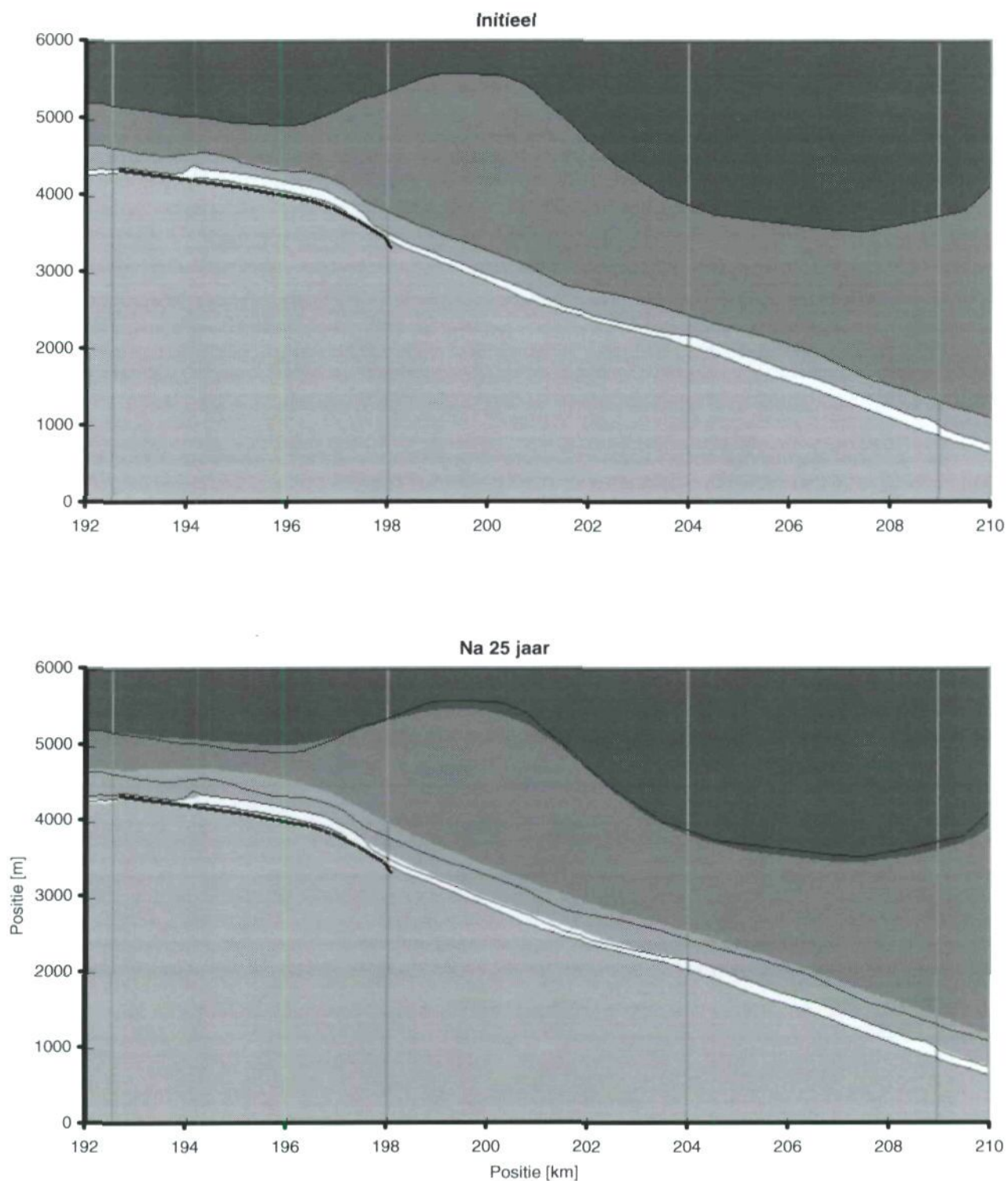
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief B - Gladde kust
Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar



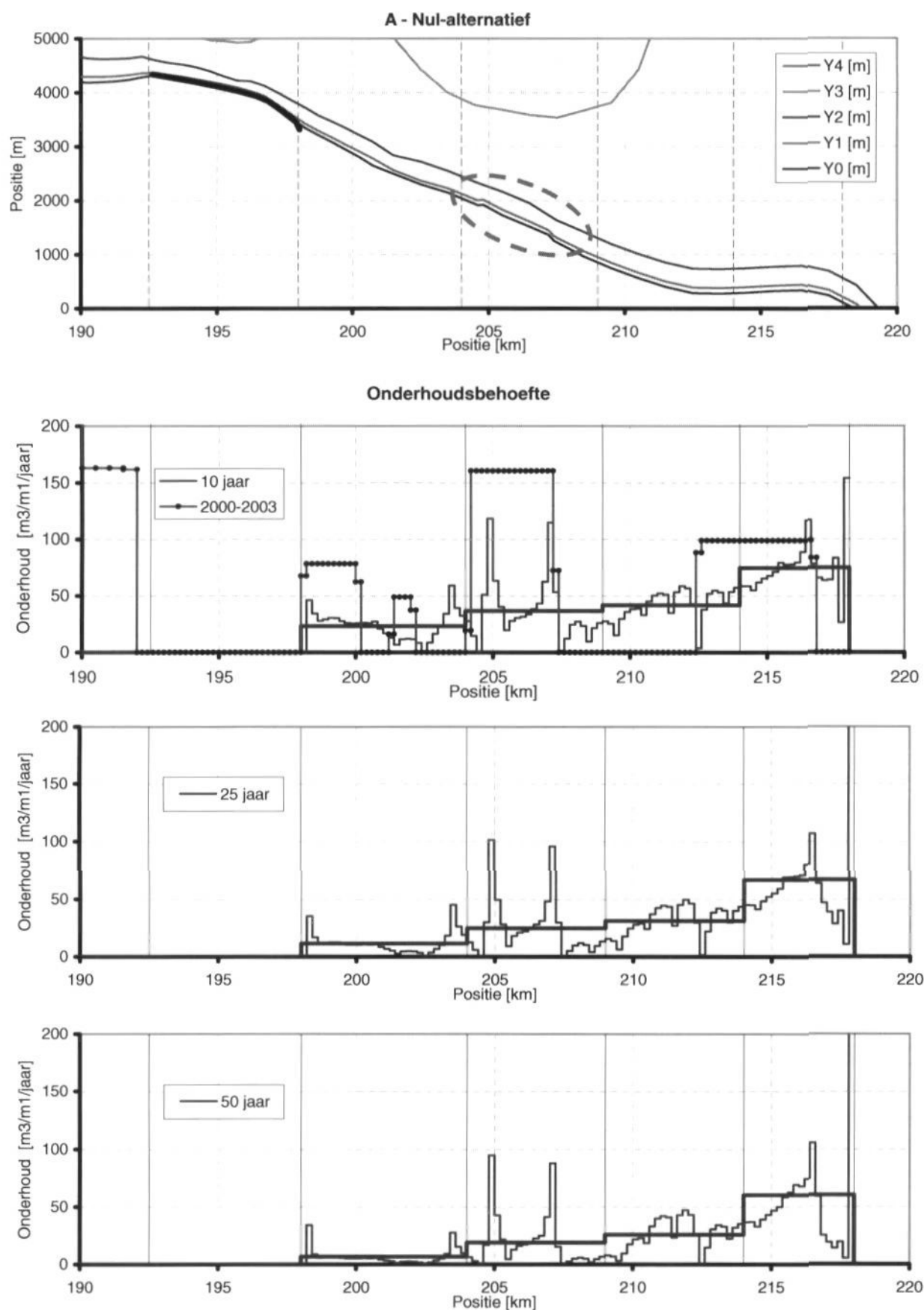
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief C - Duinzoom in de lift
Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar



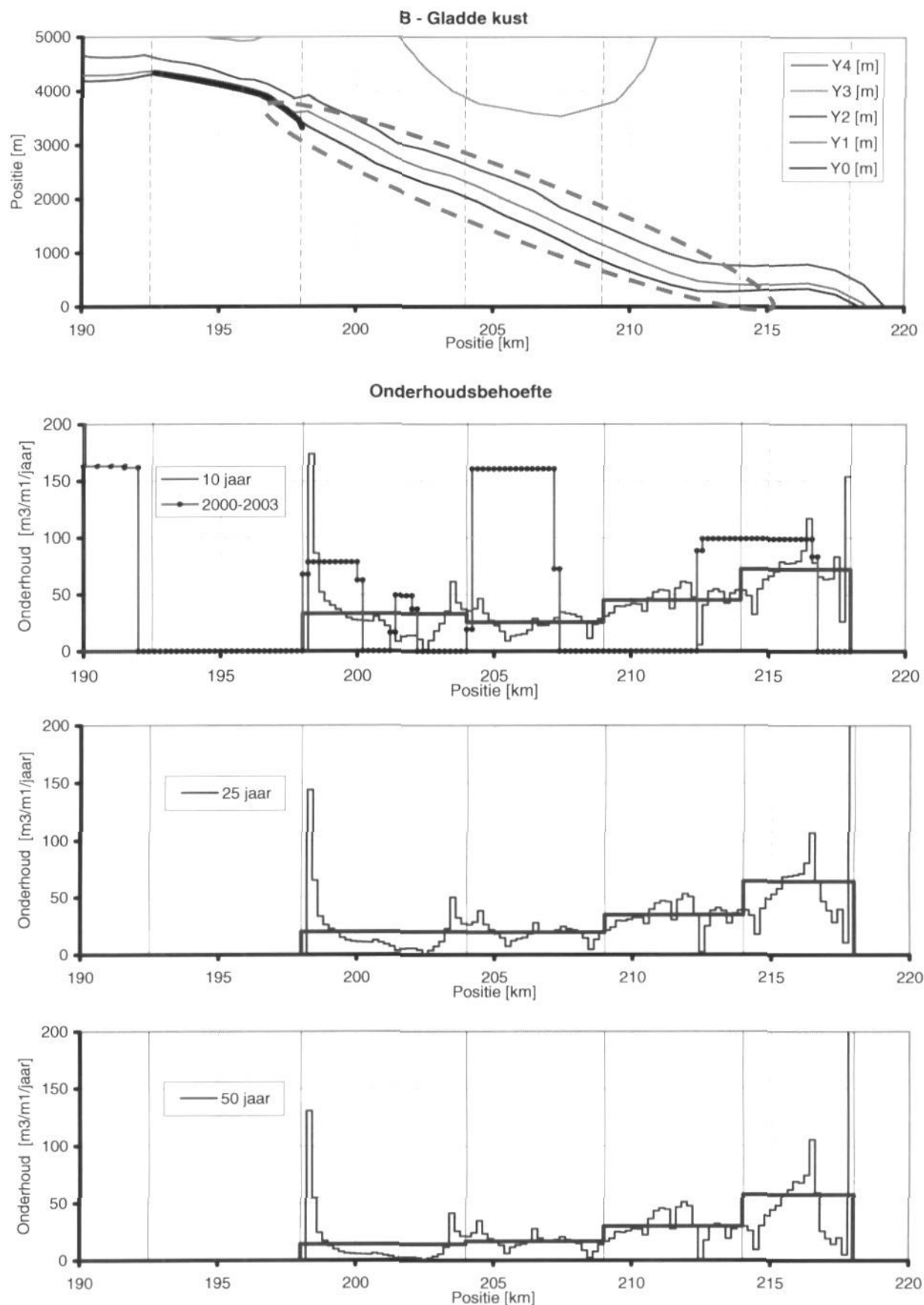
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief D - Harde kust
Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar



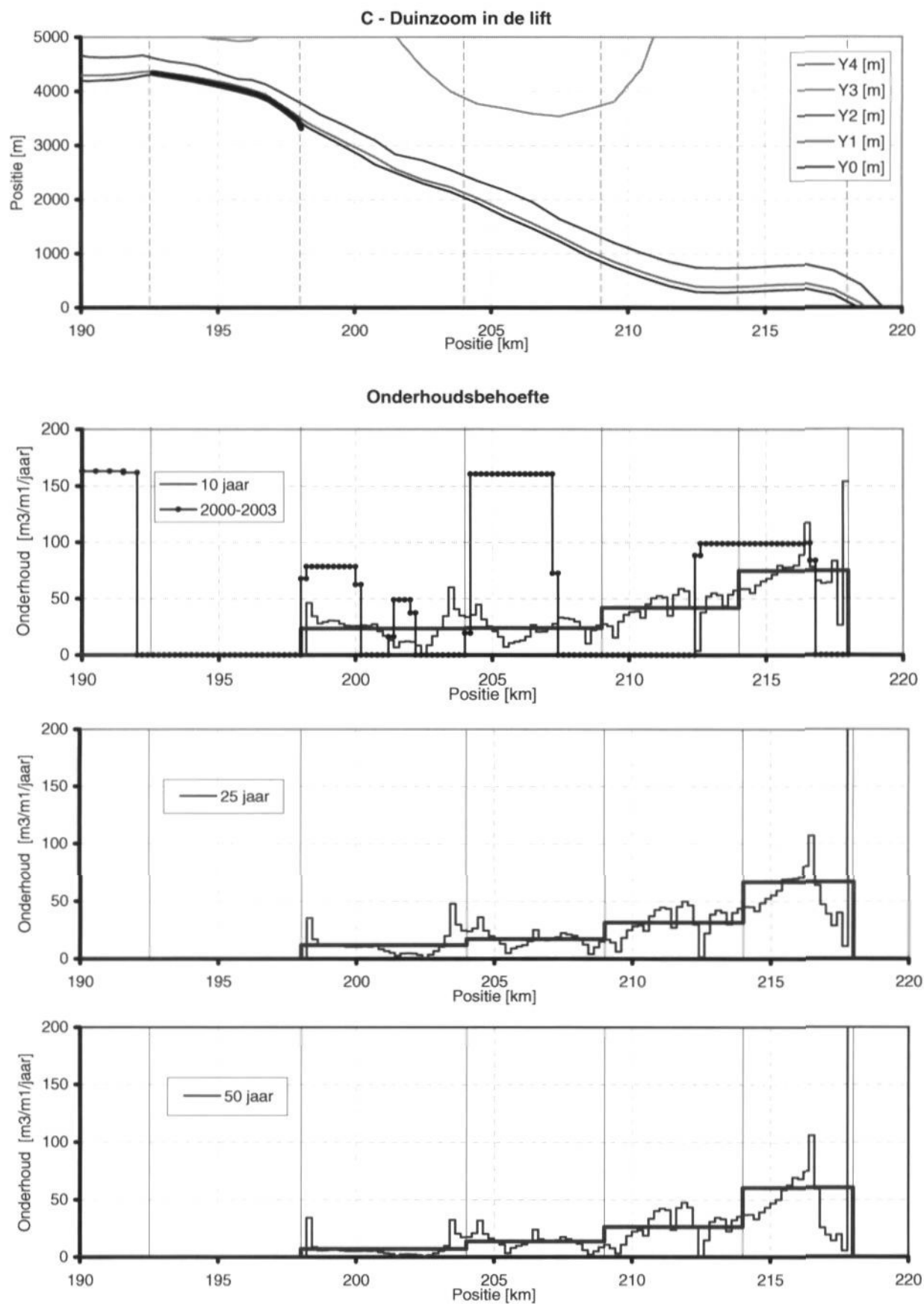
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief E - Zachte kust
 Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar



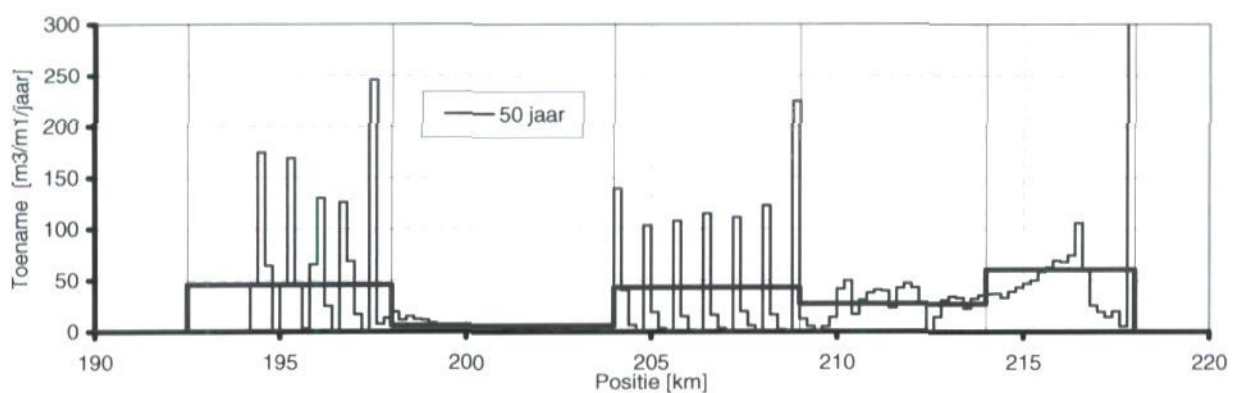
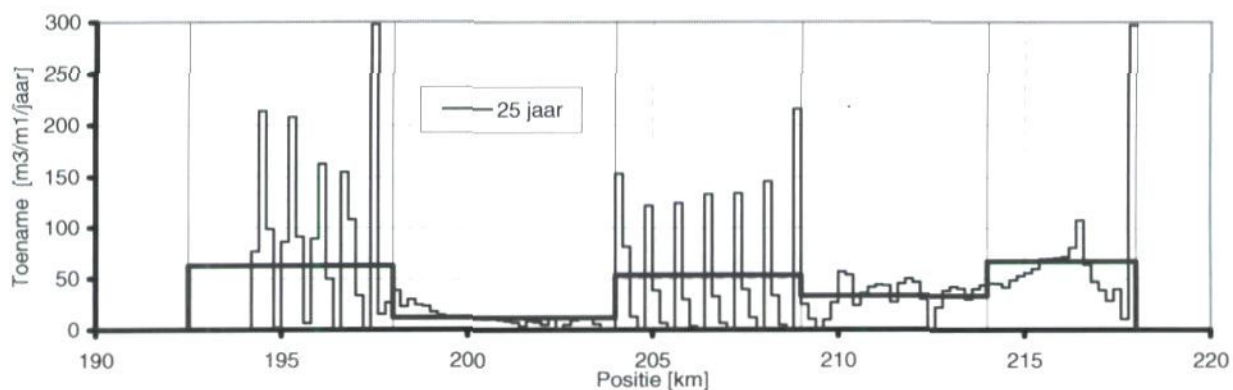
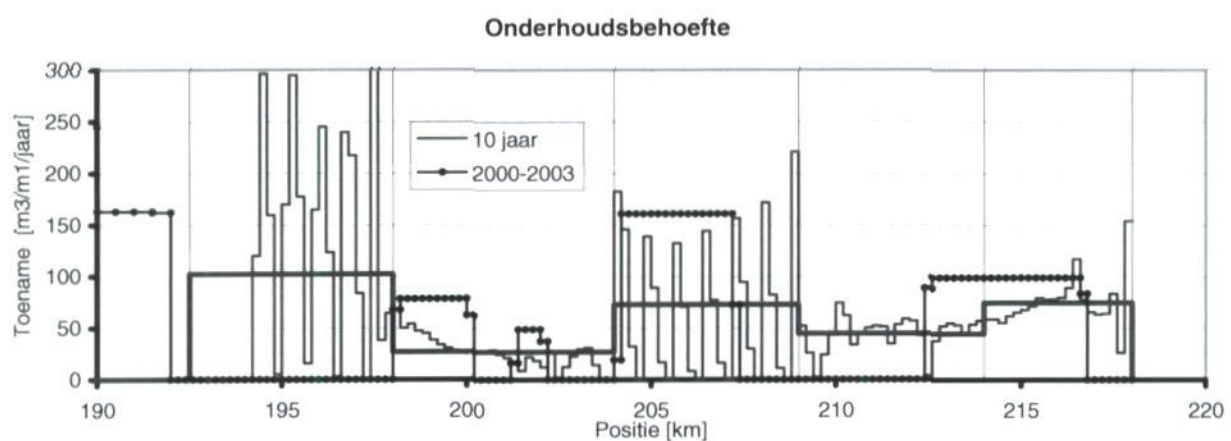
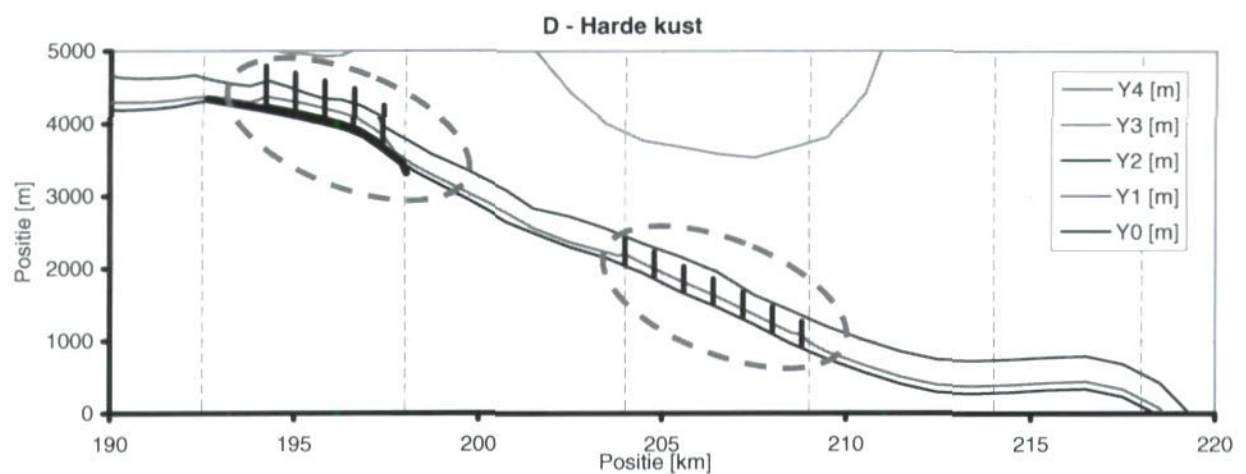
Overzicht benodigd kustonderhoud A - Nulalternatief
 Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
 Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



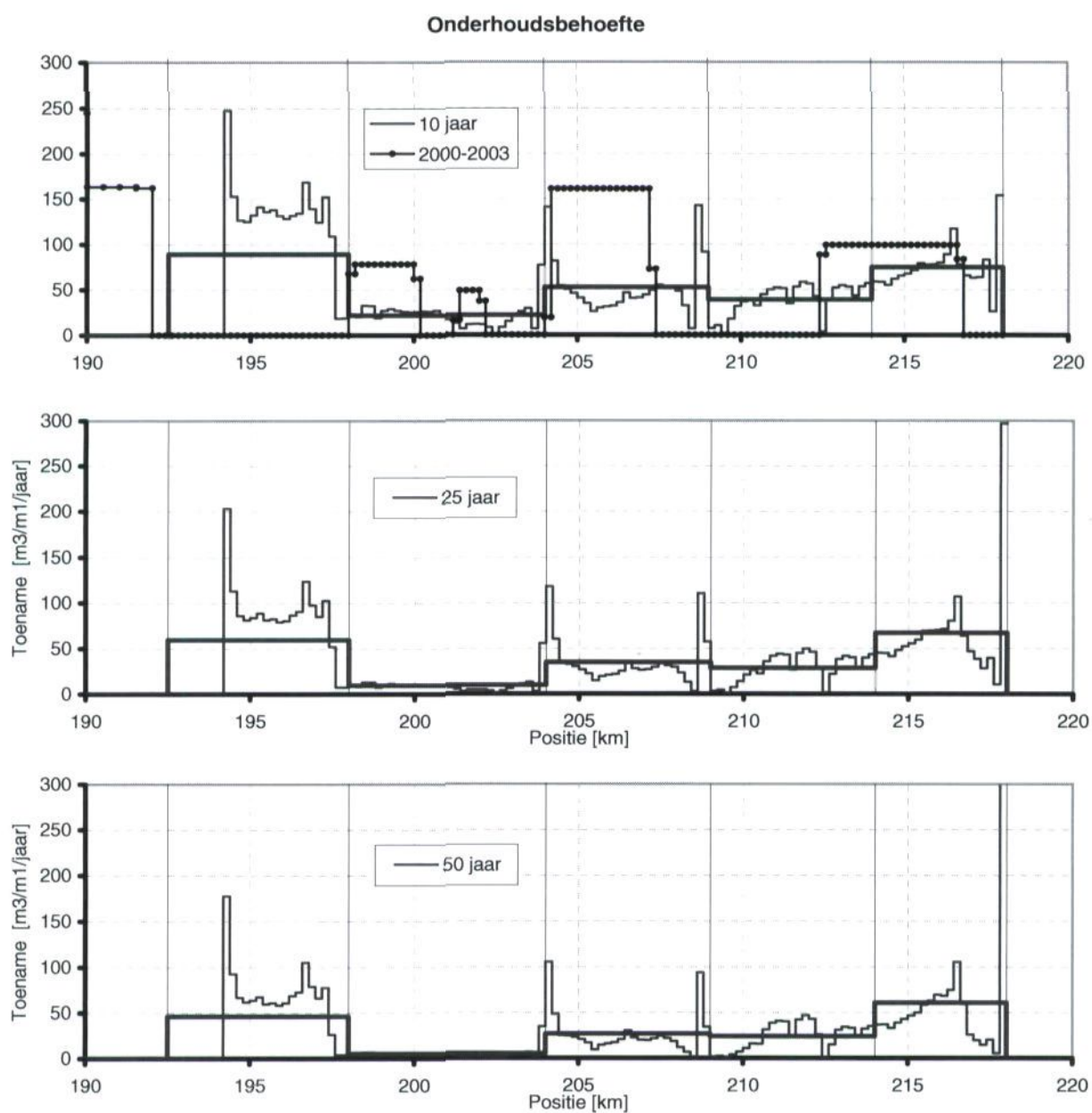
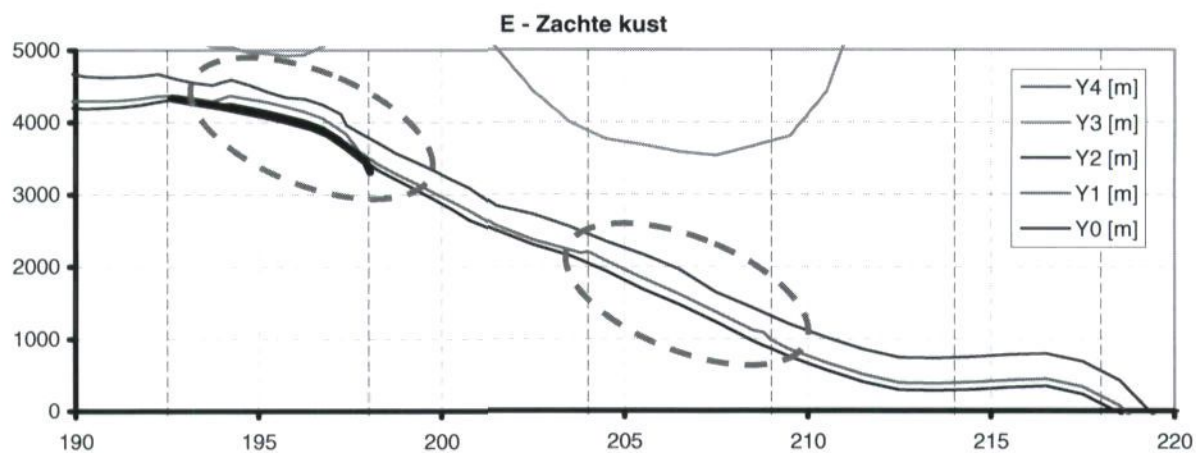
Overzicht benodigd kustonderhoud B - Gladde kust
 Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
 Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



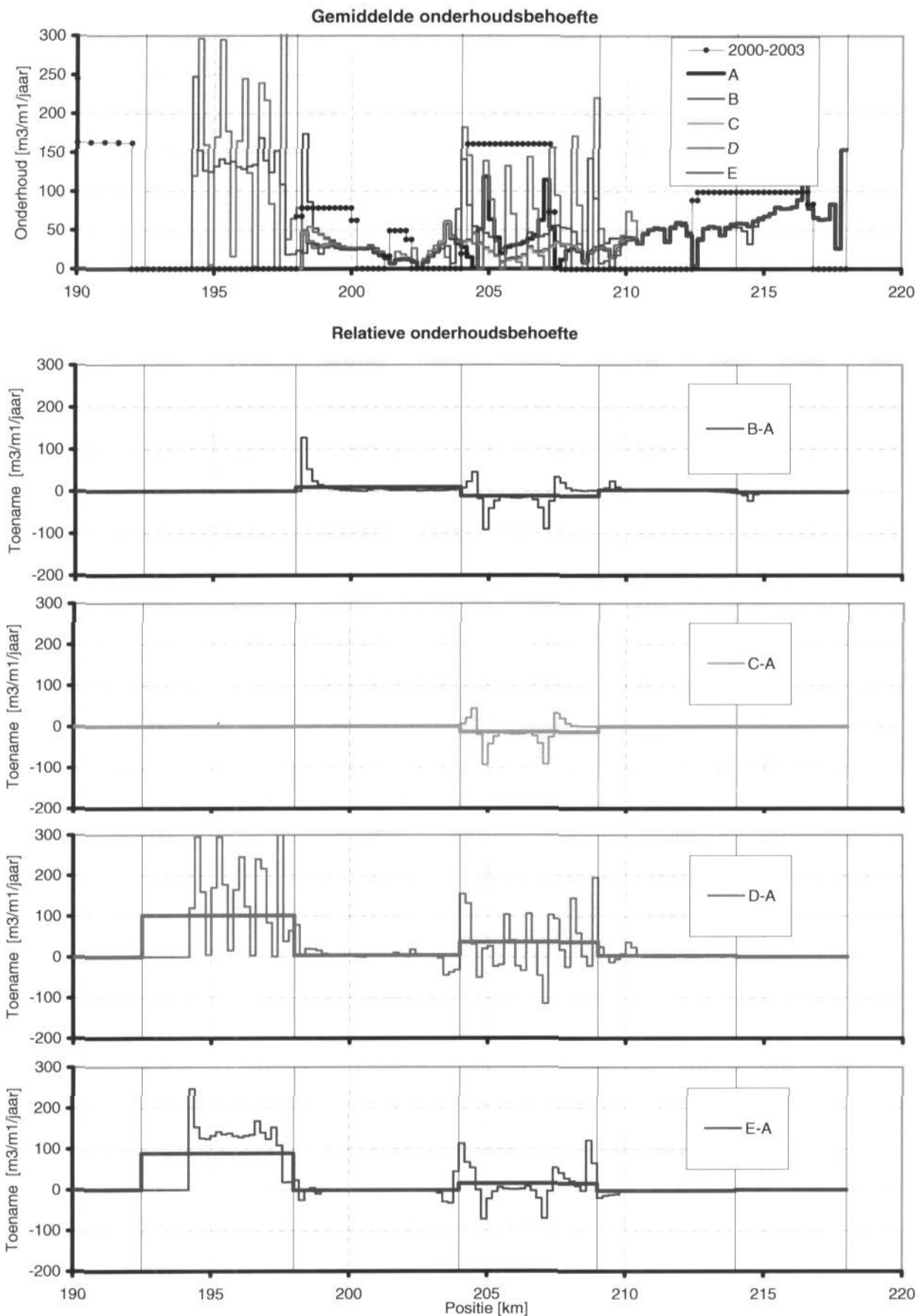
Overzicht benodigd kustonderhoud C - Duinzoom in de lift
 Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
 Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



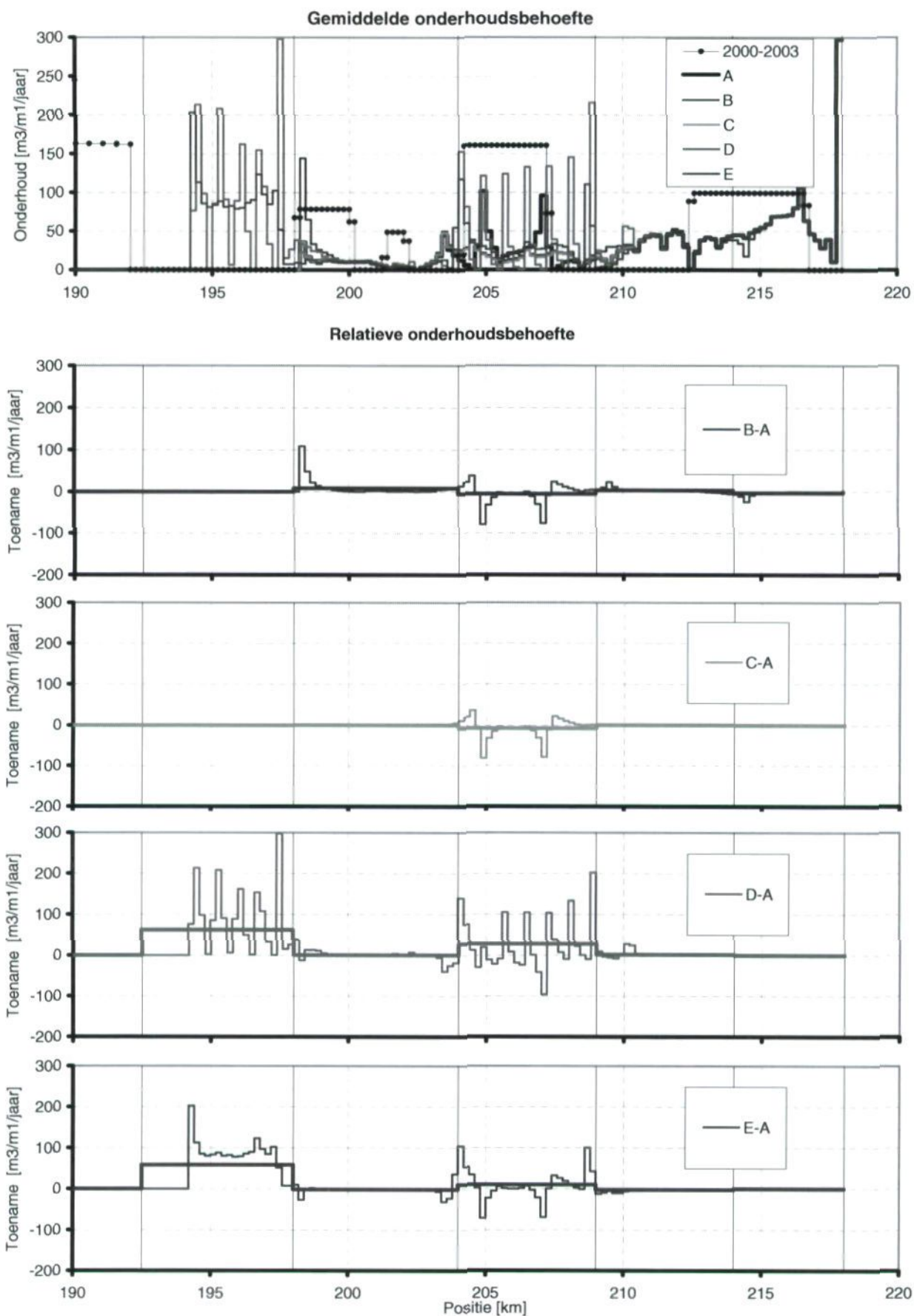
Overzicht benodigd kustonderhoud D - Harde kust
Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



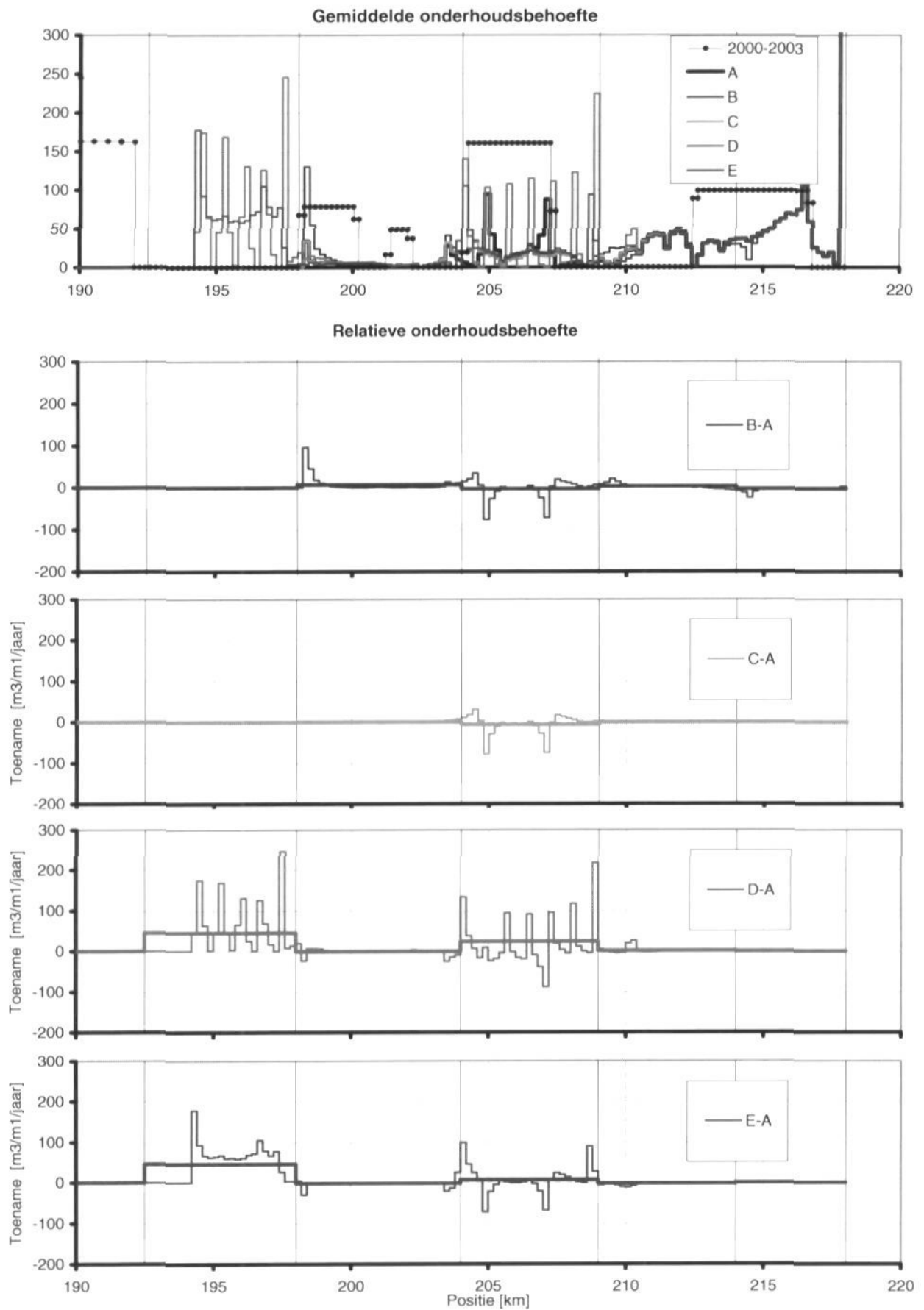
Overzicht benodigd kustonderhoud E - Zachte kust
 Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
 Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



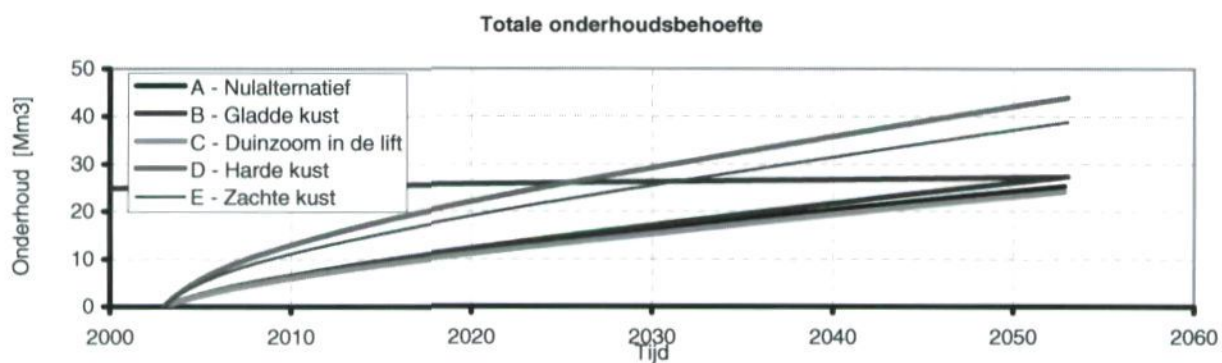
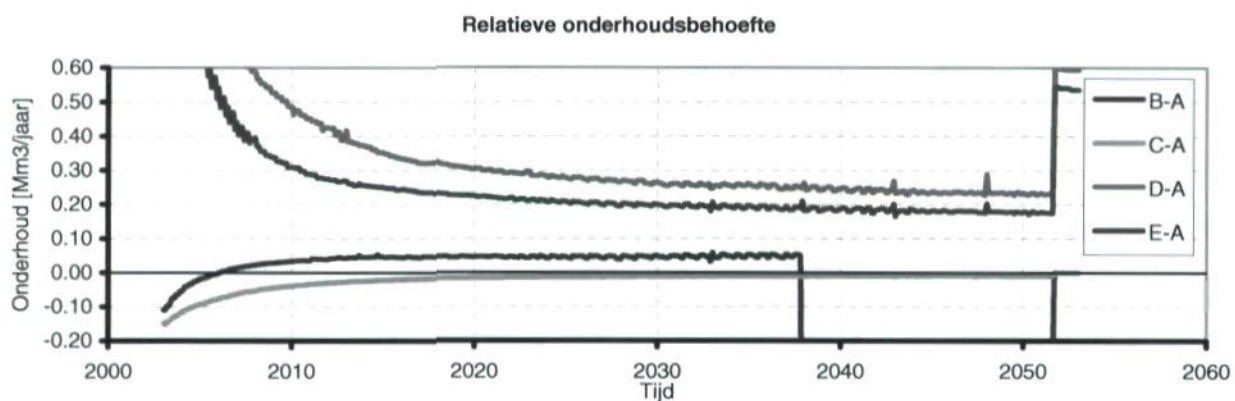
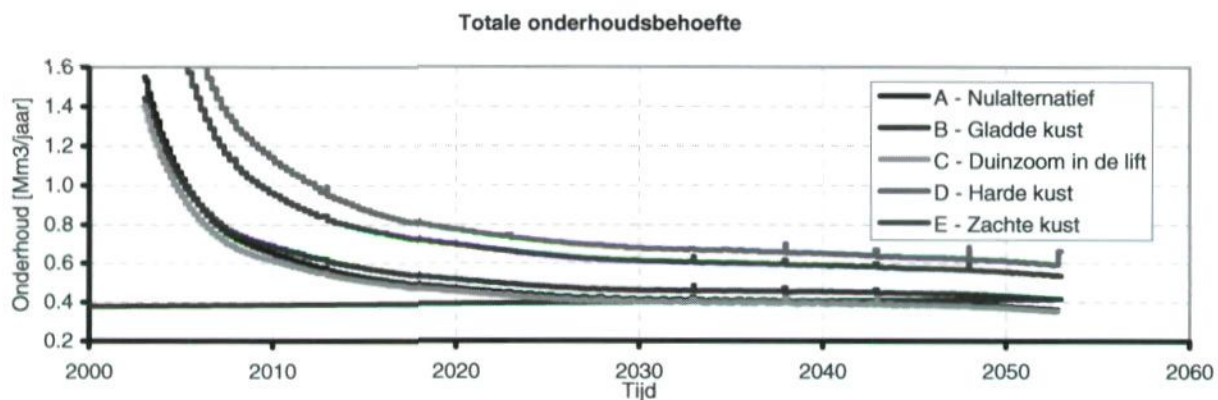
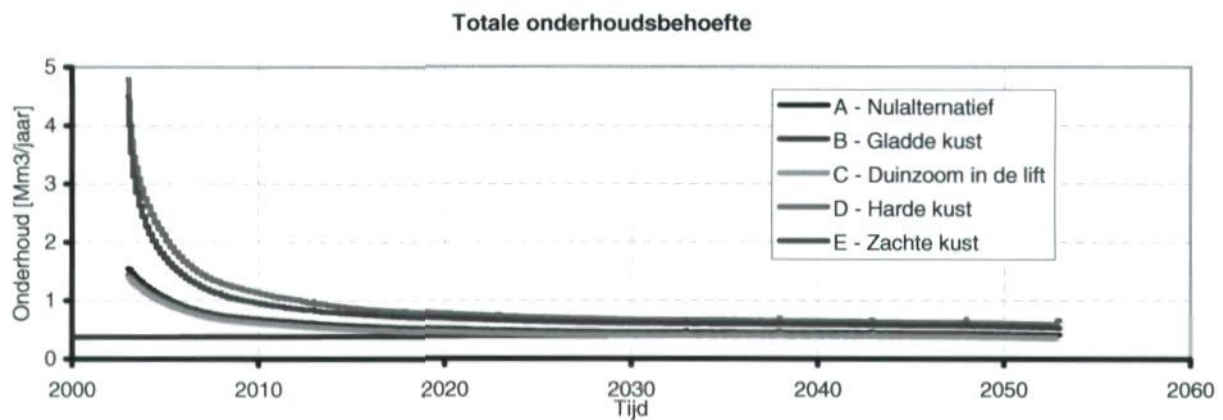
Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 10 jaar
Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief



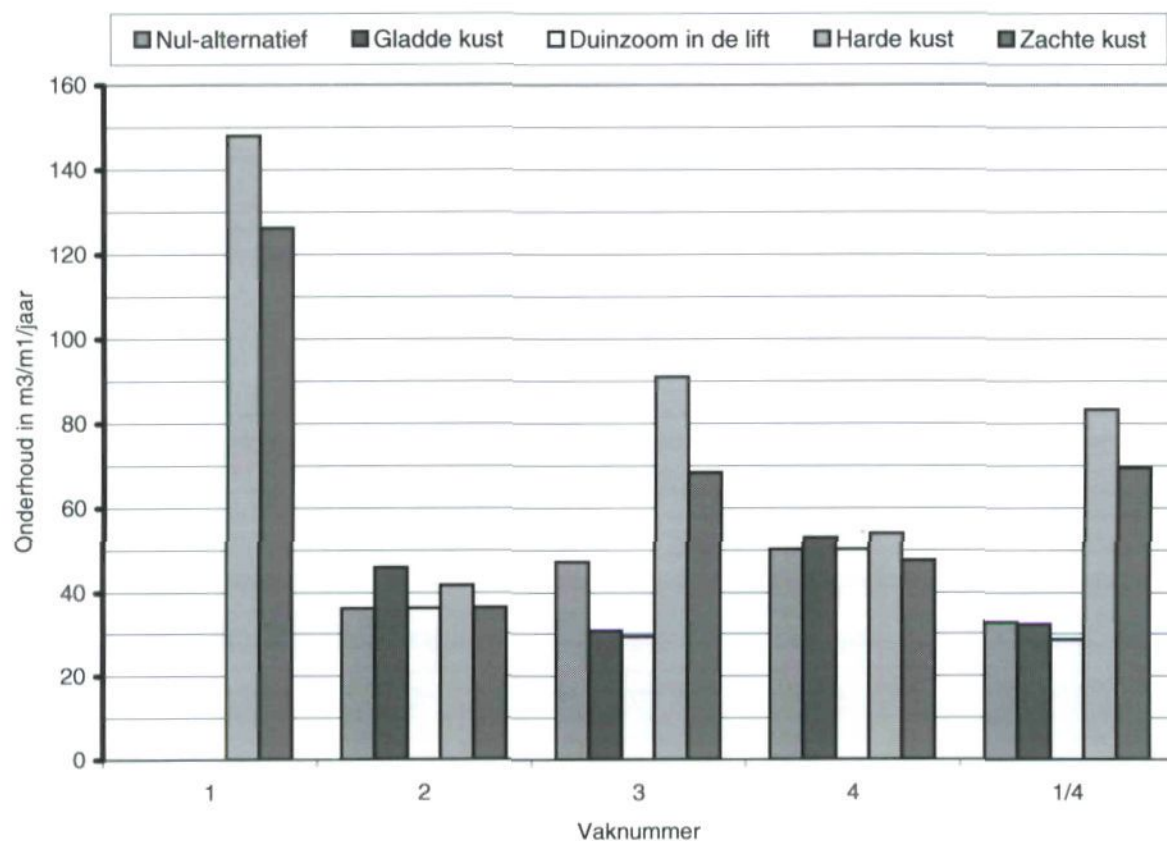
Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 25 jaar
Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief



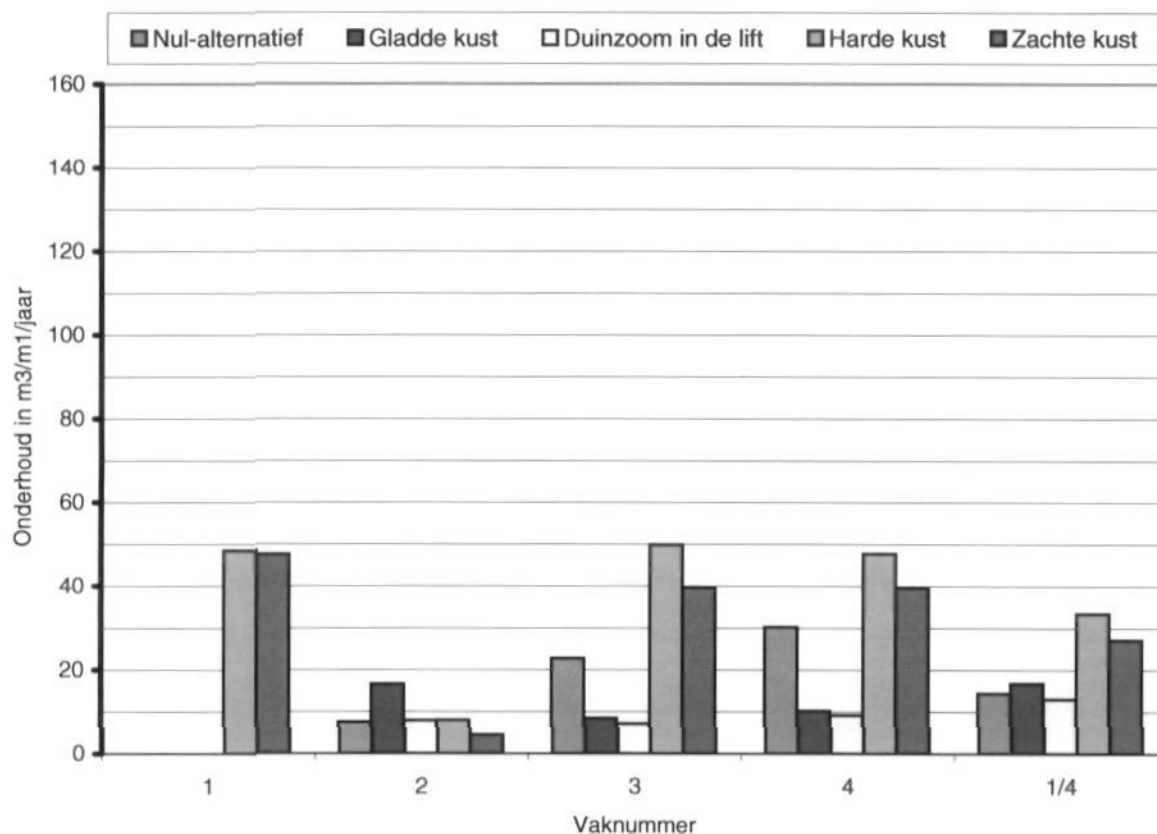
Overzicht resultaten berekend kustonderhoud over 50 jaar
Verschillen ten opzichte van het nul-alternatief



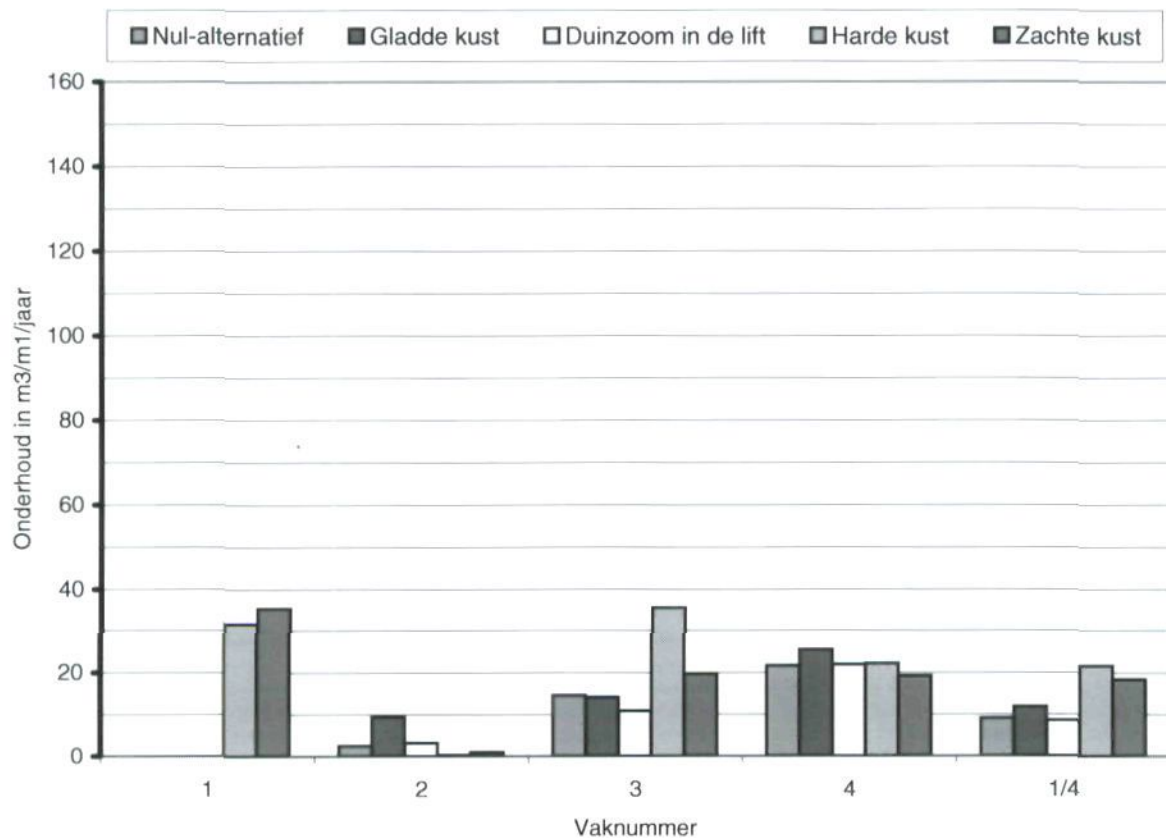
Tijdsontwikkeling totaal benodigd kustonderhoud
Gesommeerd over totale rekengrid



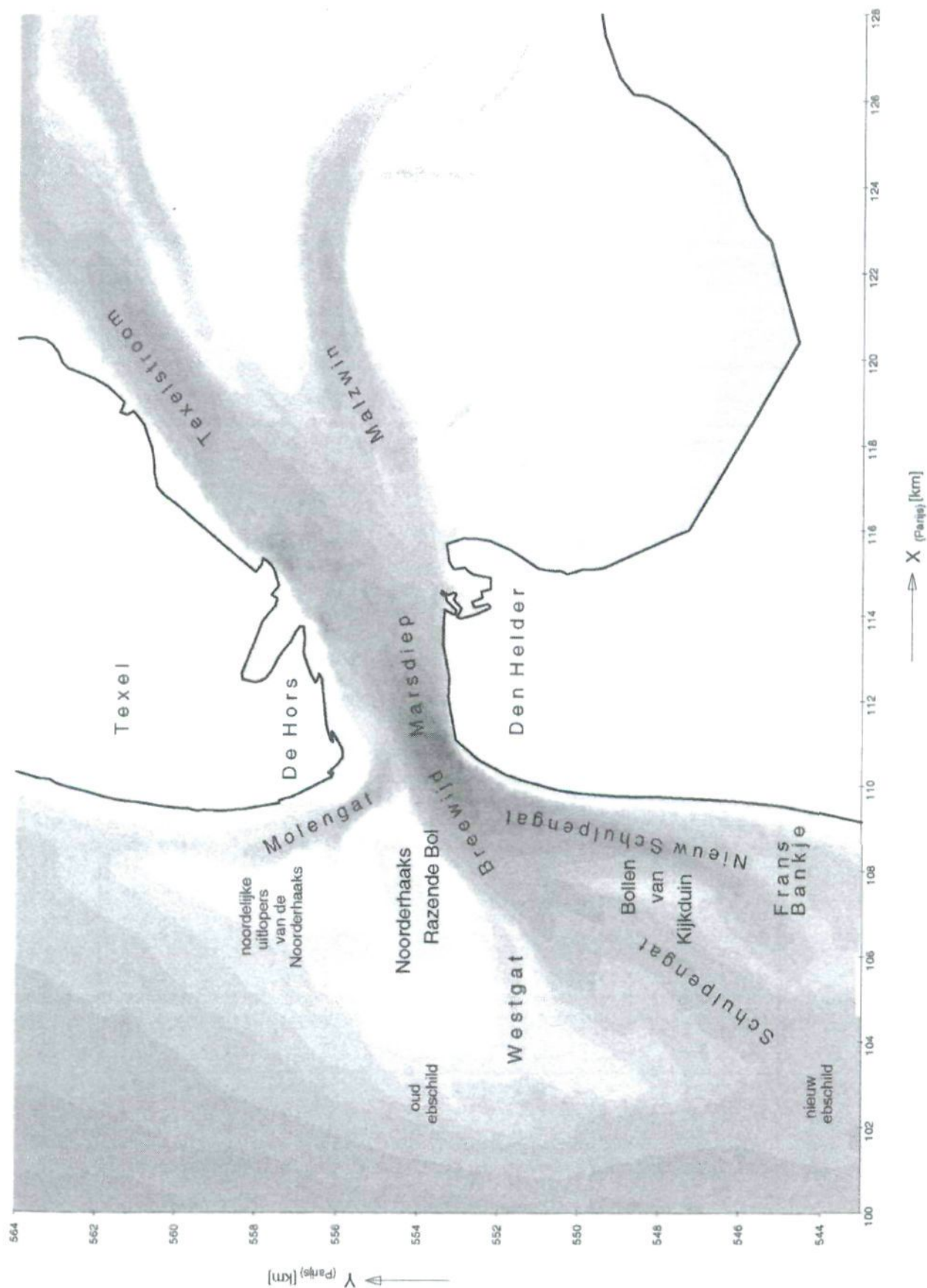
Overzicht gemiddeld kustonderhoud in eerste 5 jaar
voor de verschillende alternatieven
Geïntegreerd resultaat van uitgevoerde simulaties



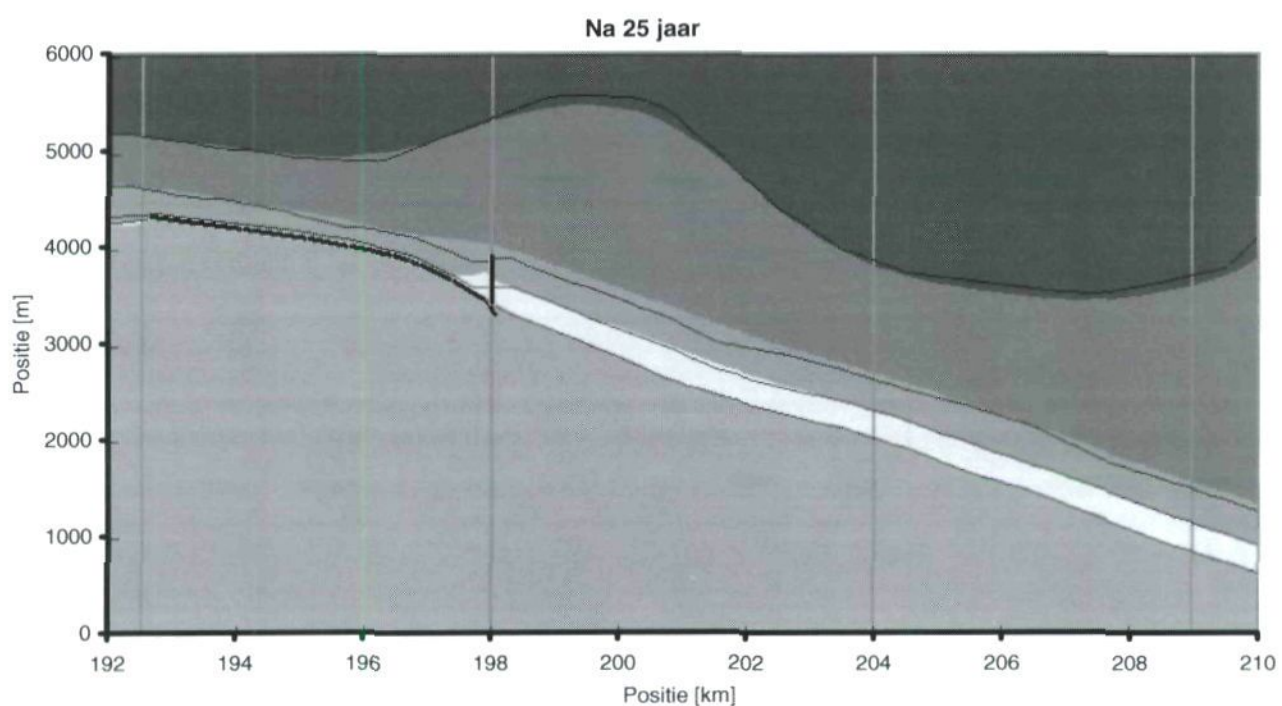
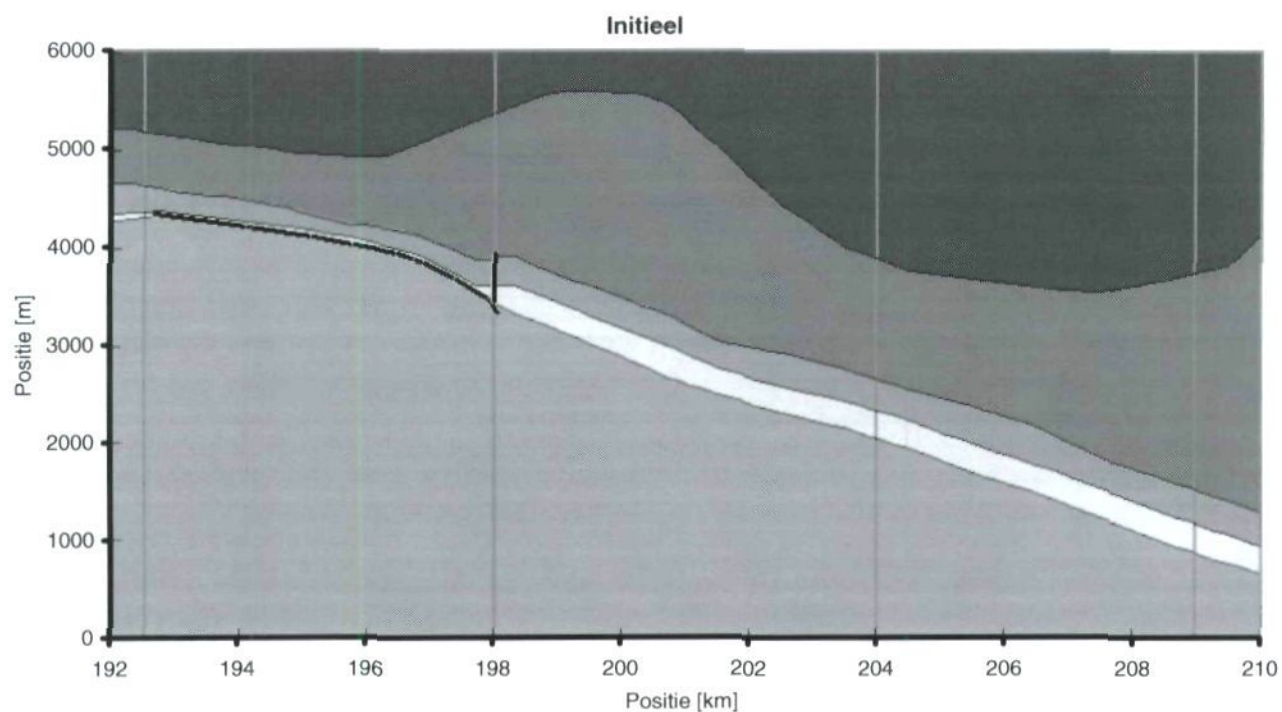
Overzicht gemiddeld kustonderhoud na 10 jaar
 voor de verschillende alternatieven
 Geïntegreerd resultaat van uitgevoerde simulaties



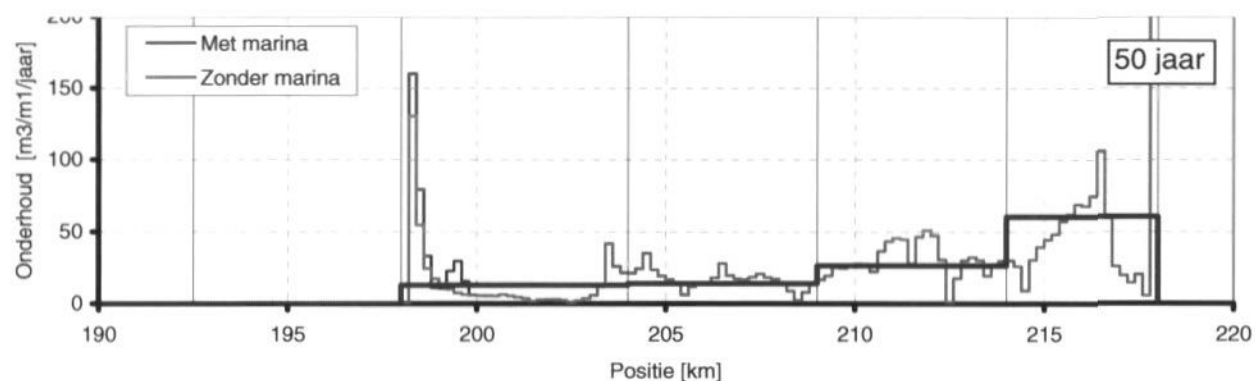
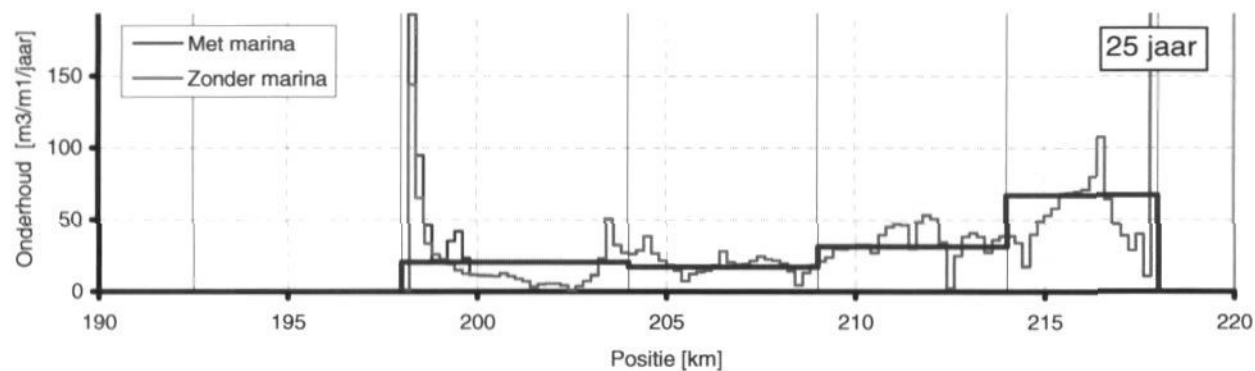
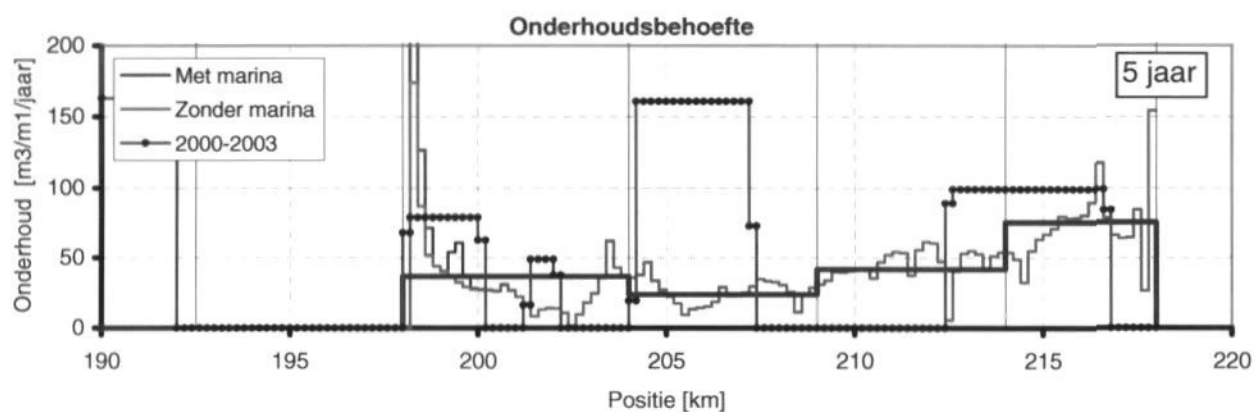
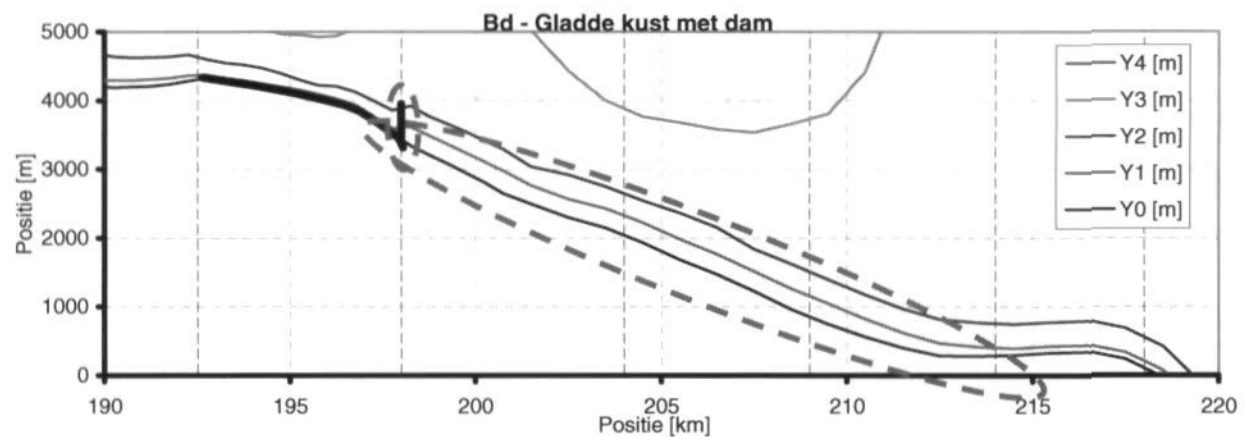
Overzicht gemiddeld kustonderhoud na 25 jaar
voor de verschillende alternatieven
Geïntegreerd resultaat van uitgevoerde simulaties



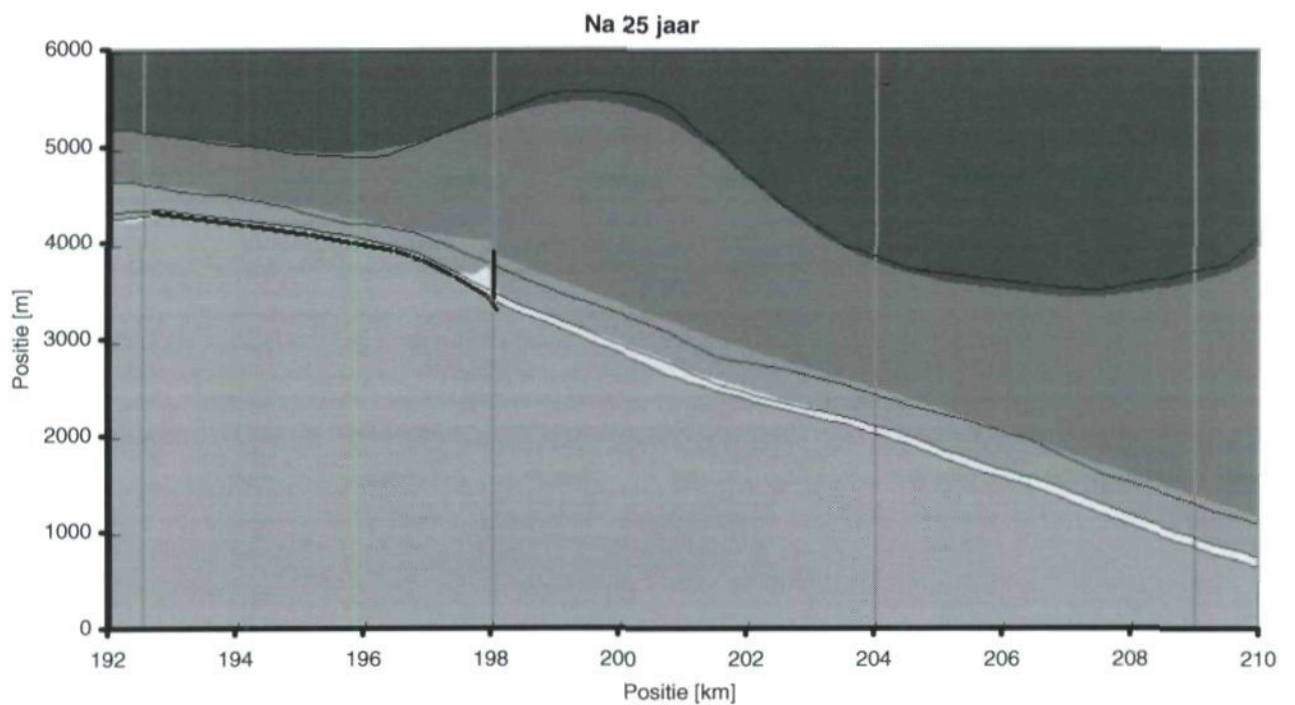
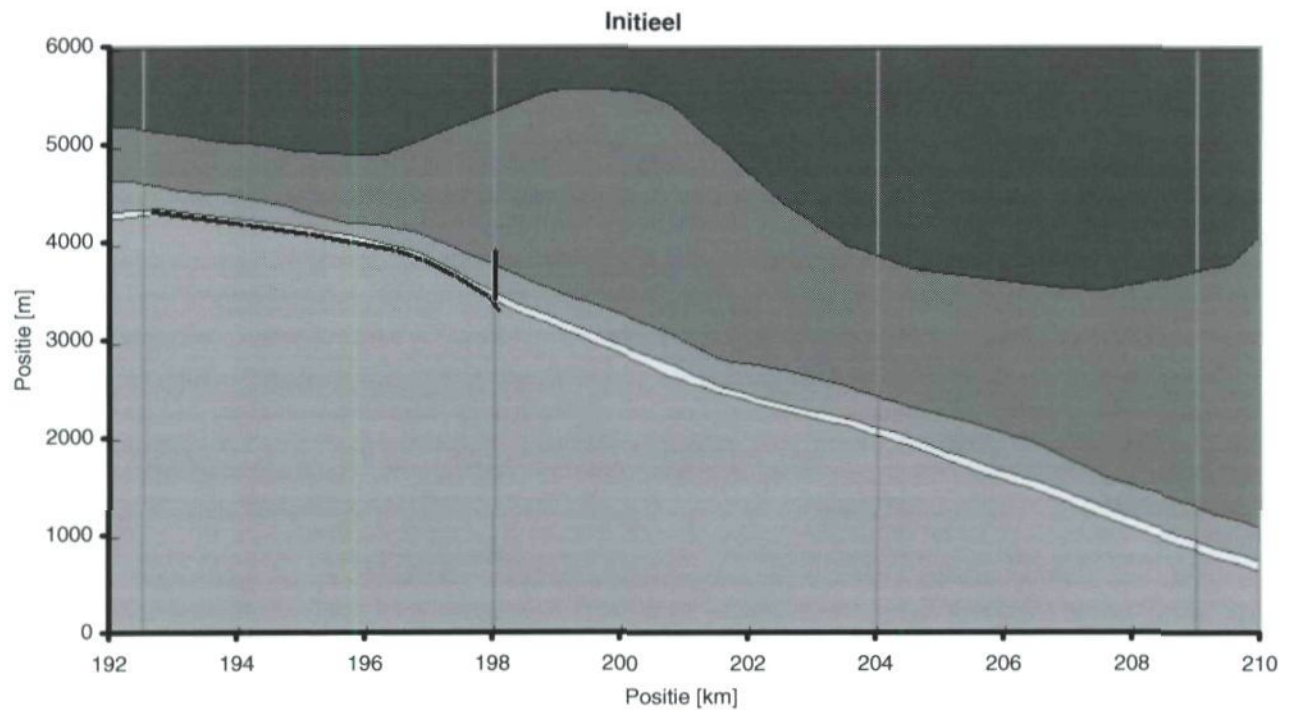
Kaart omgeving Kop van Noord-Holland
Overzicht lokaties geulen en banken



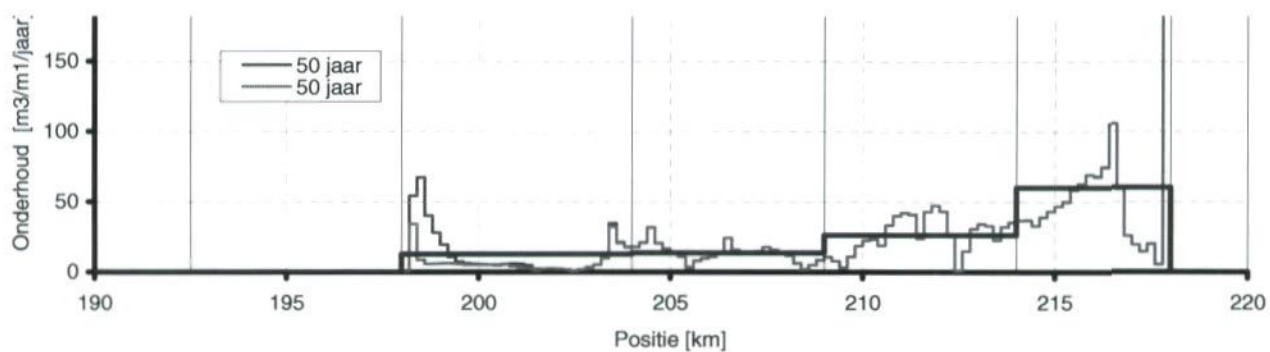
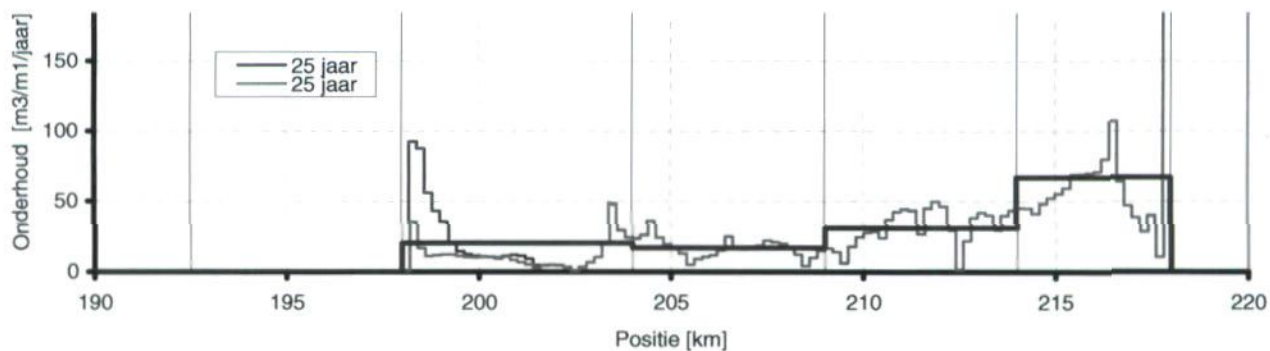
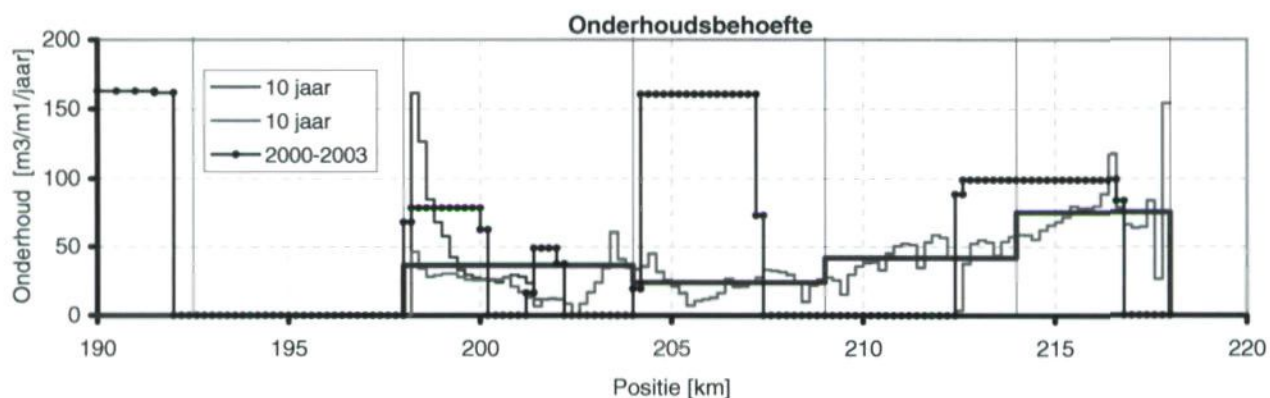
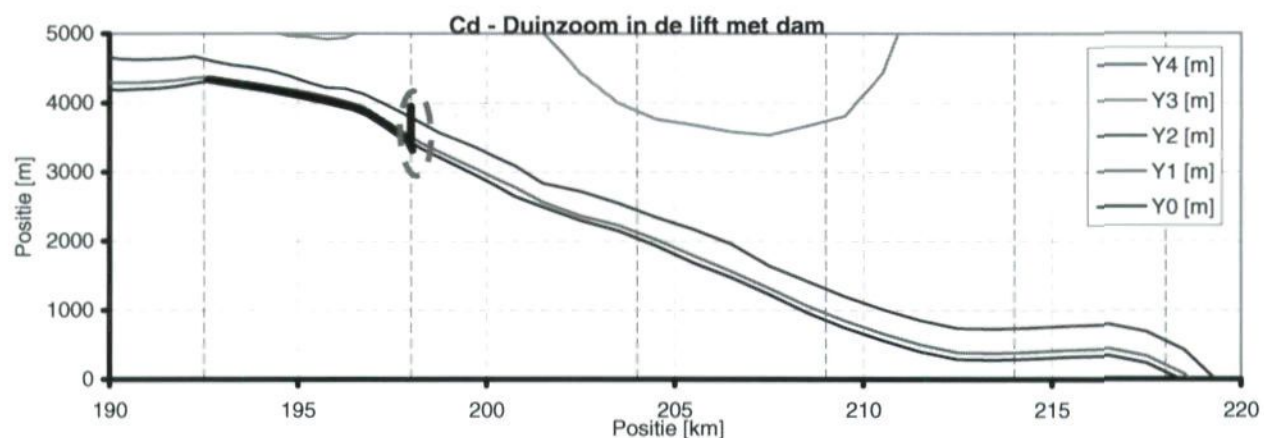
Overzicht kustontwikkeling basisalternatief B - Gladde kust
 Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
 Met marina



Overzicht benodigd kustonderhoud - Gladde kust met marina
Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar



Overzicht kustontwikkeling basisalternatief C - Duinzoom in de lift
 Initiële situatie en positie dieptelijnen na 25 jaar
 Met marina



Overzicht benodigd kustonderhoud - Duinzoom in de lift met marina
Per individuele rekencel en gemiddeld per vak
Voor perioden van 10, 25 en 50 jaar

Bijlage A

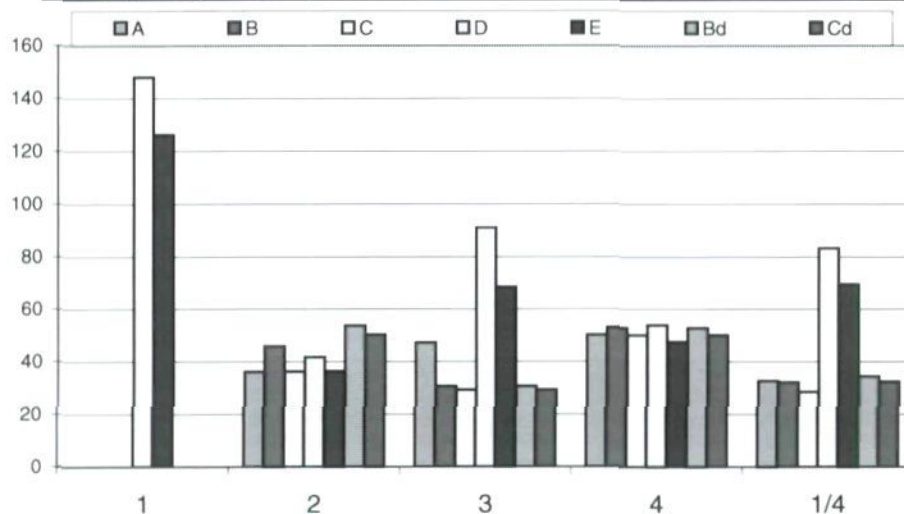
Overzichtstabellen van berekende onderhoudsbehoefte voor de basisalternatieven

In de nu volgende overzichtstabellen is de volgende codering toegepast met betrekking tot de in beschouwing genomen alternatieven.

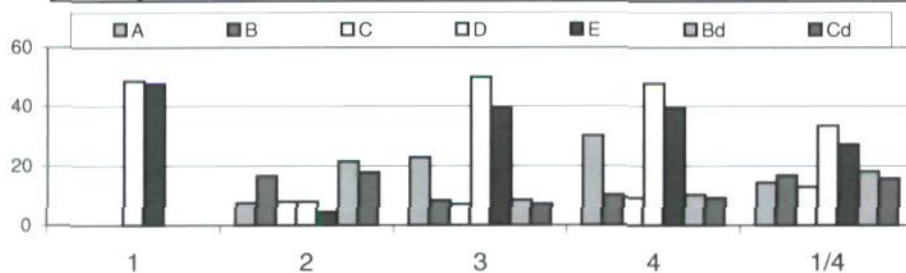
Code	Alternatief
A	Nulalternatief
B	Gladde Kust
C	Duinzoom in de Lift
D	Harde Kust
E	Zachte Kust
Bd	Gladde Kust incl. Marina Petten
Cd	Duinzoom in de Lift incl. Marina Petten

Tabel A-1 Codering van de alternatieven

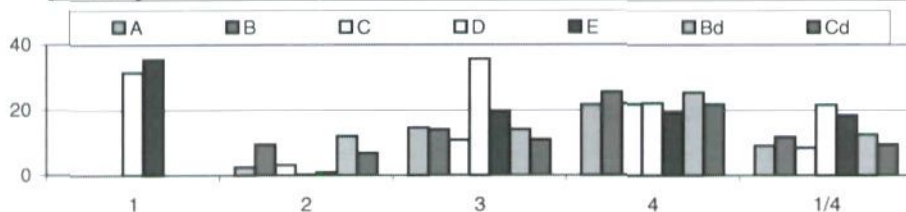
vak	Gemiddeld onderhoud in eerste 5 jaar [m3/m1/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
1	0	0	0	148	126	0	0
2	36	46	36	42	37	54	50
3	47	31	29	91	68	31	29
4	50	53	50	54	48	53	50
1/4	33	32	29	83	69	34	33



vak	Gemiddeld onderhoud na 10 jaar [m3/m1/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
1	0	0	0	48	48	0	0
2	7	17	8	8	5	21	18
3	23	8	7	50	40	8	7
4	30	10	9	48	40	10	9
1/4	14	17	13	33	27	18	16



vak	Gemiddeld onderhoud na 25 jaar [m3/m1/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
1	0	0	0	31	35	0	0
2	3	9	3	0	1	12	7
3	15	14	11	36	20	14	11
4	22	25	22	22	19	25	22
1/4	9	12	9	22	18	13	10

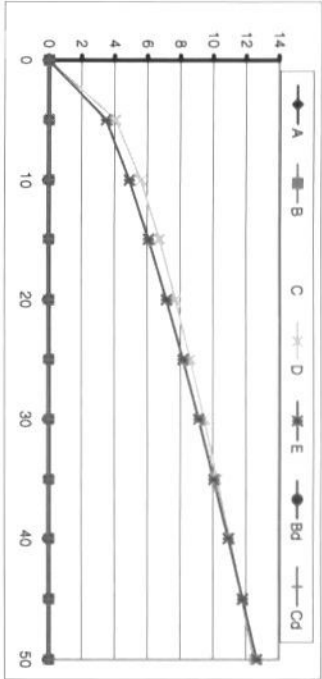


Tabel A-2 Overzicht van de onderhoudsbehoefte voor 5, 10 en 25 jaar

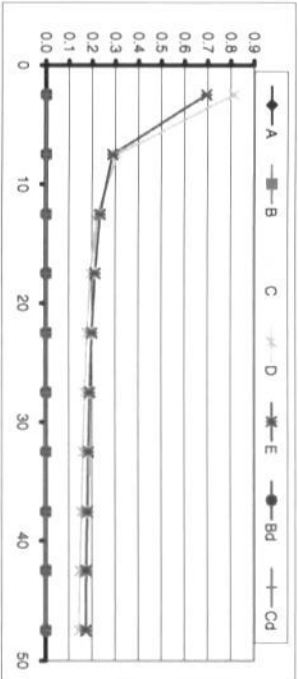
VAK 1

X links	192.500 km
X rechts	198.000 km
d X	5.500 km

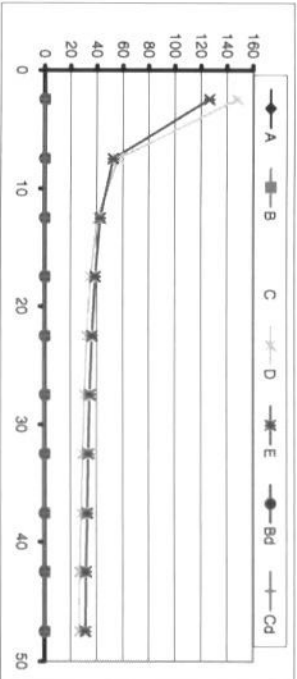
t [j]	Totaal onderhoud [Mm3]					
	A	B	C	D	E	Bd Cd
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	4,07	3,47	0,00 0,00
10	0,00	0,00	0,00	5,62	4,91	0,00 0,00
15	0,00	0,00	0,00	6,74	6,09	0,00 0,00
20	0,00	0,00	0,00	7,71	7,15	0,00 0,00
25	0,00	0,00	0,00	8,60	8,15	0,00 0,00
30	0,00	0,00	0,00	9,44	9,11	0,00 0,00
35	0,00	0,00	0,00	10,25	10,03	0,00 0,00
40	0,00	0,00	0,00	11,02	10,93	0,00 0,00
45	0,00	0,00	0,00	11,77	11,81	0,00 0,00
50	0,00	0,00	0,00	12,50	12,68	0,00 0,00



t [j]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/jaar]					
	A	B	C	D	E	Bd Cd
2,5	0,000	0,000	0,000	0,814	0,694	0,000 0,000
7,5	0,000	0,000	0,000	0,309	0,288	0,000 0,000
12,5	0,000	0,000	0,000	0,224	0,235	0,000 0,000
17,5	0,000	0,000	0,000	0,194	0,213	0,000 0,000
22,5	0,000	0,000	0,000	0,178	0,199	0,000 0,000
27,5	0,000	0,000	0,000	0,168	0,191	0,000 0,000
32,5	0,000	0,000	0,000	0,162	0,185	0,000 0,000
37,5	0,000	0,000	0,000	0,155	0,180	0,000 0,000
42,5	0,000	0,000	0,000	0,149	0,176	0,000 0,000
47,5	0,000	0,000	0,000	0,146	0,173	0,000 0,000



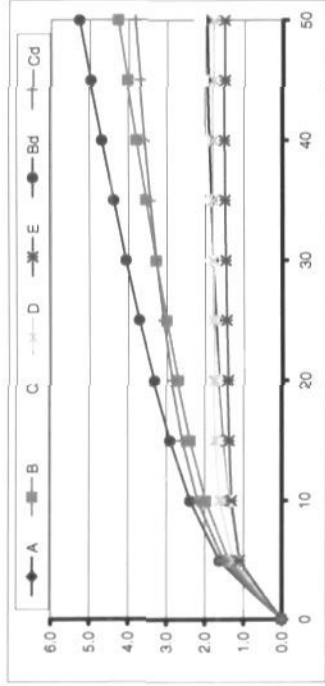
t [j]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/m/jaar]					
	A	B	C	D	E	Bd Cd
2,5	0	0	0	148	126	0 0
7,5	0	0	0	56	52	0 0
12,5	0	0	0	41	43	0 0
17,5	0	0	0	35	39	0 0
22,5	0	0	0	32	36	0 0
27,5	0	0	0	31	35	0 0
32,5	0	0	0	29	34	0 0
37,5	0	0	0	28	33	0 0
42,5	0	0	0	27	32	0 0
47,5	0	0	0	27	32	0 0



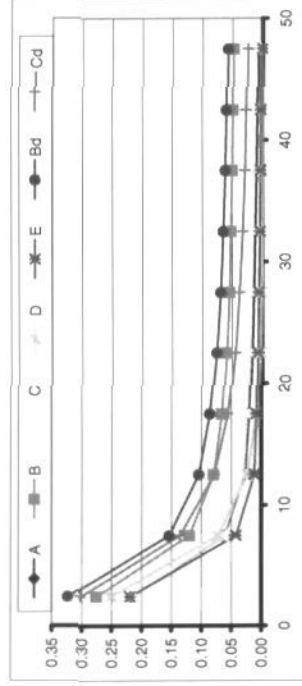
Tabel A-3: Detailresultaten gemiddeld kustonderhoud per periode van 5 jaar per alternatief voor vak 1

VAK	2	X_links		198.000 km
		X_rechts		204.000 km
		d_X		6.000 km

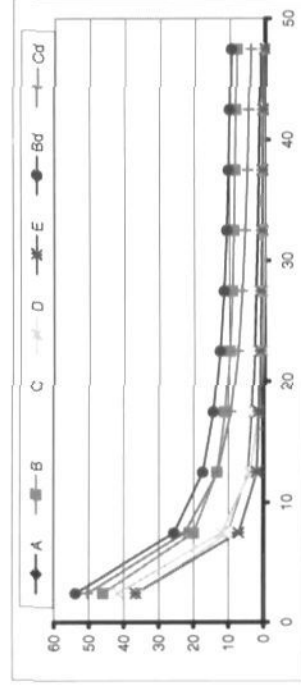
t [jr]	Totaal onderhoud [Mm3]					
	A	B	C	D	E	Cd
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.09	1.38	1.09	1.25	1.10	1.51
10	1.40	1.98	1.41	1.62	1.31	2.38
15	1.54	2.38	1.56	1.73	1.37	2.90
20	1.64	2.70	1.69	1.77	1.41	3.33
25	1.72	3.00	1.79	1.79	1.44	3.71
30	1.79	3.27	1.88	1.79	1.47	4.05
35	1.85	3.53	1.96	1.79	1.49	4.38
40	1.89	3.79	2.03	1.79	1.50	4.69
45	1.93	4.03	2.09	1.79	1.51	4.98
50	1.97	4.27	2.15	1.79	1.51	5.27



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/jaar]					
	A	B	C	D	E	Cd
2.5	0.218	0.276	0.218	0.251	0.219	0.302
7.5	0.062	0.120	0.064	0.073	0.042	0.154
12.5	0.028	0.080	0.031	0.023	0.012	0.104
17.5	0.021	0.066	0.024	0.009	0.008	0.086
22.5	0.016	0.059	0.020	0.003	0.007	0.076
27.5	0.014	0.055	0.018	0.000	0.005	0.069
32.5	0.011	0.052	0.016	0.000	0.004	0.065
37.5	0.009	0.050	0.014	0.000	0.003	0.062
42.5	0.008	0.049	0.013	0.000	0.002	0.059
47.5	0.007	0.049	0.012	0.000	0.000	0.058



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/m/jaar]					
	A	B	C	D	E	Cd
2.5	36	46	36	42	37	54
7.5	10	20	11	12	7	26
12.5	5	13	5	4	2	17
17.5	3	11	4	1	1	14
22.5	3	10	3	0	1	13
27.5	2	9	3	0	1	11
32.5	2	9	3	0	1	11
37.5	2	8	2	0	0	10
42.5	1	8	2	0	0	10
47.5	1	8	2	0	0	10

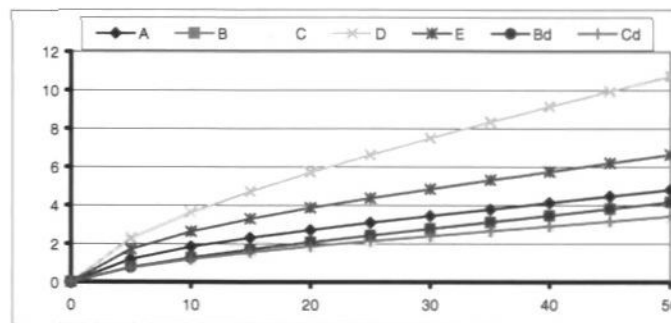


Tabel A-4: Detailresultaten gemiddeld kustonderhoud per periode van 5 jaar per alternatief voor vak 2

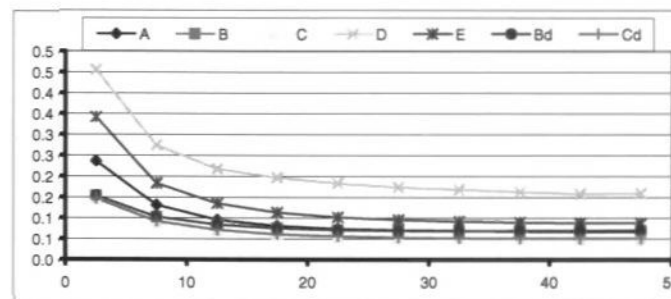
VAK 3

X_links	204.000 km
X_rechts	209.000 km
d_X	5.000 km

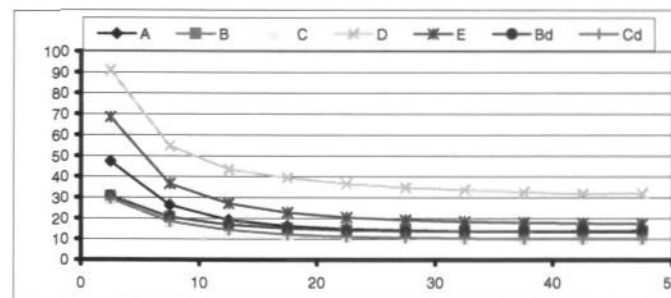
t [jr]	Totaal onderhoud [Mm3]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.18	0.77	0.73	2.28	1.71	0.77	0.73
10	1.84	1.28	1.19	3.64	2.62	1.28	1.19
15	2.32	1.70	1.55	4.73	3.30	1.70	1.55
20	2.72	2.08	1.85	5.71	3.87	2.08	1.86
25	3.09	2.43	2.13	6.63	4.37	2.44	2.14
30	3.45	2.78	2.40	7.50	4.85	2.79	2.40
35	3.79	3.12	2.65	8.34	5.31	3.13	2.66
40	4.13	3.47	2.91	9.16	5.76	3.48	2.92
45	4.47	3.82	3.16	9.95	6.20	3.82	3.17
50	4.81	4.17	3.41	10.75	6.63	4.18	3.43



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	0.236	0.153	0.147	0.455	0.342	0.153	0.147
7.5	0.131	0.102	0.092	0.274	0.183	0.103	0.092
12.5	0.096	0.084	0.071	0.217	0.135	0.084	0.072
17.5	0.081	0.075	0.061	0.197	0.113	0.076	0.061
22.5	0.074	0.071	0.056	0.183	0.102	0.071	0.056
27.5	0.071	0.069	0.053	0.174	0.095	0.070	0.053
32.5	0.069	0.069	0.051	0.168	0.092	0.069	0.052
37.5	0.068	0.069	0.051	0.163	0.089	0.069	0.051
42.5	0.067	0.069	0.050	0.158	0.088	0.070	0.051
47.5	0.068	0.070	0.050	0.160	0.088	0.071	0.051



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/m/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	47	31	29	91	68	31	29
7.5	26	20	18	55	37	21	18
12.5	19	17	14	43	27	17	14
17.5	16	15	12	39	23	15	12
22.5	15	14	11	37	20	14	11
27.5	14	14	11	35	19	14	11
32.5	14	14	10	34	18	14	10
37.5	14	14	10	33	18	14	10
42.5	13	14	10	32	18	14	10
47.5	14	14	10	32	18	14	10

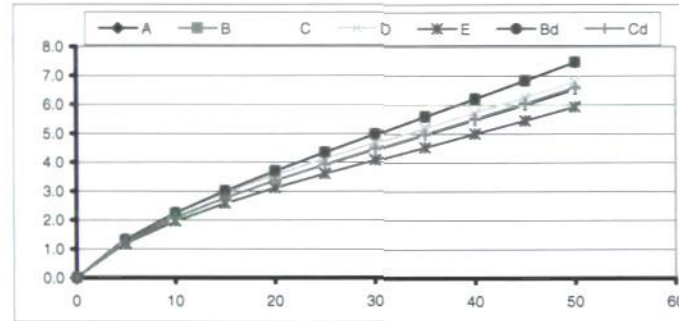


Tabel A-5: Detailresultaten gemiddeld kustonderhoud per periode van 5 jaar per alternatief voor vak 3

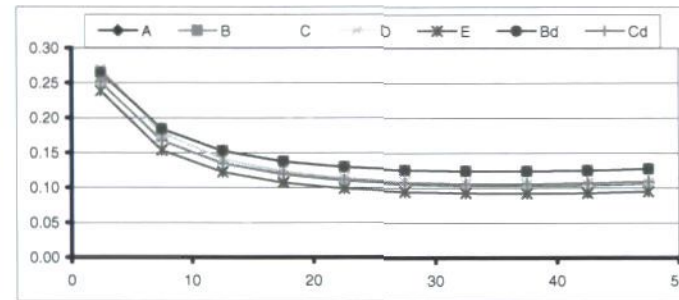
VAK 4

X_links	209.000 km
X_rechts	214.000 km
d_X	5.000 km

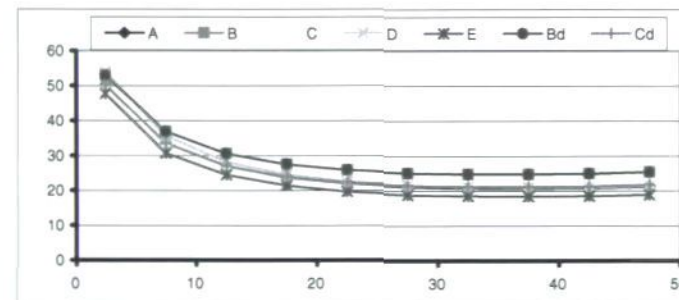
t [jr]	Totaal onderhoud [Mm3]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.26	1.32	1.26	1.35	1.19	1.32	1.25
10	2.09	2.25	2.09	2.24	1.96	2.24	2.09
15	2.77	3.01	2.77	2.95	2.57	3.01	2.76
20	3.36	3.70	3.37	3.56	3.10	3.69	3.36
25	3.91	4.34	3.92	4.13	3.60	4.34	3.92
30	4.44	4.97	4.46	4.67	4.07	4.96	4.45
35	4.96	5.59	4.99	5.20	4.53	5.58	4.98
40	5.48	6.21	5.52	5.73	4.99	6.20	5.51
45	6.00	6.84	6.06	6.26	5.46	6.83	6.04
50	6.53	7.48	6.60	6.80	5.93	7.46	6.59



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	0.251	0.265	0.251	0.270	0.238	0.265	0.251
7.5	0.167	0.184	0.167	0.178	0.153	0.184	0.167
12.5	0.135	0.153	0.135	0.141	0.122	0.152	0.135
17.5	0.119	0.137	0.120	0.123	0.107	0.137	0.119
22.5	0.110	0.129	0.111	0.113	0.098	0.129	0.111
27.5	0.106	0.126	0.108	0.108	0.094	0.125	0.107
32.5	0.104	0.124	0.106	0.106	0.093	0.124	0.106
37.5	0.104	0.124	0.106	0.105	0.092	0.124	0.106
42.5	0.104	0.125	0.107	0.106	0.093	0.125	0.107
47.5	0.106	0.127	0.109	0.108	0.095	0.127	0.109



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/m/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	50	53	50	54	48	53	50
7.5	33	37	33	36	31	37	33
12.5	27	31	27	28	24	30	27
17.5	24	27	24	25	21	27	24
22.5	22	26	22	23	20	26	22
27.5	21	25	22	22	19	25	21
32.5	21	25	21	21	19	25	21
37.5	21	25	21	21	18	25	21
42.5	21	25	21	21	19	25	21
47.5	21	25	22	22	19	25	22

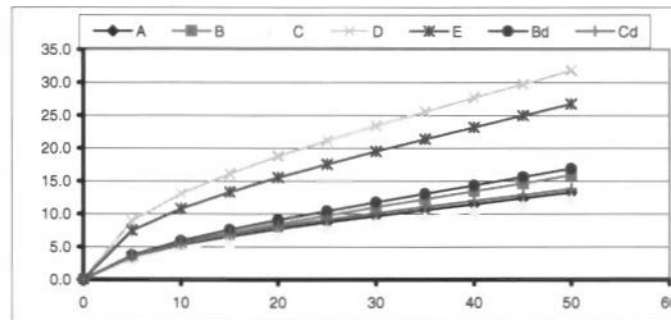


Tabel A-6: Detailresultaten gemiddeld kustonderhoud per periode van 5 jaar per alternatief voor vak 4

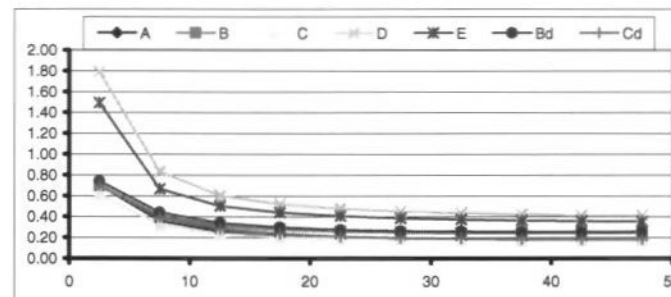
VAK 1 t/m 4

X_links	192.500 km
X_rechts	214.000 km
d_X	21.500 km

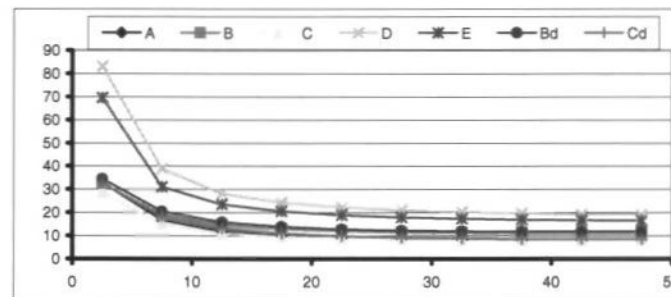
t [jr]	Totaal onderhoud [Mm3]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	3.53	3.47	3.08	8.95	7.47	3.71	3.50
10	5.33	5.50	4.70	13.12	10.80	5.91	5.47
15	6.62	7.08	5.88	16.14	13.32	7.61	6.90
20	7.72	8.48	6.91	18.75	15.53	9.10	8.08
25	8.73	9.78	7.84	21.14	17.56	10.48	9.14
30	9.68	11.02	8.74	23.40	19.49	11.80	10.13
35	10.60	12.25	9.60	25.58	21.36	13.09	11.08
40	11.51	13.47	10.46	27.70	23.18	14.37	12.01
45	12.40	14.69	11.31	29.76	24.97	15.64	12.93
50	13.31	15.92	12.17	31.83	26.75	16.92	13.85



t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	0.705	0.694	0.616	1.790	1.494	0.741	0.700
7.5	0.361	0.407	0.324	0.834	0.666	0.440	0.395
12.5	0.258	0.316	0.237	0.605	0.504	0.341	0.285
17.5	0.220	0.279	0.205	0.522	0.441	0.298	0.236
22.5	0.201	0.260	0.188	0.478	0.406	0.276	0.211
27.5	0.190	0.250	0.179	0.451	0.386	0.264	0.198
32.5	0.184	0.245	0.174	0.436	0.374	0.258	0.190
37.5	0.181	0.244	0.171	0.424	0.364	0.255	0.186
42.5	0.179	0.243	0.170	0.413	0.358	0.254	0.184
47.5	0.181	0.246	0.171	0.414	0.356	0.256	0.184

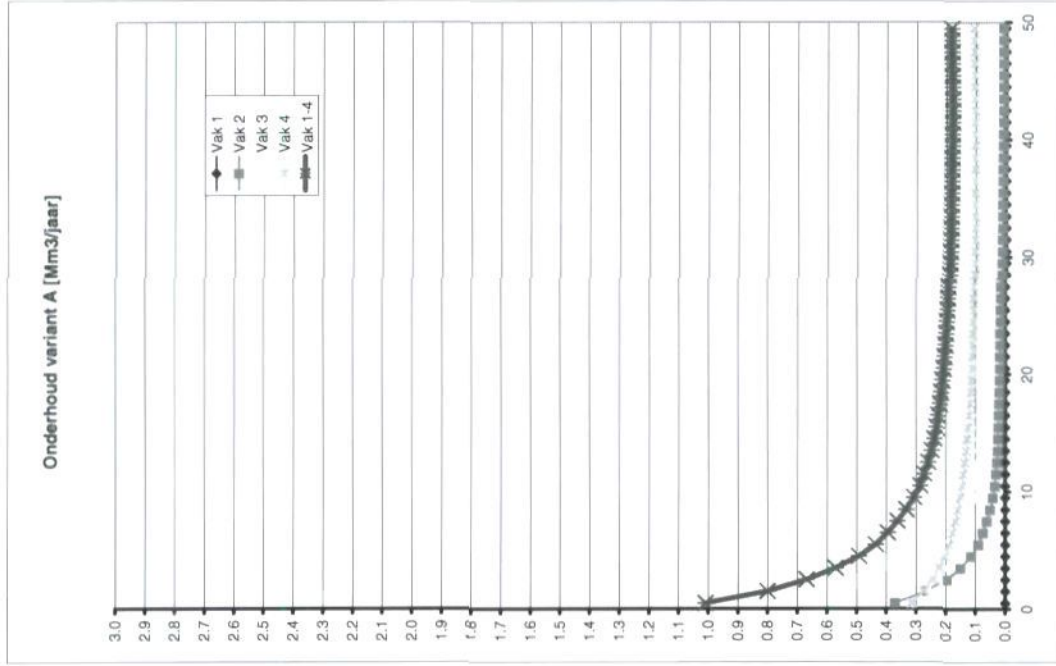


t [jr]	Gemiddeld onderhoud per 5 jaar [Mm3/m/jaar]						
	A	B	C	D	E	Bd	Cd
2.5	33	32	29	83	69	34	33
7.5	17	19	15	39	31	20	18
12.5	12	15	11	28	23	16	13
17.5	10	13	10	24	21	14	11
22.5	9	12	9	22	19	13	10
27.5	9	12	8	21	18	12	9
32.5	9	11	8	20	17	12	9
37.5	8	11	8	20	17	12	9
42.5	8	11	8	19	17	12	9
47.5	8	11	8	19	17	12	9



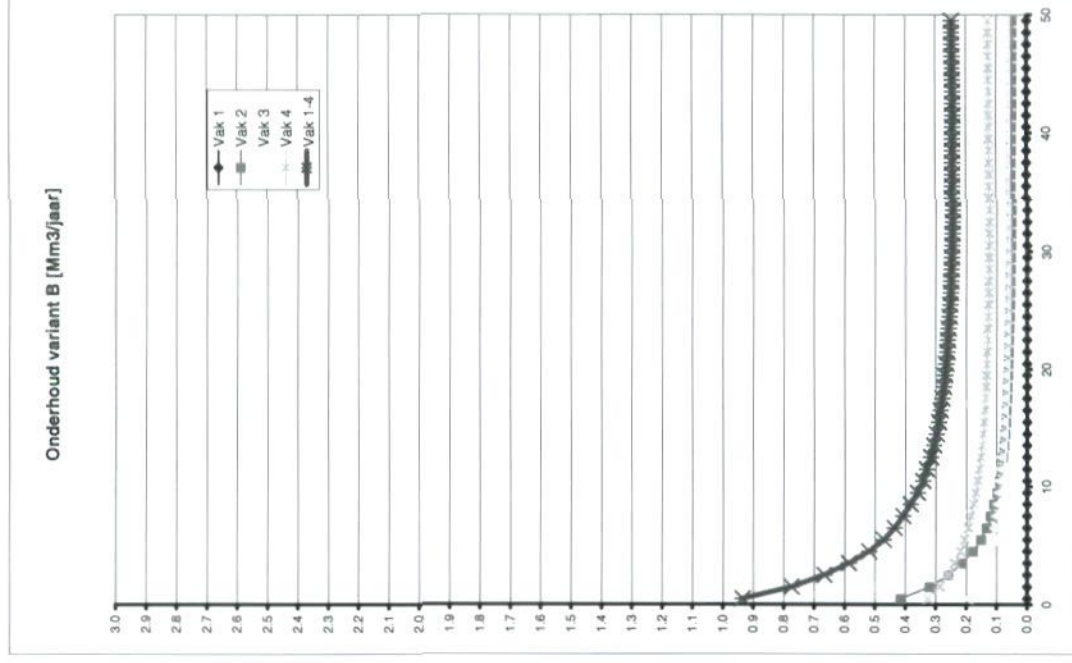
Tabel A-8: Detailresultaten gemiddeld kustonderhoud per periode van 5 jaar per alternatief voor vak 1 t/m 4

totaal onderhoud [Mm3]					gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]				
t [jaar]	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	t	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	0,000	0,371	0,324	1,009
1	1,000	0,000	0,371	0,314	1,5	0,000	0,262	0,265	0,801
2	1,999	0,000	0,633	0,588	2,5	0,000	0,197	0,227	0,698
3	2,914	0,000	0,813	0,795	3,5	0,000	0,151	0,198	0,571
4	3,925	0,000	0,965	0,937	4,5	0,000	0,115	0,173	0,491
5	5,000	0,000	1,088	1,182	5,5	0,000	0,090	0,155	0,435
6	5,877	0,000	1,168	1,318	6,5	0,000	0,075	0,143	0,395
7	6,792	0,000	1,236	1,448	7,5	0,000	0,062	0,131	0,362
8	7,741	0,000	1,295	1,573	8,5	0,000	0,052	0,122	0,333
9	8,726	0,000	1,346	1,693	9,5	0,000	0,045	0,113	0,306
10	10,000	0,000	1,399	1,838	10,5	0,000	0,035	0,106	0,285
11	10,700	0,000	1,424	1,912	11,5	0,000	0,030	0,102	0,272
12	11,690	0,000	1,454	2,013	12,5	0,000	0,027	0,096	0,258
13	12,953	0,000	1,488	2,134	13,5	0,000	0,025	0,092	0,247
14	13,863	0,000	1,510	2,218	14,5	0,000	0,024	0,088	0,239
15	15,000	0,000	1,537	2,318	15,5	0,000	0,023	0,085	0,231
16	15,884	0,000	1,557	2,393	16,5	0,000	0,022	0,083	0,226
17	16,770	0,000	1,576	2,466	17,5	0,000	0,021	0,081	0,220
18	17,966	0,000	1,601	2,563	18,5	0,000	0,020	0,079	0,216
19	18,851	0,000	1,618	2,633	19,5	0,000	0,019	0,078	0,211
20	20,000	0,000	1,640	2,723	20,5	0,000	0,018	0,076	0,207
21	20,898	0,000	1,656	2,791	21,5	0,000	0,017	0,075	0,204
22	21,732	0,000	1,670	2,854	22,5	0,000	0,017	0,074	0,201
23	22,941	0,000	1,690	2,944	23,5	0,000	0,016	0,073	0,198
24	23,665	0,000	1,705	3,012	24,5	0,000	0,015	0,073	0,196
25	25,000	0,000	1,722	3,094	25,5	0,000	0,015	0,072	0,194
26	25,881	0,000	1,735	3,158	26,5	0,000	0,014	0,072	0,192
27	26,751	0,000	1,748	3,220	27,5	0,000	0,014	0,071	0,190
28	27,934	0,000	1,764	3,304	28,5	0,000	0,013	0,071	0,189
29	28,780	0,000	1,775	3,363	29,5	0,000	0,013	0,070	0,188
30	30,000	0,000	1,791	3,449	30,5	0,000	0,012	0,070	0,186
31	30,791	0,000	1,800	3,504	31,5	0,000	0,012	0,070	0,185
32	31,818	0,000	1,812	3,576	32,5	0,000	0,011	0,069	0,184
33	32,903	0,000	1,825	3,651	33,5	0,000	0,011	0,069	0,184
34	33,901	0,000	1,835	3,719	34,5	0,000	0,010	0,069	0,183
35	35,000	0,000	1,847	3,795	35,5	0,000	0,010	0,068	0,182
36	35,792	0,000	1,855	3,849	36,5	0,000	0,010	0,068	0,182
37	36,815	0,000	1,865	3,919	37,5	0,000	0,009	0,068	0,181
38	37,864	0,000	1,875	3,990	38,5	0,000	0,009	0,068	0,180
39	38,891	0,000	1,884	4,060	39,5	0,000	0,009	0,068	0,180
40	40,000	0,000	1,893	4,135	40,5	0,000	0,008	0,068	0,180
41	40,790	0,000	1,900	4,188	41,5	0,000	0,008	0,067	0,179
42	41,974	0,000	1,910	4,268	42,5	0,000	0,008	0,067	0,179
43	42,882	0,000	1,916	4,329	43,5	0,000	0,007	0,067	0,179
44	43,744	0,000	1,923	4,387	44,5	0,000	0,007	0,067	0,180
45	45,000	0,000	1,932	4,471	45,5	0,000	0,007	0,067	0,180
46	45,959	0,000	1,939	4,536	46,5	0,000	0,007	0,068	0,181
47	46,963	0,000	1,946	4,603	47,5	0,000	0,007	0,068	0,181
48	47,912	0,000	1,953	4,668	48,5	0,000	0,007	0,068	0,182
49	48,976	0,000	1,961	4,739	49,5	0,000	0,007	0,068	0,182
50	50,000	0,000	1,968	4,809					



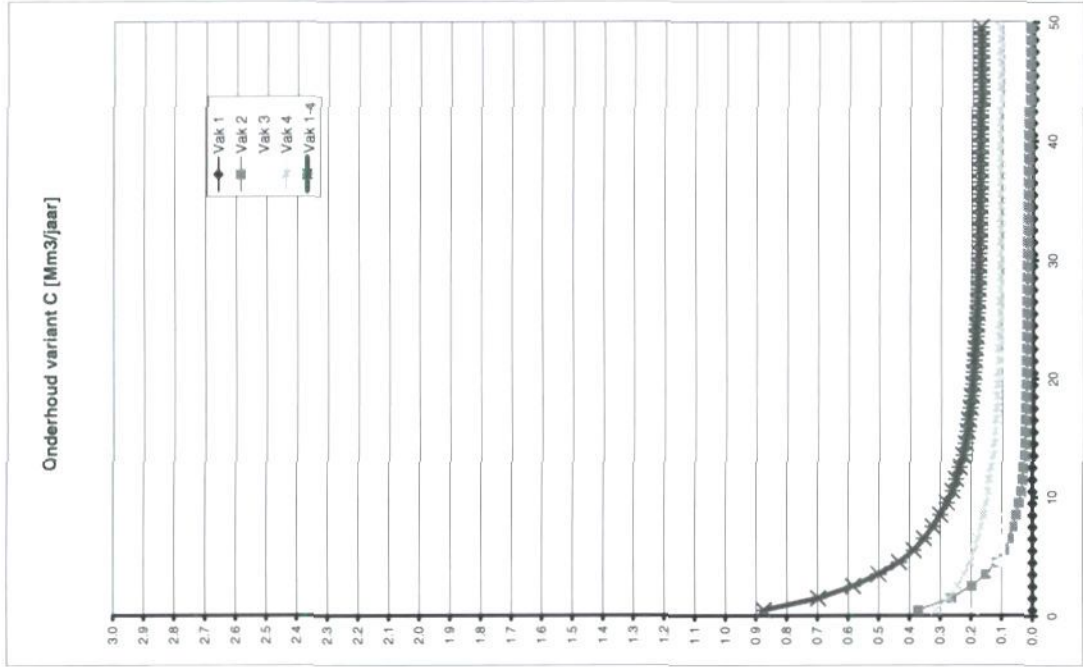
Tabel A-9: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief A

t [jaar]	totaal onderhoud [Mm3]					Vak 1-4						
	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4								
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	0,000	0,415	0,194	0,325	0,935	
1	1,000	0,000	0,415	0,194	0,325	0,935	1,5	0,000	0,321	0,167	0,287	0,775
2	1,999	0,000	0,736	0,361	0,612	1,709	2,5	0,000	0,258	0,149	0,259	0,666
3	2,914	0,000	0,972	0,497	0,850	2,319	3,5	0,000	0,214	0,135	0,238	0,586
4	3,925	0,000	1,188	0,634	1,090	2,911	4,5	0,000	0,177	0,123	0,219	0,519
5	5,000	0,000	1,378	0,767	1,325	3,470	5,5	0,000	0,151	0,115	0,205	0,471
6	5,877	0,000	1,511	0,867	1,504	3,883	6,5	0,000	0,134	0,108	0,194	0,436
7	6,792	0,000	1,633	0,967	1,682	4,281	7,5	0,000	0,120	0,103	0,185	0,407
8	7,741	0,000	1,747	1,064	1,857	4,668	8,5	0,000	0,109	0,098	0,176	0,383
9	8,726	0,000	1,854	1,160	2,031	5,045	9,5	0,000	0,098	0,093	0,168	0,360
10	10,000	0,000	1,979	1,279	2,246	5,503	10,5	0,000	0,090	0,090	0,162	0,342
11	10,706	0,000	2,042	1,342	2,360	5,744	11,5	0,000	0,085	0,087	0,158	0,330
12	11,702	0,000	2,127	1,429	2,517	6,073	12,5	0,000	0,079	0,084	0,153	0,316
13	12,976	0,000	2,227	1,536	2,712	6,478	13,5	0,000	0,075	0,082	0,149	0,305
14	13,890	0,000	2,296	1,611	2,848	6,755	14,5	0,000	0,072	0,080	0,145	0,298
15	15,000	0,000	2,376	1,700	3,009	7,085	15,5	0,000	0,070	0,078	0,142	0,290
16	15,883	0,000	2,438	1,768	3,135	7,341	16,5	0,000	0,068	0,077	0,140	0,284
17	17,755	0,000	2,497	1,835	3,257	7,589	17,5	0,000	0,066	0,075	0,138	0,279
18	17,917	0,000	2,573	1,923	3,416	7,913	18,5	0,000	0,064	0,074	0,135	0,274
19	18,801	0,000	2,630	1,989	3,538	8,155	19,5	0,000	0,063	0,073	0,134	0,270
20	20,000	0,000	2,705	2,077	3,696	8,478	20,5	0,000	0,061	0,072	0,132	0,265
21	20,911	0,000	2,761	2,142	3,816	8,720	21,5	0,000	0,060	0,072	0,131	0,263
22	21,838	0,000	2,816	2,209	3,938	8,963	22,5	0,000	0,059	0,071	0,129	0,260
23	22,776	0,000	2,872	2,276	4,059	9,207	23,5	0,000	0,058	0,071	0,129	0,258
24	23,719	0,000	2,927	2,342	4,180	9,450	24,5	0,000	0,057	0,070	0,127	0,255
25	25,000	0,000	3,000	2,432	4,343	9,776	25,5	0,000	0,056	0,070	0,127	0,253
26	25,959	0,000	3,054	2,499	4,465	10,018	26,5	0,000	0,055	0,070	0,126	0,251
27	26,923	0,000	3,108	2,567	4,586	10,260	27,5	0,000	0,055	0,069	0,125	0,249
28	27,861	0,000	3,159	2,632	4,704	10,494	28,5	0,000	0,054	0,069	0,125	0,249
29	28,768	0,000	3,208	2,694	4,817	10,720	29,5	0,000	0,053	0,069	0,125	0,247
30	30,000	0,000	3,274	2,779	4,971	11,025	30,5	0,000	0,053	0,069	0,124	0,246
31	30,892	0,000	3,321	2,841	5,082	11,244	31,5	0,000	0,053	0,069	0,124	0,246
32	31,761	0,000	3,367	2,901	5,190	11,458	32,5	0,000	0,052	0,069	0,124	0,245
33	32,904	0,000	3,427	2,979	5,332	11,738	33,5	0,000	0,052	0,069	0,124	0,245
34	33,753	0,000	3,471	3,038	5,438	11,946	34,5	0,000	0,052	0,069	0,124	0,245
35	35,000	0,000	3,535	3,124	5,593	12,251	35,5	0,000	0,051	0,069	0,124	0,244
36	35,870	0,000	3,579	3,183	5,700	12,463	36,5	0,000	0,051	0,069	0,124	0,244
37	36,995	0,000	3,636	3,261	5,840	12,737	37,5	0,000	0,050	0,069	0,124	0,243
38	37,840	0,000	3,679	3,319	5,945	12,943	38,5	0,000	0,050	0,069	0,124	0,243
39	38,973	0,000	3,736	3,397	6,086	13,218	39,5	0,000	0,050	0,069	0,125	0,244
40	40,000	0,000	3,787	3,468	6,214	13,469	40,5	0,000	0,049	0,069	0,124	0,243
41	40,913	0,000	3,832	3,532	6,327	13,691	41,5	0,000	0,049	0,069	0,125	0,243
42	41,831	0,000	3,877	3,595	6,442	13,913	42,5	0,000	0,049	0,069	0,125	0,243
43	42,759	0,000	3,922	3,660	6,557	14,139	43,5	0,000	0,049	0,070	0,126	0,245
44	43,941	0,000	3,979	3,742	6,706	14,427	44,5	0,000	0,049	0,070	0,127	0,246
45	45,000	0,000	4,031	3,816	6,839	14,686	45,5	0,000	0,049	0,070	0,127	0,245
46	45,961	0,000	4,078	3,883	6,961	14,921	46,5	0,000	0,049	0,070	0,127	0,246
47	46,846	0,000	4,121	3,945	7,073	15,139	47,5	0,000	0,049	0,070	0,127	0,246
48	47,866	0,000	4,170	4,017	7,203	15,390	48,5	0,000	0,049	0,071	0,128	0,247
49	48,992	0,000	4,225	4,097	7,347	15,668	49,5	0,000	0,048	0,071	0,128	0,247
50	50,000	0,000	4,274	4,168	7,476	15,918						



Tabel A-10: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief B

totaal onderhoud [Mm3]						gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]					
i [jaar]	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4	1	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	0,000	0,371	0,190	0,314	0,875
1	1,000	0,000	0,371	0,190	0,314	1,5	0,000	0,262	0,161	0,274	0,697
2	1,999	0,000	0,633	0,351	0,588	2,5	0,000	0,197	0,142	0,245	0,584
3	2,914	0,000	0,813	0,481	0,812	3,5	0,000	0,151	0,127	0,222	0,501
4	3,925	0,000	0,966	0,609	1,037	4,5	0,000	0,116	0,115	0,203	0,434
5	5,000	0,000	1,091	0,733	1,255	5,5	0,000	0,092	0,105	0,189	0,386
6	5,877	0,000	1,171	0,825	1,421	6,5	0,000	0,076	0,098	0,178	0,352
7	6,792	0,000	1,241	0,915	1,583	7,5	0,000	0,064	0,092	0,168	0,325
8	7,741	0,000	1,302	1,003	1,743	8,5	0,000	0,054	0,087	0,159	0,300
9	8,726	0,000	1,355	1,088	1,900	9,5	0,000	0,044	0,082	0,151	0,277
10	10,000	0,000	1,412	1,192	2,092	10,5	0,000	0,037	0,078	0,145	0,260
11	11,700	0,000	1,438	1,247	2,194	11,5	0,000	0,033	0,075	0,140	0,248
12	11,690	0,000	1,470	1,321	2,333	12,5	0,000	0,030	0,071	0,135	0,237
13	12,953	0,000	1,508	1,411	2,504	13,5	0,000	0,028	0,069	0,131	0,228
14	13,863	0,000	1,534	1,474	2,623	14,5	0,000	0,027	0,066	0,128	0,221
15	15,000	0,000	1,565	1,549	2,768	15,5	0,000	0,026	0,064	0,124	0,215
16	15,884	0,000	1,587	1,606	2,878	16,5	0,000	0,025	0,063	0,122	0,210
17	16,770	0,000	1,610	1,661	2,986	17,5	0,000	0,024	0,061	0,120	0,205
18	17,966	0,000	1,639	1,734	3,129	18,5	0,000	0,023	0,060	0,118	0,200
19	18,851	0,000	1,659	1,787	3,233	19,5	0,000	0,022	0,058	0,116	0,197
20	20,000	0,000	1,685	1,854	3,366	20,5	0,000	0,022	0,057	0,114	0,193
21	20,898	0,000	1,705	1,906	3,468	21,5	0,000	0,021	0,057	0,113	0,191
22	21,732	0,000	1,722	1,953	3,563	22,5	0,000	0,020	0,056	0,111	0,187
23	22,941	0,000	1,747	2,021	3,697	23,5	0,000	0,020	0,055	0,110	0,185
24	23,865	0,000	1,765	2,071	3,799	24,5	0,000	0,019	0,054	0,109	0,183
25	25,000	0,000	1,787	2,133	3,923	25,5	0,000	0,019	0,054	0,109	0,182
26	25,881	0,000	1,804	2,181	4,019	26,5	0,000	0,019	0,053	0,108	0,180
27	26,751	0,000	1,820	2,227	4,113	27,5	0,000	0,018	0,053	0,107	0,179
28	27,934	0,000	1,842	2,290	4,240	28,5	0,000	0,018	0,053	0,107	0,177
29	28,780	0,000	1,857	2,334	4,331	29,5	0,000	0,017	0,052	0,107	0,177
30	30,000	0,000	1,878	2,398	4,461	30,5	0,000	0,017	0,052	0,106	0,175
31	30,791	0,000	1,891	2,439	4,545	31,5	0,000	0,017	0,052	0,106	0,175
32	31,818	0,000	1,908	2,492	4,654	32,5	0,000	0,016	0,051	0,106	0,173
33	32,903	0,000	1,926	2,548	4,769	33,5	0,000	0,016	0,051	0,106	0,173
34	33,901	0,000	1,942	2,599	4,875	34,5	0,000	0,015	0,051	0,106	0,172
35	35,000	0,000	1,959	2,655	4,992	35,5	0,000	0,015	0,051	0,106	0,172
36	35,792	0,000	1,971	2,695	5,075	36,5	0,000	0,015	0,051	0,106	0,171
37	36,815	0,000	1,986	2,747	5,184	37,5	0,000	0,014	0,051	0,106	0,171
38	37,864	0,000	2,001	2,800	5,295	38,5	0,000	0,014	0,050	0,106	0,171
39	38,891	0,000	2,015	2,852	5,404	39,5	0,000	0,014	0,050	0,106	0,170
40	40,000	0,000	2,030	2,908	5,522	40,5	0,000	0,013	0,050	0,106	0,170
41	40,790	0,000	2,041	2,947	5,606	41,5	0,000	0,013	0,050	0,106	0,170
42	41,974	0,000	2,056	3,007	5,732	42,5	0,000	0,013	0,050	0,107	0,170
43	42,882	0,000	2,068	3,052	5,829	43,5	0,000	0,013	0,050	0,107	0,170
44	43,744	0,000	2,079	3,096	5,921	44,5	0,000	0,012	0,050	0,108	0,170
45	45,000	0,000	2,094	3,159	6,057	45,5	0,000	0,012	0,050	0,108	0,171
46	45,959	0,000	2,106	3,207	6,160	46,5	0,000	0,012	0,050	0,109	0,171
47	46,963	0,000	2,118	3,257	6,270	47,5	0,000	0,012	0,050	0,109	0,171
48	47,912	0,000	2,129	3,305	6,373	48,5	0,000	0,012	0,050	0,110	0,171
49	48,976	0,000	2,141	3,359	6,490	49,5	0,000	0,011	0,050	0,110	0,172
50	50,000	0,000	2,153	3,410	6,603	50					

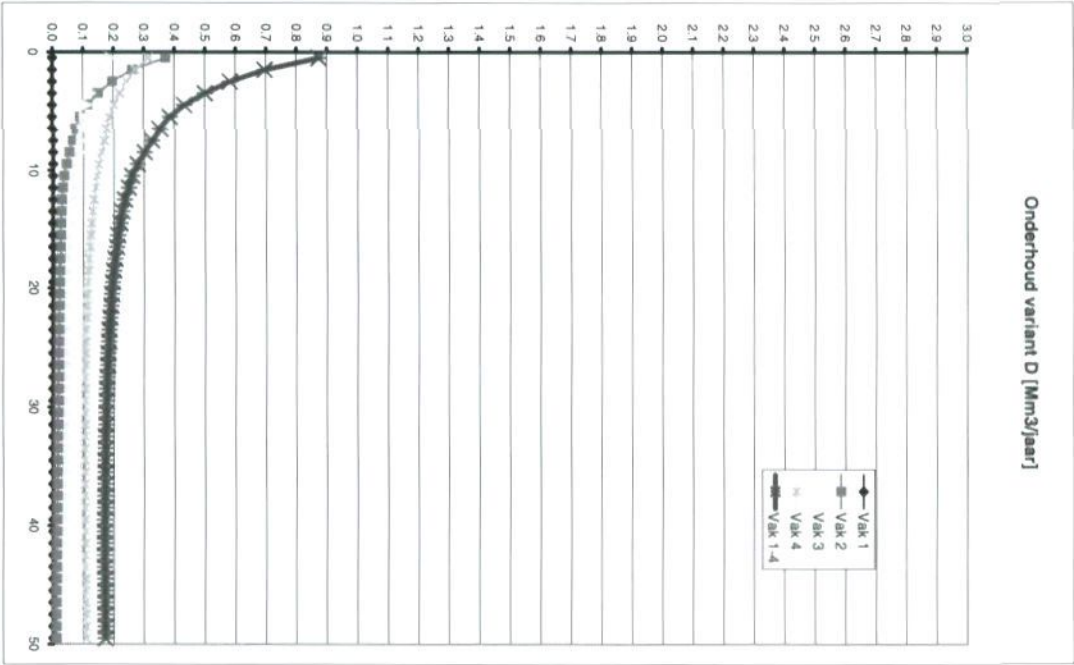


Tabel A-11: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief C

totaal onderhoud [Mm3]					
t [jaar]	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.839	1.402	0.355	0.287	2.610
2	1.811	2.358	0.660	0.579	4.677
3	2.930	3.119	0.924	0.877	6.478
4	3.936	3.628	1.105	1.117	7.774
5	5.000	4.071	1.253	1.350	8.949
6	5.873	4.393	1.350	1.527	9.813
7	6.785	4.703	1.431	1.700	10.642
8	7.743	4.999	1.501	1.871	11.444
9	8.688	5.271	1.557	2.031	12.178
10	10.000	5.619	1.616	2.241	13.119
11	10.691	5.787	1.641	2.346	13.580
12	11.661	6.023	1.670	2.492	14.213
13	12.961	6.309	1.698	2.673	14.985
14	13.874	6.504	1.715	2.797	15.513
15	15.000	6.737	1.731	2.947	16.144
16	15.892	6.918	1.742	3.061	16.832
17	16.786	7.095	1.752	3.174	17.110
18	17.971	7.324	1.762	3.320	17.729
19	18.870	7.495	1.768	3.428	18.187
20	20.000	7.706	1.774	3.561	18.755
21	20.929	7.876	1.778	3.669	19.211
22	21.861	8.044	1.781	3.776	19.663
23	22.802	8.212	1.784	3.883	20.112
24	23.749	8.380	1.786	3.989	20.560
25	25.000	8.598	1.789	4.128	21.143
26	25.951	8.763	1.790	4.232	21.580
27	26.897	8.923	1.790	4.335	22.010
28	27.850	9.083	1.790	4.439	22.439
29	28.788	9.239	1.790	4.540	22.858
30	30.000	9.438	1.790	4.670	23.996
31	30.914	9.588	1.790	4.767	23.798
32	31.801	9.733	1.790	4.862	24.188
33	32.941	9.918	1.790	4.983	24.886
34	33.793	10.055	1.790	5.073	25.056
35	35.000	10.248	1.790	5.200	25.578
36	35.859	10.383	1.790	5.291	25.945
37	36.993	10.561	1.790	5.410	26.428
38	37.846	10.693	1.790	5.500	26.789
39	38.990	10.869	1.790	5.621	27.272
40	40.000	11.023	1.790	5.728	27.696
41	40.901	11.158	1.790	5.822	28.070
42	41.816	11.295	1.790	5.944	28.448
43	42.753	11.434	1.790	5.992	28.835
44	43.929	11.609	1.790	6.143	29.319
45	45.000	11.767	1.790	6.257	29.762
46	45.956	11.907	1.790	6.359	30.156
47	46.836	12.036	1.790	6.454	30.519
48	47.852	12.185	1.790	6.563	30.938
49	48.973	12.349	1.790	6.685	31.399
50	50.000	12.499	1.790	6.796	31.832

gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]					
t	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0.5	1.671	0.423	0.676	0.342	3.111
1.5	0.984	0.314	0.527	0.301	2.126
2.5	0.680	0.236	0.427	0.266	1.609
3.5	0.506	0.179	0.365	0.239	1.289
4.5	0.416	0.139	0.300	0.219	1.105
5.5	0.369	0.111	0.307	0.202	0.989
6.5	0.339	0.090	0.290	0.190	0.909
7.5	0.309	0.073	0.275	0.179	0.836
8.5	0.288	0.059	0.262	0.169	0.778
9.5	0.265	0.045	0.247	0.160	0.717
10.5	0.244	0.036	0.234	0.150	0.666
11.5	0.238	0.029	0.226	0.147	0.640
12.5	0.223	0.022	0.216	0.141	0.603
13.5	0.214	0.018	0.210	0.137	0.578
14.5	0.207	0.015	0.206	0.133	0.561
15.5	0.203	0.012	0.203	0.129	0.547
16.5	0.198	0.010	0.200	0.126	0.534
17.5	0.193	0.009	0.197	0.123	0.522
18.5	0.189	0.007	0.194	0.120	0.510
19.5	0.187	0.005	0.192	0.118	0.502
20.5	0.183	0.004	0.188	0.116	0.491
21.5	0.181	0.004	0.186	0.115	0.485
22.5	0.179	0.003	0.183	0.113	0.478
23.5	0.177	0.002	0.181	0.112	0.472
24.5	0.175	0.002	0.179	0.111	0.466
25.5	0.173	0.001	0.176	0.110	0.460
26.5	0.170	0.001	0.175	0.109	0.455
27.5	0.167	0.000	0.174	0.108	0.449
28.5	0.166	0.000	0.173	0.108	0.447
29.5	0.165	0.000	0.172	0.107	0.444
30.5	0.164	0.000	0.170	0.107	0.440
31.5	0.163	0.000	0.170	0.106	0.439
32.5	0.162	0.000	0.169	0.106	0.437
33.5	0.161	0.000	0.167	0.106	0.434
34.5	0.160	0.000	0.167	0.106	0.432
35.5	0.158	0.000	0.165	0.105	0.428
36.5	0.156	0.000	0.164	0.105	0.426
37.5	0.155	0.000	0.163	0.105	0.423
38.5	0.154	0.000	0.162	0.105	0.421
39.5	0.153	0.000	0.162	0.106	0.420
40.5	0.150	0.000	0.159	0.105	0.415
41.5	0.149	0.000	0.159	0.106	0.414
42.5	0.148	0.000	0.158	0.106	0.412
43.5	0.146	0.000	0.158	0.106	0.412
44.5	0.147	0.000	0.159	0.107	0.413
45.5	0.147	0.000	0.158	0.107	0.412
46.5	0.147	0.000	0.158	0.107	0.413
47.5	0.146	0.000	0.158	0.108	0.412
48.5	0.146	0.000	0.158	0.108	0.412
49.5	0.146	0.000	0.157	0.109	0.421

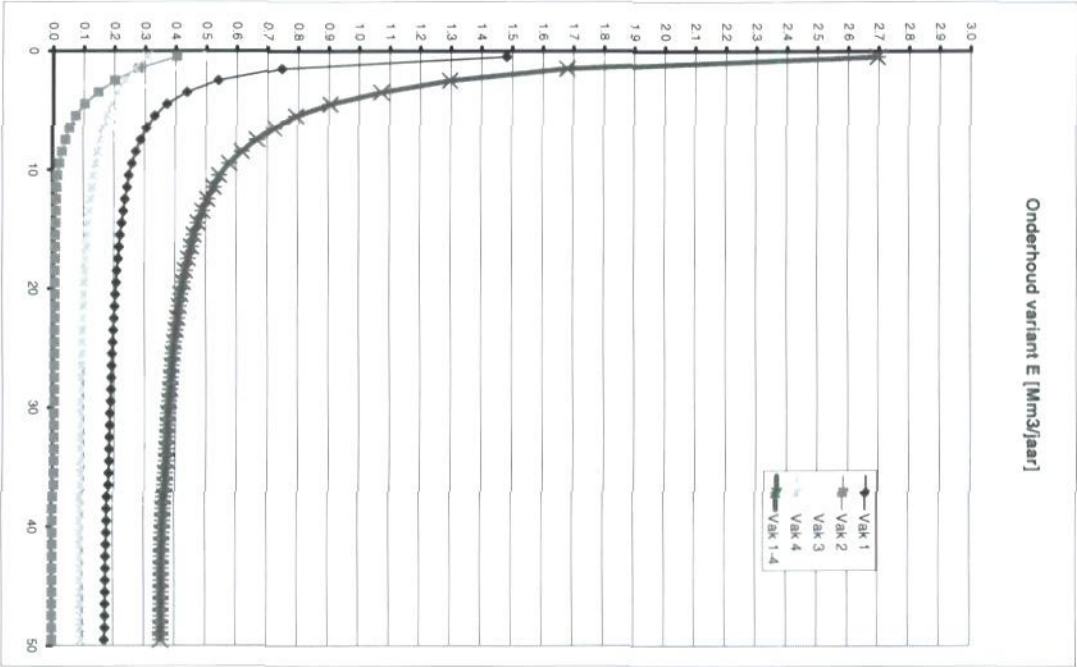
Tabel A-12: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief D



Totaal onderhoud [Mm3]					
1 [jaar]	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0	0.000	1.377	0.000	0.000	0.000
1	0.930	0.375	0.489	0.286	2.507
2	1.915	2.111	0.649	0.547	4.161
3	2.818	2.598	0.830	0.798	5.331
4	3.817	3.034	0.976	1.423	6.401
5	5.000	3.472	1.095	1.711	7.469
6	5.876	3.761	1.208	1.900	8.163
7	6.738	4.040	1.209	2.081	8.823
8	7.738	4.313	1.249	2.255	9.458
9	8.724	4.581	1.279	2.423	10.065
10	10.000	4.912	1.307	2.624	10.801
11	10.707	5.088	1.319	2.729	11.186
12	11.691	5.327	1.332	2.869	11.703
13	12.948	5.623	1.346	3.039	12.338
14	13.853	5.831	1.355	3.156	12.780
15	15.000	6.089	1.366	3.299	13.323
16	15.884	6.284	1.374	3.405	13.730
17	16.759	6.474	1.381	3.507	14.126
18	17.924	6.722	1.391	3.639	14.641
19	18.811	6.909	1.398	3.737	15.025
20	20.000	7.155	1.407	3.865	15.531
21	20.917	7.342	1.414	3.962	15.914
22	21.846	7.529	1.420	4.058	16.297
23	22.787	7.717	1.427	4.154	16.679
24	23.737	7.905	1.433	4.249	17.061
25	25.000	8.152	1.441	4.373	17.562
26	25.950	8.336	1.447	4.466	17.935
27	26.884	8.517	1.452	4.557	18.302
28	27.826	8.695	1.457	4.646	18.662
29	28.741	8.869	1.462	4.733	19.014
30	30.000	9.107	1.468	4.851	19.493
31	30.890	9.274	1.472	4.934	19.830
32	31.763	9.436	1.476	5.014	20.158
33	32.909	9.649	1.481	5.119	20.587
34	33.761	9.806	1.484	5.197	20.903
35	35.000	10.034	1.488	5.310	21.362
36	35.860	10.190	1.491	5.387	21.678
37	36.990	10.395	1.495	5.489	22.091
38	37.837	10.548	1.497	5.564	22.400
39	38.974	10.751	1.500	5.665	22.812
40	40.000	10.935	1.502	5.757	23.184
41	40.892	11.093	1.504	5.835	23.505
42	41.800	11.253	1.505	5.915	23.830
43	42.730	11.416	1.507	5.996	24.163
44	43.909	11.623	1.508	6.100	24.583
45	45.000	11.814	1.509	6.195	24.973
46	45.957	11.980	1.510	6.279	25.314
47	46.838	12.134	1.510	6.356	25.628
48	47.854	12.310	1.510	6.446	25.924
49	48.975	12.504	1.510	6.544	26.389
50	50.000	12.680	1.510	6.633	26.753

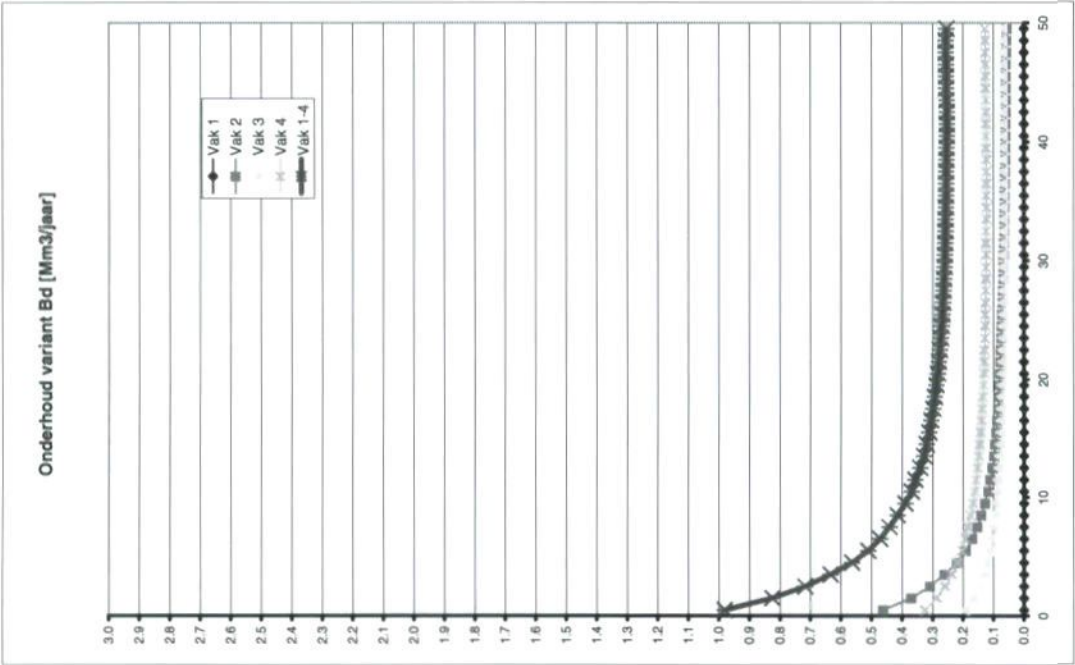
Gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]					
1	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0.5	1.481	0.404	0.504	0.308	2.696
1.5	0.746	0.278	0.390	0.265	1.679
2.5	0.539	0.200	0.324	0.234	1.296
3.5	0.436	0.146	0.279	0.210	1.071
4.5	0.370	0.101	0.243	0.189	0.904
5.5	0.330	0.072	0.216	0.173	0.791
6.5	0.306	0.055	0.199	0.163	0.724
7.5	0.287	0.042	0.183	0.154	0.666
8.5	0.272	0.031	0.170	0.145	0.618
9.5	0.259	0.022	0.158	0.138	0.577
10.5	0.248	0.016	0.148	0.132	0.544
11.5	0.243	0.013	0.142	0.128	0.526
12.5	0.236	0.012	0.135	0.123	0.505
13.5	0.230	0.010	0.129	0.118	0.488
14.5	0.225	0.009	0.125	0.115	0.474
15.5	0.220	0.009	0.120	0.112	0.460
16.5	0.217	0.008	0.117	0.109	0.452
17.5	0.213	0.008	0.113	0.107	0.442
18.5	0.210	0.008	0.110	0.105	0.433
19.5	0.207	0.008	0.108	0.103	0.425
20.5	0.204	0.007	0.105	0.101	0.418
21.5	0.202	0.007	0.103	0.100	0.412
22.5	0.200	0.007	0.102	0.099	0.407
23.5	0.198	0.007	0.100	0.097	0.402
24.5	0.195	0.006	0.099	0.096	0.397
25.5	0.194	0.006	0.097	0.095	0.393
26.5	0.192	0.006	0.096	0.095	0.389
27.5	0.191	0.005	0.095	0.094	0.386
28.5	0.190	0.005	0.095	0.094	0.384
29.5	0.189	0.005	0.094	0.093	0.381
30.5	0.187	0.005	0.093	0.093	0.378
31.5	0.186	0.004	0.092	0.093	0.376
32.5	0.186	0.004	0.092	0.093	0.374
33.5	0.184	0.004	0.091	0.092	0.372
34.5	0.184	0.003	0.091	0.092	0.370
35.5	0.182	0.003	0.090	0.092	0.367
36.5	0.181	0.003	0.090	0.092	0.366
37.5	0.180	0.003	0.089	0.092	0.364
38.5	0.179	0.002	0.089	0.092	0.363
39.5	0.179	0.002	0.089	0.092	0.362
40.5	0.177	0.002	0.088	0.092	0.360
41.5	0.176	0.002	0.088	0.092	0.358
42.5	0.176	0.002	0.088	0.093	0.357
43.5	0.175	0.001	0.088	0.093	0.357
44.5	0.175	0.001	0.088	0.094	0.357
45.5	0.174	0.001	0.088	0.094	0.357
46.5	0.174	0.000	0.088	0.094	0.356
47.5	0.173	0.000	0.088	0.095	0.356
48.5	0.173	0.000	0.088	0.095	0.356
49.5	0.172	0.000	0.087	0.096	0.355

Tabel A-13: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief E



t. [jaar]	totaal onderhoud [Mm3]			
	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.999	0.000	0.194	0.325
2	1.993	0.000	0.361	0.610
3	2.902	0.000	0.496	0.846
4	3.908	0.000	0.632	1.085
5	5.000	0.000	0.767	1.324
6	5.875	0.000	0.868	1.503
7	6.769	0.000	0.967	1.680
8	7.738	0.000	1.065	1.855
9	8.722	0.000	1.161	2.029
10	10.000	0.000	1.264	2.244
11	10.706	0.000	1.344	2.358
12	11.701	0.000	1.431	2.515
13	12.969	0.000	1.540	2.711
14	13.902	0.000	1.614	2.847
15	15.000	0.000	1.702	3.006
16	15.884	0.000	1.771	3.132
17	16.758	0.000	1.839	3.254
18	17.919	0.000	1.926	3.413
19	18.801	0.000	2.034	3.532
20	20.000	0.000	2.080	3.692
21	20.912	0.000	2.146	3.812
22	22.1835	0.000	2.213	3.933
23	22.771	0.000	2.280	4.054
24	23.717	0.000	2.347	4.175
25	25.000	0.000	2.437	4.338
26	25.948	0.000	2.504	4.458
27	26.894	0.000	2.570	4.577
28	27.833	0.000	2.635	4.694
29	28.758	0.000	2.699	4.810
30	30.000	0.000	2.785	4.965
31	30.909	0.000	2.848	5.078
32	31.793	0.000	2.909	5.187
33	32.956	0.000	2.989	5.331
34	33.821	0.000	3.049	5.439
35	35.000	0.000	3.130	5.585
36	35.865	0.000	3.190	5.692
37	36.727	0.000	3.249	5.798
38	37.880	0.000	3.329	5.941
39	38.751	0.000	3.389	6.049
40	40.000	0.000	3.476	6.204
41	40.920	0.000	3.540	6.318
42	41.862	0.000	3.605	6.436
43	42.812	0.000	3.671	6.554
44	43.988	0.000	3.754	6.701
45	45.000	0.000	3.824	6.829
46	45.962	0.000	3.892	6.950
47	46.847	0.000	3.954	7.062
48	47.868	0.000	4.027	7.192
49	48.995	0.000	4.106	7.336
50	50.000	0.000	4.178	7.464

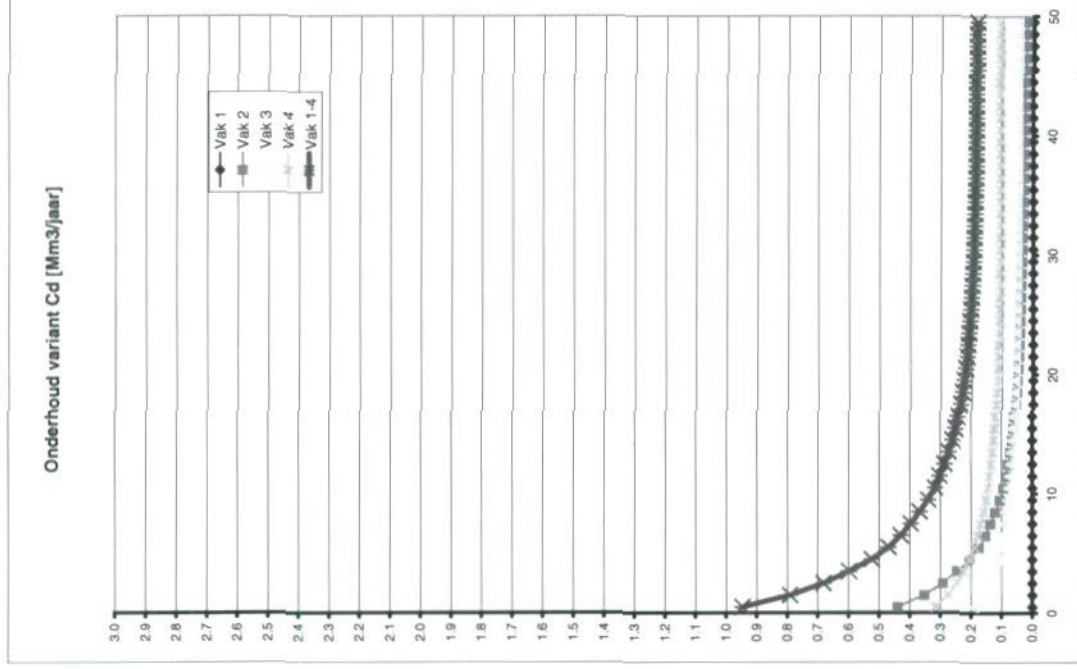
i	gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]			
	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4
0.5	0.000	0.462	0.195	0.325
1.5	0.000	0.370	0.167	0.287
2.5	0.000	0.309	0.149	0.259
3.5	0.000	0.262	0.135	0.238
4.5	0.000	0.221	0.124	0.219
5.5	0.000	0.190	0.115	0.205
6.5	0.000	0.170	0.109	0.194
7.5	0.000	0.153	0.103	0.185
8.5	0.000	0.140	0.098	0.176
9.5	0.000	0.127	0.093	0.168
10.5	0.000	0.117	0.090	0.162
11.5	0.000	0.111	0.087	0.158
12.5	0.000	0.104	0.084	0.153
13.5	0.000	0.098	0.082	0.148
14.5	0.000	0.095	0.080	0.145
15.5	0.000	0.091	0.078	0.142
16.5	0.000	0.088	0.077	0.140
17.5	0.000	0.086	0.076	0.137
18.5	0.000	0.083	0.074	0.135
19.5	0.000	0.081	0.073	0.133
20.5	0.000	0.079	0.073	0.132
21.5	0.000	0.077	0.072	0.130
22.5	0.000	0.076	0.071	0.129
23.5	0.000	0.074	0.071	0.128
24.5	0.000	0.073	0.070	0.127
25.5	0.000	0.071	0.070	0.126
26.5	0.000	0.070	0.070	0.126
27.5	0.000	0.069	0.070	0.125
28.5	0.000	0.068	0.069	0.125
29.5	0.000	0.067	0.069	0.125
30.5	0.000	0.066	0.069	0.124
31.5	0.000	0.065	0.069	0.124
32.5	0.000	0.065	0.069	0.124
33.5	0.000	0.064	0.069	0.124
34.5	0.000	0.064	0.069	0.124
35.5	0.000	0.063	0.069	0.124
36.5	0.000	0.062	0.069	0.124
37.5	0.000	0.062	0.069	0.124
38.5	0.000	0.061	0.069	0.124
39.5	0.000	0.061	0.069	0.124
40.5	0.000	0.060	0.069	0.124
41.5	0.000	0.060	0.070	0.124
42.5	0.000	0.059	0.070	0.125
43.5	0.000	0.059	0.070	0.125
44.5	0.000	0.059	0.070	0.126
45.5	0.000	0.059	0.070	0.126
46.5	0.000	0.059	0.071	0.127
47.5	0.000	0.058	0.071	0.127
48.5	0.000	0.058	0.071	0.127
49.5	0.000	0.056	0.071	0.128



Tabel A-14: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief Bd

t [jaar]	totaal onderhoud [Mm3]				
	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,943	0,000	0,180	0,297	0,892
2	1,931	0,000	0,763	0,341	1,674
3	2,839	0,000	1,028	0,794	2,292
4	3,842	0,000	1,274	0,600	2,892
5	5,000	0,000	1,510	0,734	3,498
6	5,876	0,000	1,663	0,826	3,909
7	6,791	0,000	1,803	0,916	4,302
8	7,740	0,000	1,933	1,004	4,678
9	8,725	0,000	2,052	1,090	5,040
10	10,000	0,000	2,187	1,194	5,472
11	10,706	0,000	2,254	1,249	5,696
12	11,708	0,000	2,341	1,324	5,999
13	12,691	0,000	2,419	1,395	6,280
14	13,918	0,000	2,508	1,480	6,615
15	15,000	0,000	2,580	1,552	6,897
16	15,907	0,000	2,636	1,611	7,124
17	16,792	0,000	2,689	1,666	7,340
18	17,978	0,000	2,755	1,739	7,620
19	18,885	0,000	2,803	1,793	7,829
20	20,000	0,000	2,859	1,859	8,079
21	20,914	0,000	2,903	1,911	8,260
22	21,865	0,000	2,947	1,965	8,484
23	22,812	0,000	2,988	2,018	8,684
24	23,778	0,000	3,030	2,072	8,885
25	25,000	0,000	3,080	2,139	9,136
26	25,990	0,000	3,120	2,192	9,336
27	26,966	0,000	3,157	2,244	9,531
28	27,931	0,000	3,194	2,296	9,722
29	28,880	0,000	3,228	2,346	9,908
30	30,000	0,000	3,268	2,405	10,126
31	30,921	0,000	3,300	2,453	10,303
32	31,837	0,000	3,331	2,501	10,478
33	32,711	0,000	3,359	2,546	10,645
34	33,877	0,000	3,396	2,606	10,865
35	35,000	0,000	3,431	2,664	11,077
36	35,879	0,000	3,458	2,709	11,241
37	36,741	0,000	3,483	2,753	11,402
38	37,905	0,000	3,517	2,813	11,618
39	38,785	0,000	3,542	2,857	11,781
40	40,000	0,000	3,576	2,919	12,005
41	40,904	0,000	3,600	2,965	12,172
42	41,850	0,000	3,626	3,013	12,346
43	42,797	0,000	3,651	3,061	12,520
44	43,968	0,000	3,681	3,121	12,735
45	45,000	0,000	3,708	3,173	12,926
46	45,957	0,000	3,732	3,222	13,102
47	46,838	0,000	3,754	3,267	13,265
48	47,854	0,000	3,780	3,319	13,453
49	48,976	0,000	3,807	3,376	13,660
50	50,000	0,000	3,830	3,428	13,848

t	gemiddeld onderhoud per jaar [Mm3/jr]				
	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 1-4
0,5	0,000	0,440	0,191	0,315	0,946
1,5	0,000	0,352	0,163	0,276	0,791
2,5	0,000	0,292	0,143	0,246	0,661
3,5	0,000	0,245	0,128	0,224	0,598
4,5	0,000	0,204	0,115	0,204	0,524
5,5	0,000	0,174	0,106	0,189	0,468
6,5	0,000	0,153	0,099	0,177	0,429
7,5	0,000	0,136	0,092	0,168	0,396
8,5	0,000	0,121	0,087	0,159	0,367
9,5	0,000	0,106	0,082	0,151	0,339
10,5	0,000	0,095	0,078	0,144	0,317
11,5	0,000	0,087	0,075	0,140	0,302
12,5	0,000	0,079	0,072	0,135	0,287
13,5	0,000	0,072	0,069	0,131	0,273
14,5	0,000	0,067	0,067	0,127	0,260
15,5	0,000	0,062	0,064	0,124	0,251
16,5	0,000	0,059	0,063	0,122	0,244
17,5	0,000	0,056	0,061	0,119	0,236
18,5	0,000	0,053	0,060	0,117	0,230
19,5	0,000	0,050	0,059	0,115	0,225
20,5	0,000	0,048	0,058	0,114	0,219
21,5	0,000	0,046	0,057	0,112	0,215
22,5	0,000	0,044	0,056	0,111	0,211
23,5	0,000	0,043	0,055	0,110	0,208
24,5	0,000	0,041	0,055	0,109	0,205
25,5	0,000	0,040	0,054	0,108	0,202
26,5	0,000	0,039	0,054	0,107	0,200
27,5	0,000	0,038	0,053	0,107	0,198
28,5	0,000	0,037	0,053	0,107	0,196
29,5	0,000	0,036	0,053	0,106	0,195
30,5	0,000	0,034	0,052	0,106	0,193
31,5	0,000	0,034	0,052	0,106	0,191
32,5	0,000	0,033	0,052	0,106	0,190
33,5	0,000	0,032	0,052	0,106	0,189
34,5	0,000	0,031	0,051	0,106	0,188
35,5	0,000	0,030	0,051	0,106	0,187
36,5	0,000	0,030	0,051	0,106	0,187
37,5	0,000	0,029	0,051	0,106	0,186
38,5	0,000	0,028	0,051	0,106	0,185
39,5	0,000	0,028	0,051	0,106	0,185
40,5	0,000	0,027	0,051	0,106	0,184
41,5	0,000	0,027	0,051	0,106	0,184
42,5	0,000	0,026	0,051	0,107	0,184
43,5	0,000	0,026	0,051	0,107	0,184
44,5	0,000	0,026	0,051	0,108	0,184
45,5	0,000	0,025	0,051	0,108	0,184
46,5	0,000	0,025	0,051	0,109	0,185
47,5	0,000	0,025	0,051	0,109	0,185
48,5	0,000	0,025	0,051	0,109	0,185
49,5	0,000	0,022	0,051	0,110	0,183



Tabel A-15: Detailresultaten ontwikkeling kustonderhoud per vak voor alternatief Cd